



Escuela Universitaria de Posgrado

**CIERRE DE MINAS DE CARBÓN EN EL PERU
Y SU INFLUENCIA EN LA CONTAMINACIÓN
AMBIENTAL EN GOYLLARISQUIZGA**

ÁREA DE INVESTIGACIÓN:

Ingenierías y Arquitectura

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN 41:

Desarrollo urbano-rural, Catastro, Prevención de riesgos, Contaminación

**Tesis para optar el Grado de Doctor
en Ingeniería Ambiental**

AUTOR:

Meneses Rivas, José Luis

ASESORA:

Menacho Vargas, Isabel

JURADO:

Ramos Vera, Juana
Tafur Anzualdo, Vicenta
Jave Nakayo, Jorge

LIMA – PERÚ

2020

Índice

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
I. INTRODUCCIÓN	6
1.1 Planteamiento del Problema	8
1.2 Descripción del problema a nivel global y local	8
1.3 Formulación del Problema	15
1.3.1 Problema General.....	15
1.3.2 Problemas específicos	16
1.4 Antecedentes.....	16
1.4.1 Internacionales	17
1.4.2 Antecedentes Nacionales	18
1.5 Justificación de la Investigación.....	24
1.5.1 Relevancia Social	24
1.5.2 Justificación Teórica	26
1.5.3 Justificación Metodológica	27
1.5.4 Justificación Práctica.....	28
1.6 Limitaciones de la Investigación	29
1.7 Objetivos de la Investigación	31
1.7.1 Objetivo general	32
1.7.2 Objetivos específicos:	32
1.8 Hipòtesis	32
1.8.1 Hipòtesis Principal	33
1.8.2 Hipòtesis específicas	33
II MARCO TEÓRICO.....	35
2.1 Marco Conceptual	35
2.1.1 Cierre de Minas	36
2.1.2 Estabilidad Química del aire, agua y suelo	37
2.1.3 Prevención de la contaminación.....	39
2.1.4 Límites máximos permisibles de emisión	40
2.1.5 Calidad ambiental y protección del medio ambiente	41
2.1.6 Desarrollo Sostenible	42
2.1.7 Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).....	43
2.1.8 Monitoreo.....	44
2.1.9 Prevención y Peligros Naturales	44
2.1.10 Vertido, descarga y Agua Residual	45

	2.1.11	Cuerpo de agua o cuerpo hídrico receptor	45
	2.1.12	Contaminación Ambiental	46
2.2		Técnicas de cierre aplicadas en la mina Goyllarisquizga	51
	2.2.1	Tratamiento para el Drenaje Ácido de Mina	51
	2.2.2	Taponamiento de Túnel con espuma de poliuretano.....	53
	2.2.3	Derivación de afluentes de Azalia hacia labores mineras subterráneas ..	55
	2.2.4	Geoamantas para la rehabilitación del cauce de la quebrada Pucará	56
	2.2.5	Revegetación en zona impactada de Azalia	59
2.3		Aspectos de Responsabilidad Social	60
III.		MÉTODO	62
	3.1	Tipo de Investigación	66
	3.2	Población y Muestra	68
	3.2.1	Población.....	68
	3.2.2	Muestra.....	69
	3.3	Operacionalización de las Variables.....	72
	3.3.1	Identificación de las variables	72
	3.3.2	Identificación de los indicadores.....	74
	3.3.3	Operacionalización de variables	76
	3.4	Instrumentos	80
	3.5	Procedimientos	82
	3.6	Análisis de Datos	87
IV		RESULTADOS	89
	4.1	Resultado de los indicadores de calidad del agua.....	89
	4.2	Resultado de los indicadores de calidad del aire	95
	4.3	Resultado de los indicadores de calidad del suelo.....	98
V.		DISCUSIÓN DE RESULTADOS	109
VI		CONCLUSIONES	115
VII		RECOMENDACIONES.....	117
IX		ANEXOS	124
	6.1	Base de datos de monitoreo de agua Azalia y Pucará en Goyllarisquizga	124
	6.2	Base de datos de monitoreo de aire Azalia y Pucará en Goyllarisquizga	126
	6.2	Imágenes de las minas de carbón de Goyllarisquizga y los pasivos ambientales...	127

RESUMEN

La explotación del carbón suele estar asociada a la contaminación ambiental derivada de la actividad minera y de los pasivos que dejan al cierre de sus operaciones. Estos efectos adversos se mitigan mediante técnicas empleadas para el cierre de minas que buscan controlar la interacción entre el azufre, el agua y el oxígeno, logrando estabilidad química-hidrológica y geológica en las zonas de explotación minera, evitando de este modo la contaminación del aire, los cuerpos de agua y el terreno circundante a la zona de explotación. En el Perú, la histórica mina de carbón de Goyllaisquizga, que operó desde inicios del siglo XIX hasta casi el final del siglo XX, ha dejado muchos pasivos ambientales tratados mediante las técnicas de cierre de minas. Mediante la evaluación de la contaminación del agua, el aire y el estado del suelo en el inicio del cierre de minas y durante periodos posteriores, se analiza la influencia de estas técnicas de cierre en el ambiente de la zona de explotación. La relación obtenida de los datos analizados permite observar que esta contaminación se ha reducido, en promedio, encontrándose el mayor impacto en la acidez y partículas suspendidas en el agua; también se observa la disminución de presencia de contaminantes peligrosos como plomo y arsénico en el agua de las quebradas Azalia y Pucará, lo que implica también el éxito de las técnicas de estabilización de suelo en la zona de explotación minera.

PALABRAS CLAVE

Goyllarisquizga, cierre de minas, contaminación ambiental, mina de carbón, monitoreo

ABSTRACT

The exploitation of coal is usually associated with environmental pollution derived from mining activity and the liabilities left at the end of its operations. These adverse effects are mitigated by mine closure techniques that control the interaction between sulfur, water and oxygen, achieving chemical-hydrological and geological stability in mining areas, avoiding air pollution, water contamination and land degradation on the exploitation area. In Peru, the historic Goyllaisquizga coal mine, which operated from the beginning of the 19th century until almost the end of the 20th century, has left many mining environmental liabilities addressed by mine closure techniques. By assessing water contamination, air pollution and soil condition at the beginning of the mine closure and during subsequent monitoring, the influence of the closure techniques on the environment of the area of exploitation is analyzed. The relationship determined from the analyzed data shows that this contamination has been reduced, on average, with the greatest impact on acidity and suspended particles in the water; The decrease in the presence of hazardous pollutants such as lead and arsenic in the water of the Azalia and Pucará streams is also observed, which also implies the success of soil stabilization techniques in the mining area.

KEYWORDS

Goyllarisquizga, mine closure, environmental pollution, coal mine, monitoring

I. INTRODUCCIÓN

La mina de carbón de Goyllarisquizga, ubicada en el departamento de Pasco, es un típico ejemplo de fuente contaminante del medio ambiente por actividad extractiva de mineral, cuyos efectos han alcanzado a las zonas circundantes durante todo su periodo de operación que data desde finales del siglo XIX hasta fines del siglo XX. Los efectos en la población, radican en los peligros propios de la operación minera, pero sobre todo por las operaciones extractivas, los desechos de equipos y material extraído, reconociéndose como uno de los pasivos ambientales mineros en proceso de remediación y monitoreo.

Los problemas de la explotación del carbón se originan por los remanentes de los equipos y restos de material de extracción (botaderos) pero también por la contaminación ocasionada por las reacciones químicas de los minerales y los sulfuros en contacto sobre el suelo, el aire y sobre todo con el agua, deteriorando el medio ambiente aun luego de haber cesado en sus operaciones. El agua es el elemento crítico, pues se contamina con elementos que reaccionan con el oxígeno aumentando la acidez, afectando a la flora y fauna, extendiéndose este efecto hacia las zonas de influencia de estos cuerpos o cursos de agua lejanas de la propia zona de explotación.

La contaminación ambiental, puede estudiarse a través de sus efectos, principalmente en el agua del sistema de Goyllarisquizga, pero también en los propios efectos sobre el suelo (vegetación) y sobre el aire. Para determinar el grado de contaminación se debe analizar sobre todo el agua del sistema hídrico de las instalaciones mineras de Goyllarisquizga (los efluentes y los cursos de agua limpia que se mezclan con ellos) y la contaminación del aire, derivada de la erosión de los suelos con material contaminante.

Al cese de sus operaciones, y dentro del marco normativo peruano, se aplica el plan de cierre de minas a la mina de Goyllarisquiza, enfocándose en el cierre y tratamiento de las bocaminas de Azalia y Pucará así como a la remediación de los suelos de los botaderos en la zona de explotación. Al inicio del plan de cierre, se han registrado los datos de los parámetros de contaminación del agua y el aire como línea base que permite en años posteriores determinar, mediante los monitoreos de control, el éxito o fracaso de las medidas de remediación.

Con la base de datos de los registros iniciales y de los monitoreos de control en años posteriores, en esta investigación, se pretende evaluar el resultado de la aplicación de las técnicas de cierre de minas, que se supone exitosa, analizándola no solamente a nivel de un parámetro o indicador sino que, de manera integrada, se analizan las dimensiones agua, aire y suelo aplicando una ponderación para determinar, de este modo, si estas técnicas han tenido un efecto positivo en la disminución de la contaminación ambiental en la zona de Goyllarisquiza.

El análisis de los parámetros se ha realizado sobre información existente en el plan de cierre y los documentos de monitoreo posterior, realizadas por laboratorios acreditados por el Ministerio de Energía y Minas, y tomándolos bajo los estándares de calidad del agua y calidad del aire, complementándose con la inspección del terreno utilizando registros satelitales. El análisis de calidad del agua toma en cuenta las bocaminas de Azalia y Pucará, y el análisis del suelo toma en cuenta el inventario de botaderos identificados al inicio de la ejecución del plan de cierre de minas. La contaminación ambiental en Goyllarisquiza se analiza en estos dos momentos, al inicio del plan de cierre y en momentos posteriores, a través de los indicadores de calidad de aire, calidad de agua y el estado del suelo de los botaderos, ponderándolos para obtener un indicador global de la contaminación ambiental en esta zona de explotación minera que permita comprobar el éxito de las técnicas de cierre de minas.

1.1 Planteamiento del Problema

La explotación del carbón suele estar asociada a diversos problemas ya sea por la seguridad de los trabajadores o por la contaminación ambiental derivada de la actividad minera y de los pasivos que dejan al cierre de sus operaciones, lo que afecta también a las poblaciones cercanas y ubicadas a lo largo de las quebradas pertenecientes a la zona de influencia de la mina. Estos efectos adversos se mitigan mediante diversas técnicas de cierre de minas según el caso particular, que buscan controlar la interacción entre el azufre, el agua y el oxígeno, logrando estabilidad química-hidrológica y geológica en las zonas de explotación minera, evitando de este modo la contaminación del aire, los cuerpos de agua y el terreno circundante a la zona de explotación.

En el Perú, la histórica mina de carbón de Goyllaisquizga, ubicada en la provincia de Daniel Alcides Carrión en Cerro de Pasco, que operó desde 1830 hasta inicios de la década de 1990, es un claro ejemplo de mina de carbón que ha dejado una historia de accidentes, explotación formal e informal y, abandonada, ha dejado muchos pasivos ambientales tratados mediante las técnicas de cierre de minas por la empresa Activos Mineros SAC, la que a inicios del siglo XXI ejecuta el Plan de Cierre de Minas sobre estas instalaciones.

Mediante la evaluación de la contaminación del agua, el aire y el estado del suelo en el inicio del cierre de minas y durante periodos posteriores, se busca analizar la influencia de estas técnicas de cierre en la mitigación de la contaminación ambiental de la zona de explotación de una mina de carbón, tomando como caso de análisis a Goyllarisquizga, observando para ello los 10

monitoreos de aire, agua y el suelo para determinar el estado antes y años después del cierre técnico de la mina.

1.2 Descripción del problema a nivel global y local

A nivel internacional a través de sus experiencias los ingenieros mineros y geólogos expertos en el mundo señalan que la explotación de las minas de carbón son las más peligrosas e inseguras que existen en el universo en comparación con la extracción de cualquier otro tipo de mineral metálico, esto por la gran cantidad de gases que se liberan y que produce una atmósfera altamente contaminante y explosiva, también por el alto volumen de gases que se encuentran absorbidos en el carbón, Los gases, pertenecientes principalmente al metano, que es el principal componente del gas grisú, además se tienen en estas clases de minas nitrógeno, bióxido de carbono, monóxido de carbono y dependiendo del tipo de carbón se encuentra en algunos casos hasta de etano en grandes cantidades. Según la Organización de las Naciones Unidas (2006), el metano se libera por la acción propia de la actividad minera en proporciones que van entre el 80% al 90%, pero sólo es inflamable en combinación con el aire.

La toxicidad de este gas, así como su inflamabilidad representa un gran riesgo para los trabajadores mineros. El Ing. Geólogo Jaime Rueda Gaxiola, miembro de la Academia de Ingeniería de México y con postgrado en Geología del Carbón, publicó en MiningPress en noviembre del 2007, que la explotación de una tonelada de carbón libera aproximadamente 15 metros cúbicos de gas metano, tomando como referencia los datos de la mina de carbón de San Juan de Sabinas en Coahuila, México. Sobre ello, también en experiencias de minas de carbón en Colombia, Mariño (2016) afirma que:

“el riesgo relacionado con la presencia de gases se consideran dos fuentes: 1) combustión espontánea, 2) explosiones por acumulaciones de gas metano por una chispa de ignición... las muertes por explosiones de metano constituyen el mayor riesgo en la minería de carbón... esto hace que las compañías tengan un seguimiento continuo de los contenidos de los gases, con ayuda de multidetectores de gases que determinan, por porcentaje, el contenido relativo de cada uno de los gases, pero desconocen el contenido real de gas en los carbones.” (Mariño-Martínez y Ortegón Cuellar, 2016, p.66)

La “Guía de las Mejores Prácticas para un drenaje y uso eficaz del metano en las minas de Carbón” fue publicada por la Organización de las Naciones Unidas en el año 2010 y actualizada en el año 2016, con la participación de equipos técnicos, stakeholders y pares revisores. En este documento, actualizado por la Organización de las Naciones Unidas (2016), se resume algunos de los accidentes por gases grisú con alto contenido de metano en minas de carbón de diversos países, entre ellas: China, Colombia, Pakistán, Rusia y Turquía, quienes desde el año 2010 reportaron víctimas mortales de 52, 73, 52, 126 y 301 mineros respectivamente.

El Ing. Alan Baxter, director del “Institute of Materials, Minerals and Mining”, como consecuencia de los accidentes mineros en Chile del año 2010 y 2017, señaló que existen diferencias significativas en la forma de trabajo y actividades de prevención según los países, una situación que mejora progresivamente. Según Baxter (2010), se puede observar una disminución en la gravedad de los accidentes y también en la contaminación, lo que denomina accidentes con “tiempo perdido”, porque el minero no podrá trabajar por algunos turnos, o en el peor de los casos por terminar en accidentes mortales. El Ing. Baxter, en referencia a los accidentes a escala mundial, hizo referencia a que las excepciones a la disminución de los accidentes son de China y Rusia. China tiene el sector minero más grande en el mundo, llega a extraer hasta

3.000 millones de toneladas de carbón al año, lo que significa el 40% de la producción en el mundo. No obstante, tiene el 80% de las muertes en ese subsector a nivel mundial.

Según los servicios informativos EFE (2019), en el año 2017, veintiún mineros perdieron la vida en el derrumbe de una mina de carbón en Lijiagou, en la provincia China de Shanxi, según fue reportado por la agencia estatal de noticias China Xinhua. Los equipos de emergencia y rescate lograron rescatar a sesenta y seis personas y recuperar los cuerpos sin vida de veintiún trabajadores mineros. En octubre del 2017, un accidente ocurrido en una mina de carbón en la provincia de Shandong tuvo como consecuencia treinta y un muertos. En dicho año las minas carboníferas chinas registraron 219 accidentes con 375 muertos, un cifra 28.7% menor que el año anterior y veinte veces menor que los 7000 muertos por año registrados a principios del siglo XXI. Esta información da cuenta que las minas chinas, especialmente las de carbón, aun cuando constituyen la principal fuente de energía del ese país y deberían estar bien supervisadas, registran gran cantidad de accidentes y contaminación y, por ello, están consideradas entre las más peligrosas del mundo, aunque en los últimos años ha bajado significativamente el número de accidentes mortales e incendios que contaminan el ambiente.

Los países con una intensa actividad minera en carbón, como el caso de China, planifican sus acciones y consideraciones ambientales así como la restauración del ambiente ecológico. En Chima, en la provincia septentrional de Shanxi, se encuentra el complejo minero de Datong. En este caso, el gobierno chino orienta sus actividades hacia una minería “verde” o sostenible. Esta provincia, cuenta con un tercio de las reservas de carbón de China, vive un proceso de renovación energética para minimizar la contaminación derivada de la explotación del carbón en el norte del país (EFE-España, 2018). En este sentido, proyectos del Banco de Desarrollo de Asia (ADB) han planteado desde hace unos años las líneas de acción que permitan

el desarrollo de esta minería sostenible, entre ellas se observan los objetivos que buscan “The project’s long-term enhance the sustainable development of these three major Shanxi cities by improving the quality of their environments. The immediate intended outcomes were (i) greater use of cleaner forms of energy by industrial, commercial and residential users; (ii) improve air quality in the cities and reduced atmospheric emissions of sulfur dioxide (SO₂), nitrogen dioxide (NO₂), and total suspended particles (TSP) or particulate matter of less than 10 microns in diameter (PM₁₀). This impact and these outcomes were to be achieved by focusing project activities on reversing a trend of declining air quality in the cities that was attributed largely to increasing coal use for power generation and industrial, commercial and residential applications”. (ADB, 2009, p. 4)

A nivel nacional la mina de Goyllarisquizga es una mina de carbón abandonada, la explotación de este no metálico en forma subterránea y a cielo abierto duro 64 años y fue la mina más grande de producción de carbón en el Perú de todo los tiempos, se inició en 1907 con la empresa Cerro de Pasco Corporation, en el año de 1979, la empresa Centromin Perú S.A. tomó el control de las operaciones, hasta 1993, año en que las actividades de extracción fueron detenidas por agotamiento de sus reservas económicas y problemas técnicos. Durante el siglo XX, este distrito mantuvo un auge minero convirtiéndose en eje del desarrollo de toda la Provincia Carrionina, luego del cierre de la mina, se produjo un impacto social en la zona, la mayoría de sus pobladores tuvieron que emigrar a otros lares buscando su medio de vida, en la actualidad los pocos pobladores que viven en esta localidad se ocupan de la crianza de ovinos y otros de la agricultura en cantidades pequeñas. (Centromin Perú, 1990)

Durante el tiempo de operación de la mina de carbón Goyllarisquizga se registraron accidentes por explosión del gas Grisú, ocasionando muertes, lesiones y enfermedades entre los

trabajadores de la mina. Entre los accidentes registrados se encuentran la explosión ocurrida en zona denominada “Pique chico” el 23 de febrero de 1910, ocasionando la muerte de 29 trabajadores y 56 heridos; el 10 de agosto del mismo año, en el “Nivel F” se registró otra explosión por gas grisú que ocasionó la muerte de 72 trabajadores y 60 heridos. Es más significativa por la cercanía en el tiempo explosión en el denominado “Nivel 12” de la sección “El Dorado” ocurrida el 20 de diciembre de 1964, ocasionado por gas grisú, que costó la vida a 57 trabajadores y causando heridas a 34 de estos obreros. (Centromin Perú, 1990)

Según lo reportado por el Ministerio de Energía y Minas, hacia el año 2005, en la “Guía para elaborar estudios de Impacto Ambiental”, en el Perú se registraban 180 yacimientos de carbón que se encuentran dispersos en la sierra con mayor presencia en el norte y centro de nuestro país. Algunos de estos yacimientos son manejados informalmente por los acopiadores de carbón. En las condiciones propias de las minas de carbón, sobre todo por la presencia del indicado gas grisú, las pocas condiciones de seguridad y la falta de criterio técnico-profesional representa un constante riesgo de ocurrencia de explosiones, resultando en el perjuicio de la integridad y vida de los trabajadores; ocasionando también contaminación ambiental derivada de la explotación de los yacimientos de carbón. Entre las denuncias periodísticas y los registros de accidentes en minas informales se registra el ocurrido en una mina de carbón Pampahuay en la provincia de Oyón, el 2 de febrero del 2019 en que cuatro personas quedaron sepultadas por una explosión de gas grisú, y ocho trabajadores fallecidos en el accidente, uno de ellos menor de edad. En este caso, se puede observar como la informalidad y la falta de conocimiento técnico se relaciona con este tipo de accidentes. La proliferación de estas minas informales se ve incrementada por la pobreza en las zonas carboníferas, lo que permite la explotación de personas en condiciones inseguras o incluso de menores de edad. La explotación de estos yacimientos

carboníferos, en muchos casos, se hace en convenio entre las concesiones mineras y las comunidades propietarias de los terrenos superficiales, para que las comunidades realicen los trabajos de explotación, con la provisión de materiales y herramientas necesarias por parte de la concesión minera. (Ministerio de Energía y Minas – Perú, 2005).

En el Perú, actualmente la proporción de empresas que trabajan de manera formal y profesional es baja en comparación con otras explotaciones informales o aquellas que trabajan en forma rudimentaria, por lo que es necesaria una mayor presencia del Estado para el control de la pequeña minería informal del carbón. Las autoridades deben exigir y brindar los mecanismos para su formalización así como supervisar la capacitación técnica del personal en las labores de extracción del carbón. El Estado debe articular a los actores en esta industria y las comunidades para que tomen conciencia del impacto negativo que ocasiona al medio ambiente la actividad minera del carbón durante su periodo de explotación y cuando cese la explotación. En esta última etapa, en la mayoría de los casos, según el inventario de pasivos ambientales mineros, se dejan al expuestos y abiertos los accesos, tejeos, galerías, chimeneas y bocaminas, creando una condición insegura para los habitantes y animales de la zona.

El problema comprende también la carencia de un conjunto de acciones que permiten evitar impactos sobre la ambiente y la integridad de las personas con posterioridad al cese de una operación minera carbonífera especialmente de los pequeños mineros que operaron antes de la dación de la Ley General del Medio Ambiente en el año 1992, y en la actualidad la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema de Gestión Ambiental y su reglamento DS-008-2005-PCM, y la Ley de Creación, Organización y funciones del Ministerio del Ambiente DL N°1013.

La actividad minera del carbón en el Perú, según lo descrito, comprende a los yacimientos y concesiones, pero también a las explotaciones informales o a aquellas concesiones que utilizan trabajadores en condiciones no adecuadas. Estas actividades además de los riesgos propios de la actividad por presencia del metano, presenta problemas ambientales que están regulados por la Ley General del Ambiente. La ausencia de métodos modernos, prácticos, económicos y eficaces para mitigar los problemas de contaminación de pasivos ambientales constituye un problema que actualmente se percibe en nuestro país especialmente por las poblaciones que se encuentran geográficamente ubicados en las zonas de influencia de las operaciones mineras.

Esta investigación permite ponderar la viabilidad de las minas de carbón en relación con su efecto en el ambiente. Mediante la evaluación de las técnicas de cierre de minas se puede determinar si el diseño, remediación, recuperación de los entornos afectados son viables ambiental y económicamente para las instalaciones de minas de carbón abandonadas y en explotación, incluyendo a aquellas minas de carbón informales que existen en el país. Las técnicas de cierre analizadas son las utilizadas en estos escenarios que se adaptan a la realidad nacional. Estas técnicas estandarizadas buscan remediar los pasivos ambientales existentes en el país que afectan a comunidades cercanas o poblados adyacentes a las zonas de concesión minera que pueden verse afectadas por el problema de la contaminación por agua ácida subterránea a ríos, lagos, lagunas, y el suelo.

1.3 Formulación del Problema

1.3.1 Problema General

El problema general se define mediante la siguiente pregunta de investigación:
¿Cómo han influido el cierre de minas de carbón en la mitigación de la contaminación ambiental en Goyllarisquizga?

1.3.2 Problemas específicos

Para dar respuesta a esta interrogante se descompone la investigación en los siguientes aspectos de interés: el aire, el agua y el suelo, derivando en los siguientes problemas específicos de investigación:

- a) ¿En qué medida han influido las técnicas de estabilización física del suelo en la mitigación de la contaminación del aire en Goyllarisquizga?
- b) ¿En qué medida han influido las técnicas de estabilización química en la mitigación de la contaminación ambiental de Goyllarisquizga?
- c) ¿En qué medida han influido las técnicas de estabilización de hidrológica en la mitigación de la contaminación ambiental en Goyllarisquizga?

1.4 Antecedentes

Ante el problema de la contaminación por pasivos mineros, el enfoque para la solución de estos problemas está en el control de la contaminación del agua tanto de la proveniente de las explotaciones mineras (bocaminas), como aquella que, siendo agua limpia, se contamina al entrar en contacto con desechos o tierra contaminada con sulfatos o con minerales tales como

el plomo o el arsénico. Las técnicas de cierre de minas se enfocan en el tratamiento de los componentes que pueden ocasionar que el agua, los sulfatos y el contacto con el aire.

Como complemento a las técnicas de cierre propias de la minería, se han realizado diversos estudios e investigaciones sobre las técnicas de filtrado de estas aguas con el fin de mitigar los efectos contaminantes de los compuestos derivados de los residuos mineros. Estos estudios también establecen parámetros para los minerales más peligrosos como complemento a las regulaciones nacionales. Algunos de ellos son “Limestone Drain Design Parameters for Acid Rock Drainage”, (Mukhopadhyay, B., Bastias, L. & Mukhopadhyay, A. Mine Water Environ, 2007) enfocándose en tratamiento pasivo de las aguas para reducir la concentración de minerales contaminantes; otras como “Mining Industries and Their Sustainable Management” (Chattopadhyay, S. 2012); o “Rehabilitation of Soils in Mining and Raw Material Extraction Areas” (Meuser H. Rehabilitation of Soils in Mining and Raw Material Extraction Areas, 2013); y “How sustainability helps coal and other mining operations” (Chattopadhyay, 2012) estas investigaciones estudian los efectos de los minerales derivados de la explotación del carbón y sus efectos contaminantes así como las propuestas sustentables el tratamiento de los efluentes.

1.4.1 Internacionales

Los efectos del cierre de minas siempre han sido objetos de atención de las organizaciones y empresas relacionadas al sector, sobre todo en lo relacionado a la mitigación de los efectos dañinos de los contaminantes y pasivos ambientales. Así, desde inicios de la década del 2000 se plantea ya el intercambio de experiencias, a través del Décimo Taller Anual BC-MEND de Lixiviación de Metales y Drenaje Ácido de Rica sobre “Comportamiento de los Residuos

Generadores de OAR, Caracterización de Materiales y Proyectos MEND”, en Van-couver realizada en diciembre del 2003; y también durante el 12° Taller Anual de MEND 2005 en Lixiviación de Metales Drenaje Acido de Roca, realizada en British Columbia, Van-couver del 30 de noviembre al 1 de diciembre de 2005. En estos eventos se plantearon, como temas eje, los retos en la predicción de la composición química de los drenajes producidos por el intemperismo de rocas. Entre los casos estudiados se encontraron la caracterización de materiales en la operación minera; la predicción previa al minado o al cierre de minas; los diferentes procedimientos de predicción; cambios temporales en el intemperismo y la composición química del drenaje. De esta manera se centra la atención de los contaminantes en aquellos procedimientos o aspectos que se identifican como centrales en el cierre de minas y sus efectos. (BCMEND, 2005)

En el 2do Simposium sobre Minería y Ambiente (2005) relizado en Rouyn-Noranda, del 15 al 18 de mayo, en este evento, un total de 195 delegados de 8 diferentes países participan en las conferencias y exposiciones comerciales relacionadas al sector. Las presentaciones en el taller se dividieron en siete principales áreas técnicas clave de investigación: relaves, relleno subterráneo, desmontes, aguas contaminadas, toxicidad, regulaciones y rehabilitación de minas abandonadas. (Rouyn-Noranda, 2005)

1.4.2 Antecedentes Nacionales

En el Perú, el cierre de minas y la gestión de pasivos ambientales mineros también es motivo de preocupación en el sector, sobre todo por la aplicación de las políticas medioambientales y la vinculación con la población local. Así, se realizan cursos especializados en cierre de minas y pasivos ambientales mineros. Algunos de ellos realizados en el Instituto de Ingenieros

de Minas del Perú durante el 2018. La minería como actividad dedicada a la extracción de recursos que alberga un yacimiento, tiene un período de vida limitado. Tras analizar el ciclo productivo se debe poner en marcha el Plan de Cierre de la instalación. Este plan va desde el desmantelamiento y demolición de aquellas instalaciones que no vayan a cumplir ninguna función y puedan suponer la alteración o deterioro del entorno, hasta la rehabilitación y el cierre de las instalaciones fuera de uso con vistas a eliminar los riesgos de accidentes y las fuentes generadoras de contaminación de suelos y aguas.

En la actualidad el cierre de minas tiene gran influencia sobre de vida de la mina, el cual tiene implicancias técnicas, ambientales, sociales, legales y económicas. Por tal motivo, el planeamiento del cierre de una operación minera requiere del concurso de diversas disciplinas, a fin de identificar los diferentes aspectos que contempla la etapa del planeamiento del cierre de una operación minera y de esta forma garantizar el logro de los objetivos del cierre.

Debido a que el problema de agua es un aspecto importante en una operación minera y sobre todo en la etapa de cierre y pos cierre de un proyecto minero, en el curso también se desarrollan técnicas y metodologías para la caracterización geoquímica de los residuos mineros (desmontes y relaves) además de las distintas alternativas de tratamientos de las aguas de mina las cuales contactaron con diversos componentes mineros, tanto durante la etapa de operación como para los efluentes residuales en la etapa de cierre cuya remediación puede ser viable mediante la aplicación de sistemas de tratamientos pasivos. (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 2018).

El Estado peruano, en su función de proteger los recursos y ecosistemas, norma y establece las políticas y lineamientos para la minimización de la contaminación ambiental. Esto se

realiza a través de documentos de gestión tales como la “Guía para la elaboración de planes de cierre de pasivos ambientales mineros de la dirección general de asuntos ambientales mineros del Ministerio de Energía y Minas del Perú”. (MEM, 2005) Esta guía brinda un enfoque estandarizado para la preparación de los Planes de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros a los responsables de la remediación ambiental y demás interesados, de conformidad con la Ley 28271, su correspondiente reglamento, promulgado mediante DS N° 059-2005-EM y modificatorias. En la Sección 1.1 se expone la finalidad del documento y las instrucciones de cómo utilizar cada una de las secciones que se encuentran en esta Guía. Asimismo, abarca el marco legal, la definición de palabras clave y un debate sobre el proceso de cierre de pasivos ambientales y los escenarios del cierre.

Cabe señalar que las pautas y criterios técnicos contenidos en esta Guía no excluyen la aplicación de otros que puedan ser necesarios de acuerdo con la naturaleza y ubicación del proyecto objeto del Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros. Asimismo, es adecuado señalar que el contenido de cada Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros va a depender del lugar donde se encuentra localizado, por lo que la Tabla de Contenido establecida en el Anexo I del Decreto Supremo N° 059-2005-EM debe entenderse como una estructura referencial, y debe indicarse y basarse en el caso, cuando un aspecto no es aplicable a cuyo Plan de Cierre.

El Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera establece la atribución de los procedimientos que aseguran la identificación de los pasivos ambientales mineros, la responsabilidad y el financiamiento para la remediación ambiental de las áreas afectadas por dichos pasivos, las condiciones para la presentación, revisión y aprobación de el Plan de cierre de pasivos ambientales mineros, así como las condiciones y procedimientos para su ejecución

y monitoreo de las actividades en el sitio después del cierre, con el fin de mitigar sus impactos negativos en la salud de la población, el ecosistema circundante y la población. (MEM, 2005)

En el mes de Mayo del 2017, se actualizó el Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera Cuajone, Southern Peru Copper Corporation, Sucursal del Perú (SPCC) el cual es titular minero y de las concesiones de beneficio de las unidades mineras (UM) Cuajone, Toquepala e Ilo. (Southern Peru Copper Corporation, 2017).

Las operaciones del proyecto se distribuyen geográficamente, incluida la explotación de los depósitos mineros de Toquepala y Cuajone (y sus instalaciones mineras adjuntas), además de la operación de la fundición, refinería, ferrocarril industrial, terminal marítimo y puerto en Ilo. SPCC solicitó WSP Perú S.A. (WSP). La preparación de la Segunda Actualización del Plan de Cierre de Minas (II APCM) de la UM Cuajone.

Esto, de conformidad con la normativa ambiental vigente: Ley de cierre de minas, Ley N ° 28090; sus enmiendas y reglamentos, Decreto Supremo (D.S.) No. 033-2005-EM, que en el art. 20, numeral 1, establece que los Planes de cierre de minas (PCM) deben actualizarse al tercer año de su aprobación y luego cada cinco (05) años durante la vida útil de la mina. Este II APCM ha sido preparado en base a la información presentada al MINEM en los siguientes documentos de gestión ambiental: Programa de Adaptación y Manejo Ambiental (RD N ° 042-97-EM / DGM), EIA del Proyecto Integrado de Lixiviación Cuajone - Toquepala (RD N ° 334-95-EM-DGM / DPDM), EIA Proyecto de Control de Avenidas del Río Torata (RD recaído en el Informe No. 661-98-EM-DGM / DPDM), Plan de Cierre UP Cuajone (RD No. 275-2009 - MEM-AAM), Primera actualización del Plan de Cierre de Mina de la UM Cuajone (I APCM)

aprobado con RD N ° 444-2012-MEM-AAM y el informe técnico de la Unidad Minera Cuajone, “Mejoramiento Tecnológico Ambiental de la Cuajone Unidad Minera y Obras Afines según el RD No. 148-2016-MEM-DGAAM. La segunda actualización del Plan de cierre de minas describe con mayor detalle las medidas de cierre para los nuevos elementos del plan o para aquellos que fueron modificados como resultado de la Primera actualización del Plan de cierre de minas I-APCM (SWS, 2012). Las estrategias de cierre y los costos derivados se desarrollarán con mayor precisión en los últimos cinco años antes de la finalización de las actividades relacionadas con el proyecto minero.

El Estado, a través del Ministerio de Energía y Minas, ha establecido el inventario de pasivos ambientales mineros del MEM, a través de la R.M. No. 010-2019-EM / DM. Como antecedente, existe un inventario inicial de pasivos ambientales mineros desde 2006, aprobado por RM No. 290-2006-MEM / DM, publicado en el Boletín Oficial El Peruano. La Dirección General de Minería del Ministerio de Energía y Minas difunde el inventario y sus actualizaciones a través de su publicación en el sitio web institucional. El resultado de esta actualización a 2019 indica que hay 8448 pasivos ambientales mineros. (MEM, 2019)

En este contexto, la investigación es importante porque los resultados pueden verificar la efectividad de la técnica de cierre de minas y, mediante un indicador, se marcaría una línea de base sobre la cual se podrían generar otras soluciones, en gran parte, la contaminación existente en el distrito de Goyllarisquizga y, en general, aplicación a otras minas de carbón en todo el país. Su aplicación abarcaría minas de carbón abandonadas de pequeño o mediano tamaño, y aquellas actualmente en producción, contribuyendo a mitigar los pasivos ambientales existentes en diferentes partes de nuestro territorio nacional, y demostrando que con la aplicación

de estas técnicas de Cierre de minas se puede trabajar la actividad minera en cualquier parte del país sin causar daños a la comunidad y al medio ambiente.

1.5 Justificación de la Investigación

1.5.1 Relevancia Social

Los planes de cierre de minas tienen como objetivo la minimización del daño ambiental por la contaminación de elementos derivados de la explotación minera. Sobre ellos, es de particular preocupación la presencia de minerales peligrosos en las aguas como es el plomo y el arsénico entre otros. Siendo elementos altamente contaminantes, tanto el plomo (Pb) como el arsénico (As) (entre otros), ocasionan daños al ambiente, pero también en los recursos biológicos que se relacionan con los alimentos y hábitat de las poblaciones y por ello terminan afectando a las personas que viven cercanas a los centros de explotación minera. Estos contaminantes producen gran daño en la salud. Sobre ello, Galetovic.A (2003) indica que:

la exposición crónica al arsénico por la ingestión de agua puede causar efectos adversos en la salud humana... los primeros antecedentes históricos que relacionaron la presencia de arsénico en el agua y lesiones en la piel como hiperpigmentación, hiperqueratosis y cáncer cutáneo... por medio de numerosos estudios se sabe que una exposición a largo plazo causa lesiones características en la piel, incluyendo modificaciones en la pigmentación, principalmente en el tronco y las extremidades, queratosis en las palmas de las manos y pantas de los pies, hiperqueratosis, hiperpigmentación... la ingestión de agua con arsénico puede llevar a un incremento de abortos espontáneos y de recién nacidos muertos... y efectos cardiovasculares adversos (Galetovic-DeFernicola, 2003, p.367)

En particular, las minas de carbón, como se indicó anteriormente, pueden también constituir explotaciones informales, con explotación de trabajadores en condiciones inhumanas y exposición al peligro pro explosiones y derrumbes. Sin embargo, el principal riesgo para las

poblaciones circundantes y aquellas en zonas inferiores cercanas a las cuencas es la contaminación de las aguas y el aire. En particular, el agua afecta al ambiente cercano a la mina, así como a las poblaciones ubicadas aguas debajo de los ríos a los cuales se vierten los efluentes.

La ciencia y la técnica aplicada en la explotación formal minera tienen como objeto la preservación de la integridad de las personas y el cuidado del ambiente. Así, bajo la supervisión del Estado a través de la normativa ambiental, los concesionarios mineros deben proveer de las medidas de seguridad ambiental durante el proceso de explotación. El Ing. Jaime Rueda también sostiene como el ambiente puede verse afectado por la explotación de los recursos naturales. La geología ambiental, que la ciencia de la geología ambiental buscan:

...entender y encontrar soluciones a problemas ambientales naturales e impactos ambientales a causa de la actividad humana... se aplica a la 1) adecuada explotación de los recursos naturales, para evitar efectos secundarios en el medio ambiente...2) la evaluación de los cambios físicos en el ecosistema tierra-agua... 3) la evaluación de los fenómenos geológicos que pueden ser de riesgo para la salud y la seguridad del hombre y sus asentamientos. (Rueda, 2017, p.7)

Las técnicas adecuadas en cada caso particular deben garantizar que las poblaciones circundantes no se vean afectadas por material contaminante ni remanente de la explotación minera una vez que el periodo de la explotación haya finalizado o cuando cesen las operaciones por cualquier otra causa. Sin embargo, tal como se refirió en los antecedentes tenemos muchos casos de accidentes durante la operación, así como efectos contaminantes que son tratados por medio de las diversas técnicas para el cierre de minas y la remediación de suelos. Si bien estas técnicas son necesarias, según la normativa ambiental, solo se verifican los valores de monito-

reo en comparación con los límites máximos permisibles para adecuarse a los rangos permitidos. La evaluación de estos valores en distintos periodos permitirá constatar si los tratamientos y acciones de cierre de minas han permitido la reducción de los contaminantes y, en el tiempo, el efecto en las poblaciones.

1.5.2 Justificación Teórica

La explotación de las minas de carbón en el Perú está sujeta a muchos riesgos para la integridad de los trabajadores sobre todo cuando éstas no se realizan bajo estándares técnicos adecuados. Los efectos contaminantes en el ambiente causan numerosos perjuicios a las poblaciones y territorios adyacentes a las minas sobre todo por el drenaje ácido. Para mitigar estos problemas el proceso del cierre de una mina está sujeta a diversas técnicas que buscan controlar las emisiones contaminantes así como remediar el suelo. Entre estas técnicas se encuentran la separación de desechos y mezcla, aplicación de aditivos alcalinos, cubrimientos para minimizar o evitar la filtración de agua o aire. (Ecoamérica, 2007, p.18). La aplicación de estas técnicas se realiza en a las concesiones mineras formales, existiendo sin embargo muchos pasivos ambientales registrados por el Ministerio de Energía y Minas, en su Inventario de Pasivos Ambientales Mineros, así como sitios informales de explotación minera.

A través del cierre de minas de manera técnica, estos centros de explotación minera reducen la contaminación del ambiente y de los recursos que usa la población. Estas técnicas constituyen un conjunto de conocimientos que resulta de necesaria aplicación a todos los sitios de explotación minera formales e incluso los informales. Su aplicación es necesaria para reducir los efectos de los contaminantes y asimismo, la comprobación de su efectividad para la reducir

de los peligros para la salud y seguridad de las comunidades colindantes, a efectos de mitigar la contaminación del agua, aire y la tierra circundante a las zonas de explotación minera.

La contaminación del aire y la tierra tiene como principal agente el agua en combinación con el azufre. Los drenajes de agua ácida y los minerales que estas aguas arrastran contaminan las tierras y los cuerpos de agua (ríos) cercanos. Para la evaluación de las técnicas de cierre de minas es necesario analizar la calidad del agua. Esto se hace realizando mediciones y comparando éstas bajo ciertos parámetros estandarizados como son la temperatura, conductividad, ph, turbidez, cloro y presencia de coliformes. Al respecto, para el efecto del análisis de las aguas provenientes de las bocaminas interesa prestar atención a los siguientes parámetros: el pH que es el indicador que expresa el nivel o grado de acidez o alcalinidad del agua, en la escala de 0 a 14, la primera mitad (0-7) indica una solución ácida y de 7 a 14 indica una solución básica; la temperatura del agua, que expresa el grado de calor en grados Kelvin (K), y es de interés porque se relaciona con la conductividad y el ph del agua; y la conductividad, que se refiere a la propiedad de transmisión de calor o electricidad, medido en Siemens por metro (S/m). (Buella-Serrano, Martínez, 2011, p.5)

1.5.3 Justificación Metodológica

Las técnicas de cierre de minas implican procedimientos de estabilización química para elementos como los sulfatos que puedan mezclarse con el agua; la estabilización física del terreno con la finalidad de que aquellas tierras contaminadas no filtren minerales en contacto con el agua; y la estabilización hidrológica mediante el control de las corrientes naturales de agua limpias, evitando que estas se mezclen con tierras contaminadas (canalización) y evitando que

se contaminen con vertidos de aguas o flujos de minas con presencia de sólidos contaminantes. Estas técnicas posteriormente requieren de un monitoreo permanente para comprobar que el agua, el suelo y el aire se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de contaminación, por lo que la aplicación de estos métodos se encuentran normalizados en el sector.

La aplicación de las técnicas del cierre de minas corresponde además a procesos estandarizados que se interrelacionan con las técnicas de remediación de pasivos ambientales. La investigación abarca aquellos factores que afectan a los tres componentes que pueden generar contaminantes ácidos como son los sulfuros, el agua, el aire y su relación con el suelo. La evaluación de los resultados de estas técnicas permite inferir su aplicación en cualquier región del territorio como una guía de remediación ambiental a fin de que pueda ser replicado en otros pasivos ambientales.

1.5.4 Justificación Práctica

La aplicación de estas técnicas de cierre de minas es observable existiendo casos de estudio en minas similares para efectos comparativos. Se cuenta con la información proporcionada por los encargados del cierre de la mina de Goyllarisquizga por lo que se puede analizar los efectos de este proceso sobre el ambiente, específicamente, sobre las acciones de remediación realizadas. Las acciones de remediación de suelo están ligadas al proceso de cierre de minas. La evaluación de las técnicas de cierre de minas se monitorea mediante indicadores relacionados a los aspectos contaminantes, sea aire, agua o suelo. Estos indicadores deben evaluarse no solamente con referencias a los valores máximos permitidos sino en el contexto de cada caso o mina en particular. Con especial atención en las minas de carbón, la evaluación del plan de cierre de la mina de Goyllarisquizga mediante el análisis comparativo del monitoreo

realizados representa aporte para los investigadores, estudiantes y profesionales del sector, de tal manera que no quede solamente como reportes y comparativos de valores sino en un estudio evolutivo de estos indicadores analizados desde la perspectiva de la experiencia en el sector.

La evaluación de los factores en estudio puede ser efectuada mediante el seguimiento de los valores detectados, monitoreos realizados al inicio del cierre de minas (registros del Ministerio de Energía y Minas) y mediciones actuales, así como en el caso particular de estudio, mediante la recolección de datos sobre la mina de Goyllarisquizga. Los resultados, si bien corresponden a un caso en particular, pueden ser de aplicación universal, y marca una línea base aplicable para el estudio de otros casos de cierres de minas formales o para fomentar los procedimientos de cierre de mina en explotaciones informales.

1.6 Limitaciones de la Investigación

La investigación de este estudio se basa en la mina de carbón de Goyllarisquizga que está ubicado en la Provincia de Daniel Alcides Carrión en Cerro de Pasco. La investigación se centraliza en la implementación de técnicas de cierre de minas, la Mina subsuelo y Tajo Abierto, los restos de minerales en superficie, plantas de lavado, campamentos e infraestructuras de servicios, carreteras, que sirvieron para la explotación de sus recursos. Todos estos están vinculados a la actividad del cierre de minas. Por esta razón las conclusiones que se pueden obtener, contribuyen en la demostración que las técnicas de cierre de minas y los procedimientos de remediación en las minas de carbón, (tomando como referencia a aquellas aplicadas en la mina de carbón de Goyllarisquizga) son efectivas para mitigar o eliminar los efluentes contaminantes y, en general, a reducir la contaminación del ambiente. No obstante las variantes entre los yacimientos, la naturaleza del carbón y las peculiaridades de cada zona, la explotación de las

minas de carbón tienen como efecto secundario común la presencia de gas grisú durante sus operaciones de extracción, y la contaminación por drenaje ácido, o contaminación de aguas y suelo por presencia de sulfuros. (Organización de las Naciones Unidas, 2016).

Se debe tener en cuenta que la formación de aguas acidas teóricamente es por la presencia de Sulfuros más el oxígeno que existe en el ambiente más el agua producto de las precipitaciones y otros. Estos tres elementos juntos a la vez sulfuros, agua y oxígeno reaccionan químicamente y forman el Agua acida. Estos tres componentes son encontrados en cualquier mina del mundo. Por esta razón, la investigación se centrará, sobre todo, en el análisis de los sistemas hidrológicos de Goyllarisquizga, es decir, de las bocaminas Azalia y del Túnel Pucará, que son los que suelen verse contaminados por la presencia de sulfatos que acidifican el agua y de minerales y sustancias tóxicas como el plomo y arsénico. Se busca también estos elementos en el aire.

Respecto del suelo, se entiende que la contaminación se produce como consecuencia del drenaje de aguas ácidas, por lo que está en directa relación con el análisis del sistema hidrológico, y además, de las técnicas de remediación del suelo, es decir de la contención de los taludes y el aislamiento de los botaderos para evitar su contacto con agua limpias que pudieran ser contaminadas. Esto último se realiza mediante la estabilización geológica del talud, la cobertura con geomembranas y la derivación de aguas con canales de coronación. Todas estas técnicas se han aplicado en la zona donde se realizó la actividad minera y corresponden a emplazamientos indicados en los planos de la mina. En esta investigación se analizan los efectos de las técnicas aplicadas en Goyllarisquizga a través de los monitoreos.

La investigación se limita a la interpretación y análisis de los datos obtenidos por el monitoreo llevado a cabo en nombre de CENTROMIN PERU, que están registrados en el registro del Ministerio de Energía y Minas; así como el monitoreo oficial en períodos posteriores llevado a cabo por el Ministerio de Energía y Minas, Ministerio de Medio Ambiente, y el actual responsable de los pasivos mineros ACTIVOS MINEROS SAC y las empresas y laboratorios relacionados a esta tarea.

1.7 Objetivos de la Investigación

1.7.1 Objetivo general

El objetivo general de la investigación es: Conocer la influencia de cierre de la mina de carbón en la mitigación de la contaminación ambiental Goyllarisquizga

1.7.2 Objetivos específicos:

Alineados al objetivo general, los objetivos específicos de la investigación son:

- a) Conocer en qué medida influye las técnicas de estabilización física del suelo en la mitigación de la contaminación ambiental Goyllarisquizga
- b) Conocer en qué medida influye las técnicas de estabilización química en la mitigación de la contaminación ambiental de Goyllarisquizga
- c) Conocer en qué medida influye las técnicas de estabilización hidrológica en la mitigación de la contaminación ambiental en Goyllarisquizga

1.8 Hipótesis

1.8.1 Hipótesis Principal

La investigación sostiene como hipótesis principal que las técnicas de estabilización del cierre de las minas aplicadas en Goyllarisquizga mitigan adecuadamente la contaminación ambiental ocasionada por la actividad minera. Se toma como referencia las bocaminas de Azalia y Pucará para el análisis respectivo.

Se asume que esta influencia es inversa, es decir, que las acciones de remediación de los pasivos ambientales mineros realizadas durante los procesos de cierre de minas permiten, de manera efectiva, reducir la contaminación ambiental en la zona de operación de la mina, las poblaciones cercanas y en la zona de influencia de la mina.

Esta hipótesis permite definir como variable de estudio (dependiente) la Contaminación Ambiental ocasionada por los remanentes de la actividad minera, específicamente respecto de la mina de carbón de Goyllarisquizga, es decir el Pasivo Ambiental de Goyllarisquizga.

1.8.2 Hipótesis específicas

En concordancia con la hipótesis general, se establecen las siguientes hipótesis específicas abarcando cada una de las dimensiones de interés:

- a) Las técnicas de estabilización física del suelo influyen significativamente en la mitigación de la contaminación ambiental en Goyllarisquizga
- b) Las técnicas de estabilización química, influye significativamente en la mitigación de la contaminación ambiental en Goyllarisquizga
- c) Las técnicas de la estabilización hidrológica influyen significativamente en la mitigación de la contaminación ambiental en Goyllarisquizg

II MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Conceptual

La investigación analiza la aplicación de un planteamiento de un modelo de técnicas de ingeniería, prácticas, modernas, confiables, seguras que se adecuen a la realidad nacional y que estén enmarcadas en las regulaciones nacionales. Las técnicas de cierre de minas buscan mitigar los pasivos ambientales existentes a través de un conjunto de acciones de estabilización al agua, sulfuros y oxígeno en la mina y superficie, asimismo proceder a taponear los accesos, galerías, tajos y chimeneas, para luego finalizar con una cobertura vegetal con plantas naturales de la zona o con la siembra de pastos. Estas actividades de remediación son parte de las técnicas del cierre de minas que buscan mitigar la contaminación ambiental.

El contenido de la investigación pretende ofrecer una validación a los procedimientos de cierres de minas para la mitigación de la contaminación ambiental con el fin de que estudiantes, profesionales, empresarios e instituciones puedan aplicar estas técnicas a los pasivos ambientales minero carbonífero que existen en el Perú y que son las principales fuentes de contaminación al agua, aire y tierra. Estos contaminantes traen mucho perjuicio a la sociedad y particularmente a las comunidades cercanas a las minas. La validación de estos procedimientos se analiza mediante los resultados en el tiempo luego de aplicar estas técnicas a la mina de carbón de Goyllarisquizga. Se requiere observar la contaminación sobre todo del agua, eje crucial en la cadena de contaminación, y luego el aire y el terreno o el suelo, para efectos de determinar el éxito en la contención de los elementos contaminantes y su contacto con el agua limpia y el contacto del agua contaminada proveniente de la mina con el terreno.

Con la finalidad de precisar aquellos conceptos importantes que se han utilizado en el desarrollo de esta investigación, relacionados con las actividades propias del cuidado ambiental y el cierre de minas, es necesario detallar los siguientes:

2.1.1 Cierre de Minas

La contaminación en las minas desde los puntos de generación es la interferencia al medio ambiente de elementos nocivos para la vida, la flora o la fauna que degradan o disminuyen la calidad de la atmósfera, del agua, del suelo o de los activos y recursos naturales. . en general. La característica del cierre de minas es evitar la intrusión de agua ácida en el suelo, el agua y el aire que contaminan el medio ambiente. La importancia del cierre de minas es estabilizar los puntos de generación de aguas ácidas llevándolos por debajo de los límites máximos permisibles que exige la ley. (Flores J, López-Moreno, 2006).

Las aguas ácidas provocadas por la actividad minera deben ser tratadas debido a que ocasionan la reducción de especies biológicas locales, fauna y flora; lo que ocasiona la contaminación de la cadena alimenticia de otras especies no solamente por la acidez del agua sino por la contaminación de otros elementos propios de la explotación los cuales pueden en muchos casos alcanzar niveles tóxicos de metales pesados. Este efecto llega finalmente a las poblaciones contaminando los alimentos de origen animal o vegetal, y directamente al agua que es consumida por los habitantes de los lugares, sobre todo los adyacentes a las zonas de explotación minera. Los efectos nocivos son extensibles hacia los ecosistemas vinculados y hacia aquellas poblaciones que dependen de las aguas que drenan por filtraciones hacia ríos o subsuelo. (Ocheing, 2010).

Los proyectos completos de cierre de minas buscan, además del adecuado cierre físico de la mina, la remediación de las tierras para su reutilización por parte de las comunidades, es decir que tiene un objetivo ambiental y de infraestructura. Según la World Coal Association (Asociación Mundial del Carbón) los objetivos de un cierre de minas deberían ser: a) prevenir los impactos negativos en el suelo, agua y aire en las áreas cercanas a las minas; b) restaurar la calidad del suelo del nivel superior (pre-mining level); y finalmente c) mantener y mejorar el paisaje de la zona de explotación en forma funcional, esto es no solamente visual sino llegando a mantener las propiedades y usos del entorno. Actualmente se considera que el cierre adecuado de minas es parte integrante de un proyecto de explotación de la mina. (WorldBank, 2018)

2.1.2 Estabilidad Química del aire, agua y suelo

La generación de aguas ácidas que afectan al medio ambiente (Al agua, al aire, al suelo) se forman por medio de una reacción química con la presencia de metales en forma de sulfuros que se encuentran en las minas abandonadas tanto en el interior como en la superficie, y con la combinación del agua que proviene de las lluvias o ríos, y la presencia del oxígeno presente en el ambiente natural. Estos tres elementos (Sulfuro+Agua+Oxígeno) para reaccionar químicamente y formar agua acida tienen que estar necesariamente a la vez juntos. Si falta uno de estos elementos no hay reacción química por consiguiente no hay formación de aguas ácidas. Con el conocimiento de este principio químico se aplican las técnicas adecuadas para aislar uno de estos elementos y evitar una reacción química y formación de aguas ácidas contaminantes.

Es importante conocer que el principal problema de contaminación tiene relación con el azufre que acidifica el agua, y con la oxidación de los equipos utilizados en la explotación minera y, sobre todo, con el material y roca removidos que contienen también minerales que

son oxidados en contacto con el oxígeno del aire o por bacterias, y origina la oxidación de los sulfuros. Algunas reacciones conocidas importantes son a un pH mayor que 4: a) oxidación de pirita: $FeS_2(S) + \frac{7}{2} O_2 + H_2O \rightarrow Fe^{2+} + 2SH_4^{2-} + 2H^+$; b) Otros Sulfuros: $CuFeS_2, PbS, ZnS, CuS; CuFeS_2 + 4O_2 \rightarrow 2SO_4^{2-} + Cu^{2+} + Fe^{2+}$; y a una pH menor que 3.5: a) oxidación de pirita por bacteria: $FeS_2(S) + Fe^{3+} + 8H_2O \rightarrow 15Fe^{2+} + 2SO_4 + 16H$; b) otros sulfuros: $CuFeS_2 + 16Fe^{3+} + 8H_2O \rightarrow 2SO_4^{2-} + Cu^{2+} + 17Fe^{2+} + 16H^+$ Estas reacciones son propias de la contaminación por el drenaje ácido de mina. (Bertrand, 2006, p.18)

Las aguas residuales de las minas tienen muchos metales derivados de la reacción química entre el agua y las rocas que contienen minerales que contienen azufre. Entre estos metales se encuentra la pirita, mineral que en las condiciones propias de la mina produce la generación de ácidos y disolución de metales cuando el carbón contacta con el agua y el oxígeno. El proceso de oxidación en las rocas produce iones de hidrógeno, iones de sulfato y cationes de metal solubles, y también con el hierro en condiciones suficientes de agua u oxígeno. En los yacimientos mineros, según la propia forma de explotación, se encuentra roca expuesta que es afectada por estos procesos de oxidación resultantes en la acidificación de agua y el suelo. (Ocheing, 2010).

En las actividades de cierre de minas, las técnicas de control procuran la estabilización e impermeabilización del suelo, mediante el encapsulamiento de los residuos de carbón utilizando geomembranas y/o arcillas, con la finalidad de evitar el contacto de las aguas con el residuo de carbón y minerales secundarios existentes. La geomembrana es cubierta por capas de tierra de cultivo con la finalidad de restablecer el uso del suelo para sembrar plantas, pastos, arboles oriundos de la zona y recuperar el paisaje original de la zona. (Renken, 2005).

La cobertura permite la eliminación de la contaminación del aire que se produce por la erosión del viento desde los depósitos antiguos y remanentes del carbón. La estabilidad física del depósito se obtiene mediante el diseño de un adecuado ángulo de reposo del talud conjuntamente con la construcción de canales de coronación, drenaje y otros que impidan la remoción de las capas de tierra por acción del agua. En el interior de la mina, las técnicas de cierre implican el taponeamiento de los accesos, galerías, chimeneas y en ciertos casos la inundación con agua para evitar el ingreso del oxígeno a interior mina. Estas técnicas permiten la estabilización química del agua, previniendo el drenaje de agua contaminada y ácida. (Fourie, 2010).

2.1.3 Prevención de la contaminación

Según el Ministerio de Energía y Minas, y la “Guía para elaborar estudios de Impacto Ambiental 2005”, la prevención de la contaminación ambiental es el diseño y la ejecución de medidas o actividades destinadas a prevenir, controlar, evitar, eliminar o cancelar la generación de impactos y efectos negativos que un proyecto de inversión puede generar en el medio ambiente. La característica es hacer un estudio detallado de la estabilización para cada caso porque cada responsabilidad minera es totalmente diferente entre sí. La utilidad de este método es controlar la generación de contaminantes que afectan a las comunidades y áreas circundantes donde se encuentra la mina abandonada. (Ministerio de Energía y Minas, 2005).

La contaminación por la actividad minera se ha estudiado en entornos mineros analizando las consecuencias en el ambiente y la población. Como ejemplo se ha encontrado el caso de las minas de Potosí de Bogotá, Colombia en la cual, en el 2017, un estudio permitió comprobar el estrecho vínculo entre la actividad minera y la salud. Se concluye en el estudio que los efectos nocivos propios de la explotación minera se ven agravados con el desconocimiento

y falta de prevención de las comunidades, una situación común en aquellos poblados cercanos a las zonas de actividad minera, por lo que la prevención, pasa por la concientización de las poblaciones. La prevención de la contaminación requiere un mayor control en el caso poblaciones cercanas a los yacimientos mineros, incluso cuando estos yacimientos ya hayan cesado sus operaciones, en cuyo caso también se pueden detectar riesgos que pueden afectar al ambiente y a las poblaciones. En cuanto al suelo, cuando este pierde la mayoría de las propiedades químicas y físicas y material orgánico, se vuelve inestable e improductivo, facilitando la erosión y contaminando el aire y otras fuentes de agua circundantes que están asociado con un proceso de “desertificación”. (La Rotta y Torres, 2017)

2.1.4 Límites máximos permisibles de emisión

En el contexto de esta investigación los límites máximos permisibles o niveles máximos permisibles se definen como aquellos valores máximos que puede tomar un parámetro y que, normalmente se adoptan de manera legal, con el amparo de una autoridad, bajo una jurisdicción nacional o internacional si se refiere a valores internacionales adoptados o normados por otros países o regulados por instituciones acreditadas o reputadas en el ámbito de aplicación, como en el presente caso, aquellas vinculadas a la temática ambiental.

Según el Compendio de la Legislación Ambiental Peruana 2011, los límites máximos permisibles de emisión son los estándares, legalmente establecidos de elementos contaminantes provenientes de la emisiones de las actividades mineras. La característica es el monitoreo constante del agua, aire y suelo en el mismo lugar y sus zonas de influencia. Las utilidades de la medición de estos estándares son importantes para la estabilidad de los contaminantes por debajo de los límites máximos. (MEM, 2011)

En el caso de la ausencia de un marco regulatorio expreso, las entidades involucradas pueden tomar como referencia límites máximos adoptados por otros países u organizaciones internacionales. Así, en el caso de los monitoreos anteriores a la legislación ambiental vigente, se pueden encontrar mediciones que toman como referencia como es la Ley General de Aguas con uso III o IV para el caso del Perú o los índices CMC (Criterion Maximum Concentration) y CCC (Criterion Continuous Concentration) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2019)

2.1.5 Calidad ambiental y protección del medio ambiente

Según el Compendio de la Legislación Ambiental del Perú 2011, se argumenta que la calidad ambiental es la estructura y el estado de los procesos ecológicos que permiten el desarrollo sostenible, el desarrollo de la vida y la conservación de la diversidad biológica. También se entiende como el conjunto de propiedades de los elementos del entorno que nos permiten reconocer las condiciones en las que se encuentran estos últimos. La característica de la calidad ambiental es medible y con el monitoreo se puede reconocer en qué condiciones se encuentra. Su control es importante para mantener el área de influencia ecológicamente estable a favor de la flora, la fauna y la sociedad, especialmente las comunidades circundantes.

Según Compendio de la Legislación Ambiental Peruana 2011, se sostiene que la calidad ambiental es la estructura y estado de los procesos ecológicos que permiten el desarrollo sostenible, la conservación de la diversidad biológica y el desarrollo de la vida. También se entiende como el conjunto de propiedades de los elementos del ambiente que permiten reconocer las condiciones en que estos últimos se encuentran. La característica de la calidad ambiental es medible y con el monitoreo se puede reconocer en qué condiciones se encuentra. Es importante

su control para mantener ecológicamente estable la zona de influencia en favor de la flora, fauna y la sociedad, especialmente las comunidades aledañas. (MEM, 2011)

2.1.6 Desarrollo Sostenible

La Organización de las Naciones Unidas en el informe “Nuestro Futuro Común” de 1987 emitido por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, define el Desarrollo Sostenible como “la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (ONU, 2019, Pàg.1). Aplicada a la realidad minera, un recurso no renovable, la definición de desarrollo sostenible debe entenderse como la explotación sin comprometer el ambiente que es capacidad de generación para los pobladores circundantes y para el propio país, sobre todo cuando se compromete recursos que son por naturaleza renovables o de efectos amplios, como las tierras y el agua de los ríos.

Según el Banco Mundial, hacia el año 2007, el desarrollo sostenible significa satisfacer las necesidades sociales, económicas, ambientales, sin perjudicar la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las propias. La característica es explotar los recursos naturales en forma racional y planificada. Su utilidad es guardar los recursos para las generaciones futuras. (Banco Mundial, 2007)

Asimismo, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD, define objetivos para el desarrollo sostenible los cuales están alineados con la aplicación de una explotación minera responsable y con la mitigación de los pasivos ambientales mineros. Entre ellos se pueden nombrar los siguientes objetivos del PNUD: Objetivo 1: Salud y bienestar; Objetivo 6:

Agua limpia y saneamiento; Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante; Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructura; Objetivo 12: Producción y consumo responsable; y Objetivo 15: Vida de ecosistemas terrestres. (PNUD, 2019)

2.1.7 Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

Según el Ministerio de Energía y Minas, en la Guía para la preparación de Estudios de Impacto Ambiental 2005, en los Estudios de Impacto Ambiental, los aspectos físico-naturales, biológicos, socioeconómicos y culturales en el área de influencia del Pro - Para prever los efectos y consecuencias futuros, se espera que los titulares de las concesiones mineras planeen comenzar la etapa de explotación. (MEM, 2005)

Es un requisito para su aprobación que los EIA se presenten en audiencia pública. La característica de este estudio es que se presenta en audiencia pública a la sociedad. Su utilidad es que al final de la explotación de la mina se debe en lo posible dejar la zona igual o parecida antes de su inicio de explotación.

La evaluación del impacto ambiental se ha regulado por ley, habiéndose creado el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental – SEIA, regulado por la Ley General del Ambiente, la Ley del Sistema de Gestión Ambiental y la Ley del Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental, cuyos ejes estratégicos son: a) Estado soberano y garante de derechos; b) Mejora en la calidad de vida con ambiente sano; c) Aprovechamiento armonioso de los recursos naturales; d) Patrimonio Natural Saludable. (Comisión Multisectorial MINAM, 2013)

2.1.8 Monitoreo

Según el Ministerio de Energía y Minas, en la Guía para la preparación de Estudios de Impacto Ambiental para 2005, el Monitoreo es la recopilación espacial y temporal de información específica sobre el estado de las variables ambientales generadas como guía para actuar y alimentar los procesos de monitoreo y control ambiental. . Su característica es el muestreo de agua, aire y suelo en áreas perturbadas. Su utilidad es que, según los resultados del monitoreo, se tomarán medidas correctivas inmediatas si es necesario. (Ministerio de Energía y Minas, 2005)

2.1.9 Prevención y Peligros Naturales

De acuerdo con las normas del Ministerio de Energía y Minas, en la Guía para la preparación de los Estudios de Impacto Ambiental 2005, la prevención es el diseño y la ejecución de medidas o actividades destinadas a prevenir, controlar, evitar, eliminar o cancelar la generación de impactos y efectos negativos que un proyecto de inversión puede generar en el medio ambiente. Su característica es la anticipación de la generación de impactos ambientales en el área de influencia del proyecto minero. Su utilidad es la estabilización ambiental en el lugar donde se desarrolla el proyecto. (Ministerio de Energía y Minas, 2005)

Según el Ministerio de Energía y Minas, en la Guía para elaborar estudios de Impacto Ambiental 2005, el peligro natural lo define como aquellos fenómenos de origen natural o inducido que pueden afectar negativamente los objetivos del proyecto. Se diferencian por su origen en hidrometeorología, lluvias intensas, sequías, heladas, inundaciones, movimientos geodinámicos internos, terremotos, volcanes, huaycos y deslizamientos. Su característica es que

estos fenómenos naturales no se pueden predecir exactamente ni en magnitud ni el tiempo, pero importa conocer los potenciales daños que puedan causar en las zonas de influencia. Para contrarrestar estos fenómenos es necesario prepararse para la contingencia de acuerdo a las necesidades de la zona. (MEM, 2005)

2.1.10 Vertido, descarga y Agua Residual

El Ministerio de Energía y Minas, en su Guía para elaborar estudios de Impacto Ambiental 2005, define al vertido o descarga al agua residual que se arroja a un cuerpo de agua o alcantarillado. Una característica de estas aguas es que sus emisiones de contaminantes se realiza directa o indirectamente a las aguas. Su utilidad es conocer el grado de contaminación de estas aguas servidas al medio ambiente para poder mitigar sus efectos. (MEN, 2018)

Según el Ministerio de Energía y Minas, en la Guía para la preparación de Estudios de Impacto Ambiental 2005, define las aguas residuales como aguas después de que se han utilizado y con un cambio en su composición. Las características de estas aguas residuales son que se utilizan, desechos líquidos domésticos, urbanos e industriales o mineros, o aguas que se combinaron con las anteriores (lluvia o aguas naturales). Los sistemas de canalización, tratamiento y drenaje son necesarios para evitar la contaminación ambiental. (MEM, 2005)

2.1.11 Cuerpo de agua o cuerpo hídrico receptor

Según el Ministerio de Energía y Minas, en su Guía para elaborar estudios de Impacto Ambiental 2005, manifiesta que la masa de agua natural o artificial, corriente o no, superficial o subterránea que recibe la descarga. Su característica es que estos cuerpos de agua son las

extensiones de agua que se encuentran en la superficie terrestre como en los ríos, lagos y como sólido, asimismo como aguas saladas o dulces, en el subsuelo como aguas subterráneas, acuíferos. Su utilidad es al conocer estos tipos de aguas podemos utilizarla para nuestras necesidades. (MEM, 2005)

2.1.12 Contaminación Ambiental

Los elementos o contaminantes presentes en el medio ambiente definen la contaminación del medio ambiente de una región determinada. Los agentes físicos, químicos o biológicos o la congruencia de varios de estos agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser perjudiciales para la salud, la seguridad o el bienestar de la población, o que puedan ser perjudiciales para la flora, la fauna, o restringir su desarrollo, se les llama contaminación ambiental. La contaminación ambiental incluye los cuerpos que reciben elementos y / o sustancias, o mezclas de ellos, que modifican negativamente sus condiciones naturales, o que pueden afectar indirectamente a la población. A medida que las actividades humanas afectan los ecosistemas, el medio ambiente y en la medida en que estas actividades aumentan en respuesta a nuevas necesidades, existe una mayor contaminación ambiental. El comportamiento social del hombre, que lo llevó a comunicarse a través del lenguaje, que luego formó la cultura humana, le permitió diferenciarse de otros seres vivos. Pero mientras se adaptan al entorno para sobrevivir, el hombre se adapta y modifica ese mismo entorno según sus necesidades.

El progreso tecnológico y el rápido aumento de la población inevitablemente producen la alteración del medio ambiente, en algunos casos atacando el equilibrio biológico de la Tierra. No se puede presuponer una incompatibilidad absoluta entre el desarrollo tecnológico, el avance de la civilización y el mantenimiento del equilibrio ecológico, pero sin embargo deben

mantener un equilibrio. Para esto, es necesario proteger los recursos renovables y no renovables, así como mantener el saneamiento ambiental como eje fundamental para la vida en el planeta. La contaminación ambiental puede considerarse como uno de los problemas más importantes, ya que es el resultado de la incorporación al medio ambiente de sustancias o elementos que pueden causar efectos adversos en el hombre, la fauna, la flora y el entorno físico expuesto. La contaminación puede ser causada por causas o fuentes naturales o, artificialmente, un producto de la actividad humana (fuentes antropogénicas). Las fuentes de contaminantes antropogénicos más relevantes son las fuentes industriales, debido a los insumos y productos derivados del proceso de transformación; los comerciales, para los materiales generalmente derivados del petróleo que participan en los procesos de empaque y la cadena de distribución; agrícola, para fertilizantes químicos y desechos orgánicos e inorgánicos; urbano por los propios residuos de las ciudades, entre los que se encuentran contaminantes de origen plástico y químico de uso diario; y móviles, para los gases de combustión de vehículos. (Dangervil, 2014).

Generalizando el término, podemos relacionarlo con los factores que se analizan en esta investigación, tales como son aire, agua y suelo, y, en relación con el medio ambiente, se entiende como “contaminación”, según María Dolores Encinas (2011) como:

La presencia en el aire, agua o suelo de sustancias o formas de energía no deseables en concentraciones tales que puedan afectar al confort, salud y bienestar de las personas, y al uso y disfrute de lo que ha sido contaminado. Esto es, un medio o vector ambiental (aire, agua o suelo) estará contaminado si tiene algo (sustancias materiales, energía en forma de ruido, calor...) que provoca efectos negativos en él. Si ese algo no provoca efectos negativos, no se dirá que el medio está contaminado y, por supuesto, ese algo no será nunca un contaminante. (Encinas, 2011. p.4)

Asimismo, comenta Encinas (2011), estos tres factores se encuentran vinculados entre ellos, por lo que al analizar los efectos de la contaminación se debe observar los factores de aire, agua y suelo de manera conjunta y los efectos que uno causa en los otros. Esta interrelación se ilustra en la Figura 1, en la que se indican también aquellos elementos propios o agentes contaminantes o “vector ambiental” propios de la actividad minera del carbón. En el caso de la actividad minera el suelo y el agua son afectados por los botaderos, el agua de relave, y las rocas extraídas que se oxidan en presencia de oxígeno (o bacterias). Las aguas no contaminadas pueden mezclarse con contaminantes al pasar por botaderos con desmonte o equipamiento metálico abandonado.

Los contaminantes en los suelos no remediados pueden pasar al aire por erosión en suelos no tratados. El aire proveniente de las bocaminas también puede contener gas Grisú (metano y otros) que contamina el aire en la zona minera y el ambiente. Según Encinas (2011) *“La contaminación del aire, la del agua y la del suelo están muy relacionadas entre sí y no se pueden separar... , los contaminantes pasan fácilmente de un medio a otro, lo que complica la solución a los problemas de contaminación”*.

Y, por ello, entendemos que las soluciones planteadas deberían abordar de manera integral estos tres aspectos, y, por extensión, el análisis de los efectos de las técnicas de mitigación debería evaluarse considerando también estos tres aspectos en lo posible.

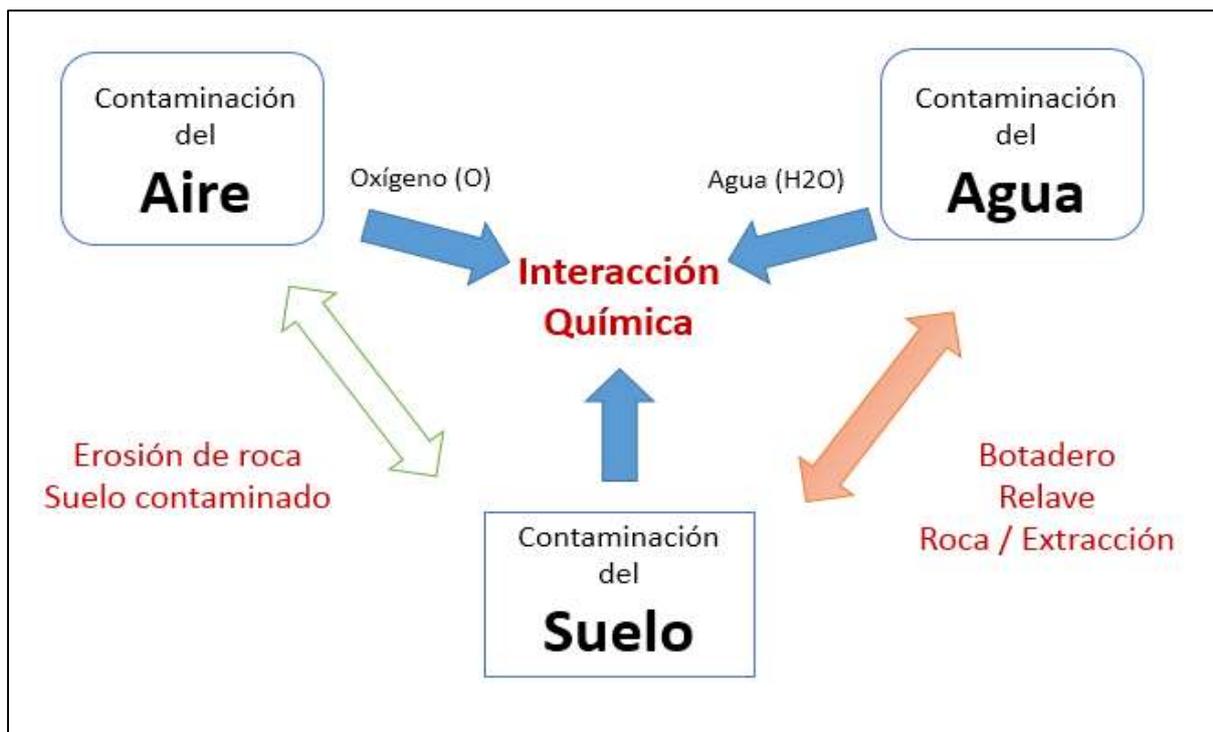


Figura 1. Esquema de relación existente entre la contaminación de los tres vectores ambientales: aire, agua y suelo. Los tres elementos interactúan químicamente ocasionando contaminación. Referencia: Encinas (2011) y Bertand (2006)

Los elementos contaminantes proceden o son emitidos por diversas fuentes sean éstas naturales como en el caso de un volcán activo, cuyas cenizas son contaminantes como en el caso del volcán Ubinas; o, fuentes de naturaleza artificial, el caso más frecuente, tal como es el de la actividad minera. Encinas hace una clasificación adicional de las fuentes de contaminantes artificiales como móviles y estacionarias, como puede ser el tráfico automotor de una ciudad (móvil) o las emisiones de una industria. El procedimiento completo alcanza a los receptores mediante el mecanismo descrito por Encinas:

Estos contaminantes que son emitidos directamente por la fuente se conocen como contaminantes primarios y son emitidos con un flujo o nivel de emisión que es la velocidad a la que es emitido por la fuente y, por tanto, tiene unidades de masa por unidad de tiempo. Una vez emitidos al medio (al aire, al agua o al

suelo), los contaminantes sufren una serie de procesos, no solo transporte y dispersión, sino también reacciones químicas, convirtiéndose en los contaminantes secundarios. La concentración de un contaminante, ya sea primario o secundario, después de ser dispersado es el nivel de inmisión y tiene unidades de masa por unidad de volumen. Finalmente, los contaminantes alcanzan los receptores a través de diversos mecanismos (por la precipitación, por la cadena alimenticia, etc.) provocando diversos efectos en ellos. (Encinas, 2011, p. 5)

En la Figura 2 se observa la clasificación de Encinas, y los efectos en el receptor, conformado en este caso por las poblaciones y recursos cercanos a la zona de explotación minera. La contaminación emitida afecta de manera conjunta al aire, al agua y al suelo. A través de estas vías llega a los receptores.

El aire no solo llega directamente al receptor sino que ocasiona lluvia ácida. El agua contaminada puede ser superficial o de subsuelo. El agua superficial se ve afectada por las precipitaciones. El agua del subsuelo puede contaminarse por la actividad minera. El agua superficial y la profunda afecta el suelo y al hábitat, flora y fauna en la cual se desenvuelven los seres humanos.

La parte crítica es el agua, pues su contaminación superficial o de subsuelo ocasiona efectos en la tierra y el agua de consumo de personas, animales y plantas. Asimismo, la contaminación del suelo, por erosión, afecta al aire que, por precipitación puede volcar contaminantes al suelo.

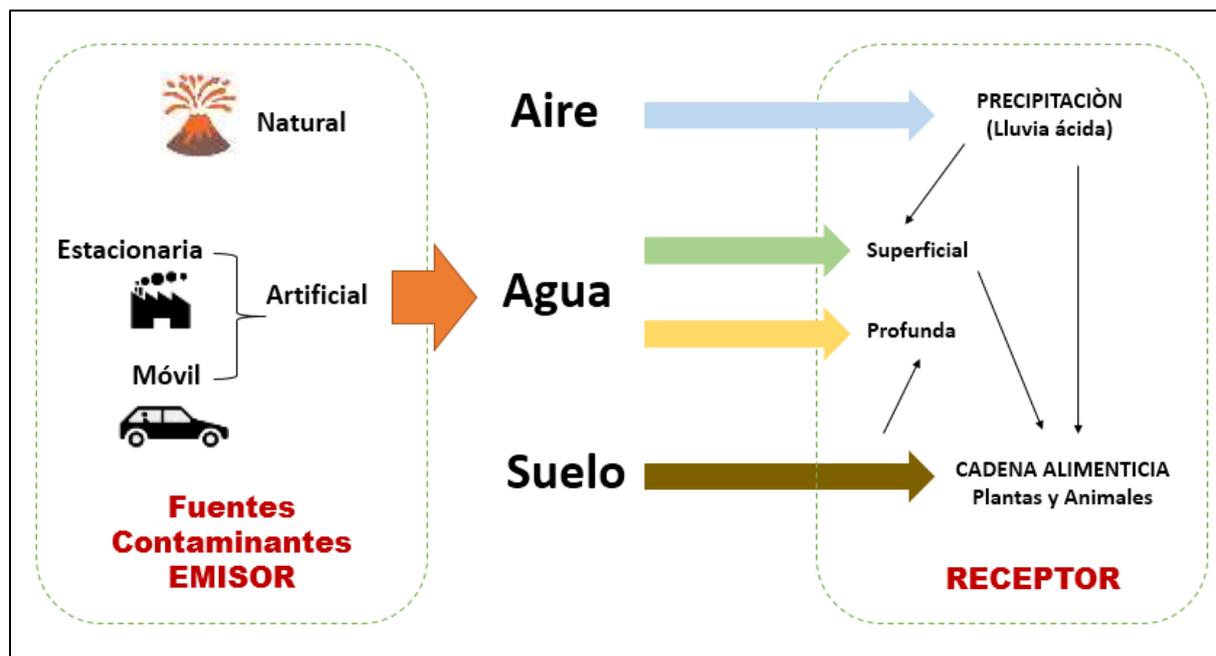


Figura 2. El esquema general del proceso de contaminación. Los emisores de contaminantes se clasifican en Naturales o Artificiales, pudiendo ser los últimos estacionarios (industrias) o móviles (transporte). Tiene como eje de contaminación al agua. Referencia: Basado en la clasificación de Encinas (2011).

2.2 Técnicas de cierre aplicadas en la mina Goyllarisquizga

La aplicación de las técnicas de cierre de minas en Goyllarisquizga tiene como finalidad la protección y la seguridad de la población, prevenir la degradación del ambiente. Estas técnicas de remediación buscan permitir el uso productivo de las áreas afectadas por la actividad minera para devolverles, en lo posible, su estado inicial para ser ambientalmente aceptables. Asimismo, se realiza para cumplir con la normativa ambiental y agregar valor al suelo.

2.2.1 Tratamiento para el Drenaje Ácido de Mina

Según el Plan de Cierre de las bocaminas de Pucará y Azalia presentado por la Empresa Minero del Centro del Perú (2002), y los informes anexos que obran en el registro del Ministerio de Energía y Minas, entre las técnicas de cierre de minas aplicadas a la mina de carbón de Goyllarisquizga, para el control del drenaje ácido de mina se ha contemplado, dentro del Plan

de cierre de Goyllarisquizga, métodos de tratamiento activo y técnicas de tratamiento pasivo, que necesitan poco mantenimiento. Entre las técnicas de tratamiento activo se encuentran el que utiliza cal para la neutralización de la acidez, el más convencional, en los cuales se sigue el proceso de equilibrio de flujo, neutralización, aireación, sedimentación, y la disposición de los lodos.

Entre las tecnologías de tratamiento pasivo, están los drenes anóxicos de caliza, Pantanos “waterlands” anareóbicos, y los sistemas de producción de alcalinidad sucesiva. En el caso del tratamiento activo, se requiere equilibrar el caudal y la calidad del agua hacia una planta de tratamiento, utilizando para ello pozas de equilibrio que son usualmente estructuras de tierra. El agua de mina fluye por gravedad hacia la planta de tratamiento. La naturalización del agua se realiza mediante la aplicación de cal (viva o hidratada) según la disponibilidad. Es necesaria la presencia del oxígeno para oxidar el hierro ferroso a hierro férrico, el cual al ser menos soluble, y que se precipita como hidróxido a un pH de 4.

Las instalaciones se complementan con pozas de sedimentación en el que el hierro férrico precipitado y otros sólidos en suspensión, se acumulan en los fondos de las pozas que tienen una capacidad de tratamiento de 12 horas de agua limpia. Finalmente estos lodos (precipitados) deben manejarse adecuadamente, siendo una de las alternativas la disposición de estos lodos en el interior de la mina.

El proceso de neutralización se complementa con materiales alcalinos como la piedra caliza (carbonato de calcio), cal (óxido de calcio), Cal hidratada (hidróxido de calcio), Soda Caustica (hidróxido de sodio), ceniza de soda (carbonato de sodio). La piedra caliza es más adecuada en aguas con pH ácido, siendo un proceso lento debido a la superficie de exposición.

En Goyllarisquizga, por la disponibilidad de proveedores de cal y la disponibilidad de la piedra caliza cerca a la bocamina Pucará, hace que sean estos materiales los más adecuados para el proceso de neutralización

En el caso del tratamiento pasivo, se involucran reacciones naturales, físicas, geoquímicas y bioquímicas tales como la disolución de carbonato de calcio, reducción de sulfato/hierro, generación de alcalinidad de bicarbonato, oxidación de metales e hidrólisis y precipitación de metales. Estos tratamientos son de bajo costo, tienen un periodo de vida limitado, y podrían requerido en el mediano plazo la reconstrucción o rejuvenecimiento del sistema. Los drenes anóxicos de caliza o DAC, para lograr su máxima eficiencia deben mantenerse en ambiente con bajo contenido de oxígeno (anóxico), esto permite la producción de alcalinidad sin cobertura de los clastos y precipitación, además de permitir el incremento de las concentraciones CO₂, lo que facilita también la producción de alcalinidad. Los DAC requieren la excavación de una zanja entre 0.60 a 3 m de ancho. (Centromin, 2002)

2.2.2 Taponamiento de Túnel con espuma de poliuretano

La técnica de colocación de un Tapón de Espuma de Poliuretano (PUF) dentro del túnel es una técnica usada desde hace décadas para el sellado de los túneles mineros. Impide las filtraciones de aguas a través del macizo rocoso. El tapón es una espuma impermeable que se adhiere fuertemente a la roca creando una barrera a las aguas del túnel sirviendo como contención ante filtraciones y para contener aguas acidificadas producto de la reacción química del mineral con el aire y el carbón.

El tapón de espuma de poliuretano presenta ventajas respecto del uso de barreras de concreto. Entre ellas, está la portabilidad del material, la facilidad de la instalación, la duración, la impermeabilidad, el peso y el costo asociado a la mano de obra. La espuma de poliuretano se puede formar en el mismo sitio mediante la mezcla de dos productos químicos. Esta mezcla puede expandirse casi treinta veces el tamaño original en el mismo túnel, formando el tapón. La solidificación se realiza en aproximadamente de dos a tres minutos. La densidad final de la espuma es aproximadamente 32Kg/m^3 .

Los tapones se colocan, generalmente, cerca de las bocaminas o de los portales. En el caso del túnel Pucará, los efluentes tienen pH neutro, pero alta concentración de aluminio y hierro, razón por la cual el tapón tenía que colocarse en cualquier sección del túnel situado aguas debajo de las zonas mineralizadas en la que se genera el drenaje ácido.

Los beneficios del tapón en el túnel Pucará son los siguientes: a) el agua proveniente de la mina es contenida detrás del tapón inundando las zonas más profundas del túnel hasta alcanzar el nivel de equilibrio; b) la ubicación del tapón alejado del portal del túnel hace que la presión hidrostática detrás del tapón sea mucho menor a la que existiría cerca a la bocamina o portal; c) se ocasiona la inundación de las labores mineras subterráneas, lo que reduce el oxígeno y la posibilidad de generación de drenaje ácido; d) aumenta el tiempo de permanencia de agua subterránea dentro de la mina, lo que maximiza el efecto neutralizador de las rocas calizas en el agua de la mina, estabilizando el pH; e) la mina actúa como una gran poza de sedimentación, para los sólidos suspendidos de hierro y aluminio que normalmente drenarían a la superficie a través del flujo del túnel Pucará.

2.2.3 Derivación de afluentes de Azalia hacia labores mineras subterráneas

Esta técnica de derivación de afluentes consiste en coleccionar los afluentes de Azalia, ubicados arriba del túnel Pucará, y meterlos nuevamente a la mina en otro punto inferior para que, una vez dentro del sistema de la mina, drenen naturalmente hacia el túnel Pucará junto con las aguas que normalmente descargan en él. Esta técnica de cierre implica la perforación de tres pozos subhorizontales desde el pie de las bocaminas Azalia hasta interceptar algún recinto de las labores mineras que drene normalmente hacia el túnel Pucará.

Las ventajas que ofrece este sistema son: a) construcción rápida y funcionamiento inmediato luego de su instalación; b) no genera desechos tóxicos; c) es autorregulable en función del caudal de ingreso del afluente; d) ocupa espacio muy reducido en la superficie; e) necesita muy poco mantenimiento.

Esta técnica se ejecuta conjuntamente con el sellado del túnel Pucará (mediante la técnica de taponamiento con espuma de poliuretano). De esta forma el caudal pequeño de Azalia se junta con el agua subterránea represada detrás del tapón, de modo que no fluya por la roca caliza en Pucará hacia el tramo no inundado. Se debe considerar la carga hidráulica la cual depende de las características del macizo rocoso y de las dimensiones de las labores mineras.

Las trincheras de los canales de coronación sirven para el ancaje de geomantas en sistemas mixtos. También funcionan como drenes colectores para la captación de escorrentías. Las dimensiones de las trincheras superiores tienen dimensiones de 0.80 m de ancho por 1.00 m de profundidad. El material proviene de las canteras Lihuaguagra, al sur de Goyllarisquizga, la

cantera de Corticollota, ubicada al este de carretera a Goyllaisquizga, desde Cerro de Pasco, la cantera Sacrafamilia ubicada a 30Km. al sur de Goyllarisquizga.

2.2.4 Geoamantas para la rehabilitación del cauce de la quebrada Pucará

Tomando como referencia la salida del túnel Pucará y la quebrada Quimapaccha los aportes de elementos como aluminio y hierro no son significativos, correspondiendo a la erosión y lixiviación del desmonte por efectos del agua de lluvias (flujo laminar esporádico), y por el flujo confinado (permanente). Sin embargo, para prevenir la contaminación por mineral residual (carbón) acumulado en la margen derecho de la quebrada Pucará, se realizó el encapsulado de estos botaderos con membranas sintéticas del tipo HDPE.

Los sistemas mixtos de baja permeabilidad consisten en: a) un geotextil no tejido (protección de geomembrana); b) una geoembrana HDPE texturada de 1.5 mm (aislamiento), y c) una capa de vegetación utilizando “geomantas reforzadas” para el refuerzo, protección, estabilización en el largo plazo y como cobertura final.

Para cubrir la irregularidad de la superficie de los botaderos, previamente a la colocación del geotextil se coloca una capa de material para llenar las imperfecciones. Este material proviene de las labores de limpieza del túnel, con aproximadamente 550m³ esparcidos por los aproximadamente 4000 m² de los botaderos con una capa de aproximadamente 0.15m.

Hay diferencias entre los botaderos de carbón y los botaderos de desmonte. En el caso de los botaderos de carbón se requieren geomantas reforzadas para que resistan las fuerzas de

tensión generadas por la cobertura de tierra vegetal ubicada encima. La geomanta deberá resistir la fuerza de fricción de deslizamiento sobre el talud provocada por la capa de tierra. La componente de peso de la capa de suelo (G) se calcula por la expresión: $G = p g d L$, en donde p es la densidad del suelo de cobertura (600 kg/m^2); g es la aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2); d es el espesor de la capa de suelo por encima de la geomanta (0.10m); L es el largo de la pendiente (54m). Las fuerzas de fricción (W) resistente a lo largo de la geomanta se calcula mediante $W = f G \text{Cos}(\beta)$, en donde f es $\tan\theta$ si $\varphi < \theta, \tan\theta$; G es el peso del recubrimiento, φ es el ángulo de fricción interno del suelo (30°); $\tan\theta$ es el coeficiente de fricción entre Geomanta y el suelo ($\tan 34^\circ$); β es el ángulo de la pendiente (32°). Para prevenir deslizamientos, la fuerza desestabilizadora del suelo deberá ser menor a la fuerza de fricción entre la geomanta y el suelo tal como se indica por: $G \text{sen}\beta < f G \text{cos}\beta$ o $\tan\beta < f$. Como resultante, se tiene que la fuerza de deslizamiento es igual a 0.625 y la fuerza de fricción entre la geomanta y el suelo es de 0.670 . Por ello, se determina que una cobertura de 0.10m no se deslizará.

Es importante la fuerza de tensión que la geomanta debe resistir. Esta está generada por el componente del peso en la dirección de la pendiente del talud. La fuerza máxima de tensión F (KN/m) actuando sobre la geomanta debe ser calculada para lo cual tenemos la siguiente fórmula: $F = G \text{sen}\beta - f' G \text{cos}\beta$ o $F = p g d L (\text{sen}\beta - f' G \text{cos}\beta)$ donde f' es el coeficiente de fricción entre la geomanta y la membrana HDPE. Este coeficiente es de aproximadamente 0.49 para geomembranas rugosas de HDPE. La fuerza de tensión resultante ejercida sobre la geomanta es entonces $F = 1600 \times 9.8 \times 0.10 \times 54 (\text{sen}32^\circ - 0.49 \times \text{cos}32^\circ)$ de donde: $F = 9684.76 \text{ N/m} = 9.7 \text{ KN/m}$. La fuerza tensional admisible requiere además un factor de seguridad FS , el cual se obtiene a partir de la Tabla de Jewel (1990). Considerando una duración de 120 años, colocación de material de relleno entre la geomembrana y la geomanta entre 2 a 60 mm y que el pH del suelo de cobertura debe estar entre 4.1 y 8.9 se tiene

una factor de seguridad global igual a: $f_s = 1.3 \times 1.3 \times 1.0 = 1.69$, con lo que finalmente la fuerza de tensión será $Ft = F \times FS = 9.68 \times 1.69 = 16.4 \text{ KN/m}$. La geomanta debe tener una resistencia igual o superior al valor calculado.

El trabajo de remediación implica el corte del talud en los desmontes para prevenir deslizamientos y el contacto de este material contaminante con las aguas. Asimismo, para prevenir el arrastre de partículas por acción del aire, las geomembranas cubren estos desmontes logrando que, además, no se mezclen con aguas de lluvia. La lixiviación permanente de metales desde los desmontes es causada por material de desmonte proveniente del túnel Pucará que llega al cauce de la quebrada del mismo nombre. La actividad de mayor costo beneficio es la limpieza del cauce de la quebrada Pucará, desde el portal hasta la quebrada Quimapaccha. También se encausa el curso del agua entre el desmonte para evitar el contacto del agua con material residual de la mina.

Como parte de las tareas de remediación era necesaria la remoción de todas aquellas obras que no tienen una utilidad o función remanentes de las operaciones mineras. Entre ellas la demolición y enterrado de toda estructura u obra de concreto que no sea parte del conjunto del muro de contención existente ni de los canales de coronación. Se requirió el encauzamiento de las aguas de la quebrada Pucará que caen a pocos metros de la entraba a la bocamina Pucará, a fin de que no se contaminen con los efluentes o materiales de desmonte alrededor de la entrada de la mina. Estas aguas son encauzadas hacia fuera de los muros de contención.

2.2.5 Revegetación en zona impactada de Azalia

En la zona de Azalia, se practicó la remediación de suelos mediante la revegetación de los botaderos y los desmontes. Las áreas impactadas fueron reperfiladas con roca de desmonte, buscando una pendiente máxima de 1:1.5. Se cubren estos desmontes con una capa de tierra vegetal para prevenir la erosión superficial y el arrastre de partículas en los taludes de desmonte.

De manera complementaria, estos desmontes confinados se protegen del contacto con las aguas mediante la construcción de canales de coronación para el desmonte y de canales de colección de aguas de escorrentía en las zonas superiores a los botaderos. De esta manera se evita que los flujos de agua con altas velocidades puedan causar erosión en la zona recuperada. Otros canales tienen la función de derivar estas aguas para su descarga final aguas debajo de la zona recuperada.

Parte de las obras de remediación en la zona de Azalia son las siguientes: a) construcción de canal de coronación aguas arriba de la zona de Azalia; b) encauzamiento temporal de las aguas de Azalia; c) reperfilado de 10,000m² de taludes de roca de desmonte, con pendiente máxima de 1:1.5; d) Cobertura de 24,000 m² con capa de arcilla de 0.30 m de espesor; e) Cobertura de 24,000 m² con capa de suelo de cultivo de 0.20 m de espesor; f) revegetación de suelo de cultivo de 24,000 m²; g) retiro de encauzamiento temporal luego de las coberturas.

Para el envío del material de sustrato para la revegetación de los taludes, se utilizan tuberías y bombeo desde el terraplén superior a través de bombas de alta presión para el envío de la pasta. Dependiendo del contenido de humedad necesario para el transporte, la mezcla

descargada puede ser directamente colocada en el sitio sin necesidad de almacenamientos temporales previos.

Las canteras de tierra vegetal identificadas en la zona de Pucará son: a) terraza ubicada entre 5m a 10m encima de los canales de derivación con ancho medio de 50m y profundidad de 0.40m, con tierra de muy buena calidad de color casi negro y libre de impurezas. El área total es de 5,000 m² con la extracción de 0.20m de profundidad para no degradar el sitio.

Las canteras de tierra vegetal para la zona de Azalia fueron las siguientes: a) al lado derecho de la quebrada norte, pero de calidad insuficiente y espesor de 0.20. b) cantera Lihua-guagra de tierra vegetal al costado de la carretera a Goyllaisquizga, en la cual hay una excavación efectuada por CENTROMIN Perú, que a la fecha de la ejecución del plan de cierre se encontraba regenerándose nuevamente; c) área extensa de más de 3Ha, en donde se puede extraer tierra vegetal para la zona de Azalia.

Los taludes revegetados son objeto de un monitoreo continuo para verificar el éxito de la revegetación y su durabilidad en el largo plazo. La inspección de los trabajos de revegetación se realiza con frecuencia trimestral.

2.3 Aspectos de Responsabilidad Social

En el estudio se analiza e identifica los impactos ambientales en la zona y sus antecedentes generales, también los aspectos externos generales como su ubicación, Geología regional, local y canteras, analiza y estudia los factores internos del depósito de carbón, como la

Estratigrafía, Geotecnia, caracterización geoquímica, infiltraciones, asimismo Factores Externos Técnicos del depósito como la Geodinámica Externa, Tectónica, Hidrología, también estudia los diseños de las obras de remediación como la Estabilidad Física, Química, Biológica, Visual y Social también su mantenimiento y monitoreo de la estabilidad física, química y biológica y en el Post Cierre evalúa los aspectos sociales.

En el contexto actual, en el que se hace relevante y necesario el cuidado ambiental, esta investigación abarca el tema primordial de las actividades mineras y su impacto en el aire, en el agua y el suelo, un tema muy sensible debido a que la actividad minera se ha encontrado frecuentemente con problemas de índole social, en parte motivado por las malas prácticas de algunas empresas y la permisividad legal que ha condicionado, en el pasado, negativamente a la comunidad. A través de esta investigación se demuestra también que los métodos y prácticas, así como los procedimientos estandarizados no solamente existen, sino que se cumplen con el objetivo de mitigar la contaminación y remediar los pasivos ambientales. Es relevante e importante como instrumento de difusión y modelo de procedimientos para el monitoreo por parte de las autoridades, sobre todo locales, que tengan vínculo con actividades mineras. De esta manera, se contribuye no solamente con la investigación en ofrecer métodos y buenas prácticas que sirvan de referencia, completando el acervo legal existente en las Guías del Ministerio de Energía y Minas, Ministerio del Ambiente y otros documentos sectores estatales relacionados con el cuidado ambiental, la salud y la gestión recursos mineros.

III. MÉTODO

La investigación realizada sobre las técnicas de cierre de minas se enfoca exclusivamente en el caso de la mina de carbón de abandonada de Goyllarisquizga, en particular, sobre aquellas técnicas aplicadas al túnel Pucará y de las bocaminas Azalia-Goyllarisquizga en Cerro de Pasco, propiedad de la Empresa Minera del Centro del Perú S.A. conocida como CENTRO-MIN PERU. Sobre este caso, el método de investigación describe las técnicas de cierre de minas de carbón, realizadas en el año 2002 en el marco del plan de cierre propuesto con el fin de mitigar este pasivo ambiental en Goyllarisquizga, realizando un análisis del estado del entorno de la mina al inicio del plan de cierre en el año 2002 y comparándolo con el estado actual del ambiente local, entendido éste bajo los datos obtenidos por el sistema de monitoreo post cierre existentes.

Los datos recolectados sobre la mina de Goyllarisquizga se han obtenido directamente de los análisis realizados para la formulación del plan de cierre que corresponde a los puntos de muestreo para la calidad del agua, para la estabilidad hidrológica y química, sistemas de monitoreo estructural-hidrológico, pruebas de percloración, pruebas de presión y filtraciones para tapón, estabilidad física de botaderos (relaves) y revegetación, según los datos disponibles para cada sector de la mina comprendido en el plan de cierre. Estas muestras permiten analizar la estabilidad física, química, hidrológica y biológica del emplazamiento minero y sus zonas de influencia.

La mina abandonada de carbón de Goyllarisquizga es una muestra típica de un pasivo ambiental en el Perú. En esta mina explotó el manto de carbón desde finales del siglo XIX, pasando bajo la gestión de las empresas Cerro de Pasco Corporation y CENTROMIN Perú desde 1970, explotándose por método de minería subterránea con cámara y pilares, minado tipo

Longwall y tajo abierto (CENTROMIN, 2002, p.5). Considerando las peculiaridades del mineral explotado y las características geológicas propias de cada lugar, los efectos en el medio ambiente de las operaciones mineras en Goyllarisquizga, se puede tomar como una referencia para el estudio de las técnicas típicas del cerrado de minas para el análisis de su efectividad.

Según se describió en la sección correspondiente al marco teórico de la investigación, la identificación de un pasivo ambiental minero corresponde a aquellas emisiones, efluentes, contaminantes del aire, el agua, el suelo, restos de botadero, residuos remanentes y aquellas instalaciones producto de las operaciones de la actividad minera y que representan un riesgo para a la integridad y salud de la población, propiedad y a los ecosistemas cercanos. Esta interpretación se enmarca en lo definido por ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera (Congreso del Perú, Ley N° 28271, Art 2). Estos pasivos ambientales pueden corresponder a aquellas minas abandonadas, o a aquellas que ya han agotado su vida útil, sin embargo es comprensible que muchos de estos efectos se pueden encontrar en las operaciones de minas activas, pero el término “pasivo” se aplica para aquellas minas abandonadas o inactivas. Estos remanentes pueden ser contaminantes permanentes o potenciales y constituyen un riesgo para la población y el medio ambiente en su zona de influencia por lo que tienen que analizarse conjuntamente con aquellos factores que potencian, mitigan, o neutralizan estos efectos negativos.

La gestión de estos pasivos ambientales mineros es una preocupación del Estado que supervisa esta actividad a través de un marco legal que comprende la regulación del cierre de minas, con la Ley N° 28090 del 14 de octubre del 2003, y posteriormente con la “Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera”, Ley N° 28271 del 6 de julio del 2004, y su reglamento el Decreto Supremo N° 059-2005-EM, “Reglamento de pasivos ambientales de la

actividad minera”, y sus respectivas actualizaciones, el Decreto Legislativo N° 1042 y el Decreto Supremo N° 003-2009-EM. Estas son las primeras regulaciones referidas a los pasivos ambientales mineros, conocidos por las siglas PAM. Las operaciones de la mina de carbón de Goyllarisquizga, desde antes de la dación de esta normativa ambiental mencionada, se regían según lo establecido por el Ministerio de Energía y Minas, por medio de la Dirección General de Asuntos Ambientales. Con anterioridad al inicio de las actividades de cierre de minas, en el año 2002, existían puntos de monitoreo que permiten obtener datos sobre el estado de la mina y su ambiente circundante.

Entre las cuencas hidrográficas priorizadas por el Ministerio de Energía y Minas se encuentra la cuenca del Alto Huallaga, en la que se encuentra la zona Goyllarisquizga. Esta cuenca se encuentra priorizada en octavo lugar, con un puntaje de priorización de 57, entre 65 cuentas priorizadas para intervención. Esta calificación, toma en consideración la seguridad humana, la salud humana y el ambiente físico, y la afectación de la fauna silvestre y conservación.

La normativa actualizada indicada anteriormente, contempla cuatro fases para la gestión de los pasivos ambientales mineros: a) la primera fase implica la actualización de un inventario de los pasivos, que incluye la identificación, caracterización y priorización de los pasivos ambientales mineros según el riesgo; b) la segunda fase implica la determinación de los responsables de la generación de los pasivos ambientales; c) en la tercera fase, se elaboran los estudios de ingeniería necesarios para la remediación de los pasivos ambientales; d) la cuarta fase es la ejecución de estos planes. La actualización del inventario de los pasivos ambientales mineros, hasta el año 2015, se encontraban en fase 1, correspondiendo según lo reportado por el Ministerio de Energía y Minas, al departamento de Pasco, en donde se encuentran las minas de Goyllarisquizga, los valores descritos en la Tabla 1. En esa tabla se muestra el inventario de pasivos

ambientales mineros de la región Pasco y el total nacional, incluyendo sus variaciones interanuales. Esta variación en el caso de la región Pasco es pequeña entre el 2011 y el 2015, por lo que puede entenderse que el inventario se encuentra estabilizado y pueden usarse para fines de comparación los datos históricos existentes de minas que no se encuentren operativas.

En el presente caso, la mina de Goyllarisquizga corresponde a un pasivo ambiental minero existente (como mina abandonada) anterior a la normativa que establece el registro de estos pasivos ambientales. El plan de cierre de minas del año 2002, sobre el que se analiza la situación de la mina Goyllarisquizga, correspondiente a los túneles Pucará y Azalia de la mina Goyllarisquizga, bajo la propiedad de CENTROMIN PERÚ, plan que se implantó y continúa bajo monitoreo periódico.

Tabla 1
Inventario de pasivos ambientales mineros (FASE I - Pasco y Total Nacional 2010-2015)

Año	Pasco	Variación Interanual	Total Regiones	Variación Interanual
2010	391		5557	
2011	429	10%	6855	23%
2012	429	0%	7576	11%
2013	429	0%	8206	8%
2014	454	6%	8571	4%
2015	454	0%	8816	3%

Fuente: Ministerio de Energía y Minas – Remediación de Pasivos Ambientales Mineros, 2015

Sin embargo, puede observarse que, en la actualidad aún existen dentro de la zona de Goyllarisquizga ex unidades mineras, con residuos mineros, tanto de bocamina como de material de desbroce que hacia el año 2019 aún forman parte del registro de pasivos ambientales mineros del Ministerio de Energía y Minas, tal como se indica en la Tabla 2.

La investigación analizará los datos obtenidos en los puntos de monitoreo de la mina de carbón de Goyllarisquizga relacionados con la estabilidad del suelo, estabilidad hidrológica, estabilidad química y vegetación. Los resultados de las mediciones al inicio del plan de cierre se contrastan con aquellas realizadas con posterioridad, por el sistema de monitoreo de pasivos ambientales mineros en las estaciones de monitoreo. De este modo se determina si las técnicas aplicadas al cierre de minas (tomando como base lo aplicado en la mina de carbón de Goyllarisquizga) mitigan la contaminación ambiental del entorno circundante al emplazamiento minero. De este modo se puede comprobar si las técnicas aplicadas en el cierre de minas cumplen efectivamente con el objetivo de contener los restos contaminantes provocados por la actividad minera y si se ha podido remediar adecuadamente el suelo para el aprovechamiento de las comunidades, en resumen, se analizarán datos existentes sobre la zona de las minas de carbón de la cuenca de Goyllarisquizga, para determinar su influencia en la contaminación ambiental.

3.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación utilizada en esta tesis es no experimental, transversal, en el que se busca recolectar datos que corresponden a un momento dado y que permitan explicar una situación en particular. (Hernández y otros, 2003, p.270).

En el caso de esta investigación se obtendrán los datos de los sistemas de monitoreo de pasivos ambientales mineros correspondientes a la mina de Goyllarisquizga, basándose en los datos utilizados en el Plan de Cierre de los túneles Pucará y Azalia de la mina Goyllarisquizga. Del mismo modo la investigación realizará comparaciones de estos datos con mediciones actualizadas en el marco de los monitoreos posteriores realizados por el Ministerio de Energía y Minas.

Tabla 2

Pasivos ambientales de Goyllarisquizga, Daniel Alcides Carrion, Pasco

EX-UNIDAD MINERA	TIPO DE COMPONENTE	SUBTIPO	NOMBRE DERECHO MINERO	TITULAR
SANSÓN DORMIDO	RESIDUO MINERO	MATERIAL DE DESBROCE	GOYLLARIDOS; GOYLLARISQUIZGA-2; MACHIN-15; VIRGENCITA DE CHAPI N° GOYLLAR MINING	COMPANÍA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.; EMPRESA MINERA DEL CENTRO DEL PERU S.A.; COMPANÍA MINERA
ASALIA	LABOR MINERA	BOCAMINA	COMPANY; GOYLLARISQUIZGA 2014; GOYLLARISQUIZGA-1; GOYLLARIDOS; GOYLLARISQUIZGA-2;	VICHAYCOCHA S.A.C.; EMPRESA MINERA DEL CENTRO DEL PERU S.A.; COMPANÍA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.;
SANSÓN DORMIDO	LABOR MINERA	BOCAMINA	MACHIN-15; VIRGENCITA DE CHAPI N° GOYLLAR MINING	EMPRESA MINERA DEL CENTRO DEL PERU S.A.; COMPANÍA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.;
LLAMAISHPANAN	LABOR MINERA	BOCAMINA	COMPANY; GOYLLARIDOS; GOYLLARISQUIZGA-2; GOYLLAR MINING	VICHAYCOCHA S.A.C.; EMPRESA MINERA DEL CENTRO DEL PERU S.A.; COMPANÍA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.;
POLVORINES GOYLLARISQUIZGA	LABOR MINERA	BOCAMINA	COMPANY; GOYLLARIDOS; GOYLLARISQUIZGA-2; GOYLLAR MINING	EMPRESA MINERA DEL CENTRO DEL PERU S.A.; COMPANÍA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.;
POLVORINES GOYLLARISQUIZGA	LABOR MINERA	BOCAMINA	COMPANY; GOYLLARIDOS; GOYLLARISQUIZGA-2; GOYLLARIDOS;	VICHAYCOCHA S.A.C.; EMPRESA MINERA DEL CENTRO DEL PERU S.A.; COMPANÍA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.;
LLAMAISHPANAN	LABOR MINERA	BOCAMINA	GOYLLARISQUIZGA-2; MACHIN-15; VIRGENCITA DE CHAPI N°	EMPRESA MINERA DEL CENTRO DEL PERU S.A.; COMPANÍA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.;

Fuente: Ministerio de Energía y Minas – Inventario de Pasivos Ambientales Mineros.

Asimismo, el diseño de la investigación transversal o transeccionales de carácter descriptivo, pues tienen como objetivo dentro del enfoque cualitativo, ubicar, categorizar, y proporcionar una visión de un evento, un contexto, un fenómeno o una situación, presentándonos un panorama del estado de una o más variables (Hernández, 2003, Pág.273).

El fenómeno o situación que se describe en esta tesis es el estado del pasivo minero de Goyllarisquizga y la ejecución del plan de cierre de minas que empieza a ejecutarse en el año 2002-2003 momento previo a la dación de la ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera. La comparación se realiza respecto de los monitoreos realizados entre los años 2006 y 2008 para el monitoreo del aire; con el año 2013 para el monitoreo de la calidad del agua y con los registros de los años 2013, 2014 y 2019 para comparar el estado del suelo.

La descripción del caso de la mina de Goyllarisquizga, realizada mediante el diseño no experimental, transeccional o transversal descriptivo, se complementa con la aplicación del método comparativo para analizar las variables de estudio en dos momentos del tiempo para analizar la evolución de los indicadores ambientales. Como es señalado por Piovani y Krawczyk, el método comparativo es importante pues “para establecer empíricamente relaciones entre las variables hay que determinar los estados del objeto estudiado en dichas variables, y esto no puede lograrse sin recurrir a la comparación” (Piovani, 2017, p.825). En esta investigación se analizará el estado de los indicadores de los pasivos ambientales mineros realizando una comparación entre los valores obtenidos al inicio del cierre de la mina y de aquellos monitoreados en etapas posteriores para determinar si las técnicas del cierre de minas cumplen con sus objetivos, determinar el grado de efectividad del cierre de minas y si tiene una influencia positiva en la remediación de los suelos y el medio ambiente.

Los datos obtenidos por el sistema de monitoreo se comparan con las referencias de los valores máximos permitidos de acuerdo a las normativas vigentes en el año de formulación del plan de cierre y comparando las mediciones posteriores con los límites vigentes.

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población

El universo de la población está conformado por el depósito de carbón de la mina abandonada de Goyllarisquizga ubicada en los andes centrales del Perú, a 352 kilómetros al Noroeste de la ciudad de Lima. Este emplazamiento minero se sitúa en el distrito de Goyllarisquizga, en la Provincia Daniel Alcides Carrión del departamento de Pasco. Está ubicada a una altura de 4184 msnm.

Según la última actualización del inventario de pasivos ambientales mineros del Ministerio de Energía y Minas (actualizada mediante R.M. N° 010-2019-EM/DM) se han encontrado siete ex unidades mineras registradas en Goyllarisquizga que no tienen registradas el generador de pasivo, el responsable del pasivo ambiental ni estudios ambientales realizados sobre ellos. Esta información se resume en la Tabla 2. Entre estas minas se encuentran aquellas que son propiedad de CENTROMIN PERU. Algunos de estos pasivos ambientales mineros han sido tratados mediante el respectivo plan de cierre sujeto a la normativa del Ministerio de Energía y Minas.

En esta investigación se toma el caso de las minas de Goyllarisquizga, el túnel Pucará y Azalia, a efecto de analizar las técnicas del cierre de minas aplicadas en ellas. Los datos se toman sobre las minas en la zona de Goyllarisquizga, que por el número reducido, corresponden a un censo pues cubren todas aquellas de las cuales se tienen referencias y datos provenientes de los planes de cierre de minas existentes.

3.2.2 Muestra

Entre los yacimientos carboníferos de Goyllarisquizga, se toma como muestra de la mina abandonada a los túneles Pucará y Azalia, sobre los cuales se conoce el Plan de Cierre y por ello las técnicas de cierre aplicadas bajo la normativa del Ministerio de Energía y Minas en el año 2002.

La mitigación del impacto ambiental en estas zonas corresponde a las acciones para neutralizar las aguas ácidas de la mina y el desmonte de mineral producido por la explotación minera. Las técnicas de cierre de minas aplicadas en estos casos comprenden, entre otras, a) la

colección y disposición de efluentes ácidos de la mina Azalia al túnel Pucará; b) encauzamiento de quebradas para evitar el cruce con botaderos; c) rehabilitación de zonas impactadas con desmonte y cierre de botaderos; d) cierre de la bocamina del túnel Pucará; e) rehabilitación (limpieza) del cauce de la quebradas Pucará. Puede observarse que las acciones correctivas giran en torno a los efectos del drenaje de aguas ácidas y la potencial contaminación por cruce con aguas limpias; y por otro lado con los remanentes o desmonte de minerales propios de la actividad minera.

El análisis de la efectividad de las técnicas de cierre de minas requiere de un análisis de la calidad del agua según los datos obtenidos de los Puntos de Muestreo instalados durante las actividades del plan de cierre de Goyllarisquizga. Estos puntos para el muestreo del agua son: PM-1, PM-2, PM-3, PM-4, PM-5, PM-6, PM-7, PM-8, PM-9, PM-10. La ubicación física y la descripción de cada uno se detallan en la Tabla 4. La identificación de minerales y otros elementos que generen contaminación por drenaje ácido, y que estén presentes en los desmontes de material que, se realiza mediante el análisis del suelo en seis puntos de muestra: S-01, S-02, S-03, S-04, S-05 y S-06 ubicados en Pucará y Azalia. Estos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3
Puntos de Muestreo de suelo en la quebrada Pucará y bocaminas Azalia

Muestra	Pofundidad (metros)	Ubcación	Característica de la zona
S-01	1.00	Pucará	Desmonte de mina
S-02	0.50	Azalia	Desmonte de mina
S-03	1.50	Pucará	Desmonte de mina
S-04	2.00	Pucará	Desmonte de mina
S-05	1.80	Pucará	Desmonte de mina
S-06	1.50	Pucará	Desmonte de mina

Fuente: Estudio de Ingeniería Básico y de Detalle del Plan de Cierre de Túneles Pucará y Azalia, 2002.

Tabla 4
Puntos de Muestreo de Calidad de Agua-Goyllarisquizga

Punto	Ubicación	Coordenada UTM		Zona
		Norte	Este	
PM1	Bocamina principal Azalia	8'842,328	345,093	
PM2	Azalia. Aguas debajo de desmonte	8'842,366	345,008	Azalia
PM3	Bocamina del Túnel Pucará	8'840,116	344,349	Pucará
PM4	Mezcla de aguas Pucará con aguas limpias	8'840,174	344,279	
PM5	Quebrada Pucará antes de Quimapaccha	8'840,332	344,013	Pucará
PM6	Quebrada Pucará antes de Ushugoya	8'839,925	342,771	Pucará
PM7	Rio Ushugoya antes de descarga Pucará	8'839,929	342,750	
PM8	Rio Ushugoya antes de descarga Puyush	8'841,898	342,549	
PM9	Quebrada Puyush antes de Ushugoya	8'842,128	342,590	Azalia
PM10	Rio Ushugoya después de Puyush	8'842,226	342,477	Global

Fuente: Plan de Cierre de Túneles Pucará y Azalia de la Mina Goyllarisquizga, 2002.

Para el análisis de la calidad del aire y el material particulado, el plan de cierre de minas para Goyllarisquizga estableció tres puntos de monitoreo instalados según el Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire y Emisiones, del sub sector Minería, vigentes en el año 2002, considerando la facilidad de acceso, seguridad de las instalaciones y personal, distancia dentro del radio de influencia del punto de emisión de contaminantes y las zonas habitadas cercanas. Estos puntos de monitoreo son E-601, E-602 y E-603 y se muestran en la Tabla 5, en la que se detalla la ubicación y referencias.

Tabla 5
Puntos de Control para calidad del aire y material particulado en Pucará y Azalia

Punto	Nombre	Coordenada	Descripción
601	Goyllarisquizga I	N 8839662	Poblado
		E 348297	Pocobamba
602	Goyllarisquizga II	N 8842209	Al NE del
		E 346012	tajo abierto
603	Goyllarisquizga III	N 841696	Entre tajo abierto y planta
		E 346368	de lavado de carbón

Fuente: Gerencia de Asuntos Ambientales – CENTROMIN PERU, 4to trimestre 2000

3.3 Operacionalización de las Variables

3.3.1 Identificación de las variables

La hipótesis principal sostiene que las técnicas de estabilización del cierre de las minas aplicadas en Goyllarisquizga mitigan adecuadamente la contaminación ambiental ocasionada por la actividad minera, tomando como referencia las bocaminas de Azalia y Pucará para el análisis respectivo y asumiendo que la influencia entre ellas es inversa, significando esto que las acciones de remediación de los pasivos ambientales mineros realizadas durante los procesos de cierre de minas permiten, de manera efectiva, reducir la contaminación ambiental en la zona de operación de la mina, las poblaciones cercanas y en la zona de influencia de la mina.

Esta hipótesis permite definir como variable dependiente a la Contaminación Ambiental ocasionada por los remanentes de la actividad minera, específicamente respecto de la mina de carbón de Goyllarisquizga, es decir el Pasivo Ambiental de Goyllarisquizga. Se contrastará mediante el método de comparación de los indicadores del monitoreo de pasivos ambientales mineros tomados en el inicio del plan de cierre y contrastándolos con las mediciones posteriores a fin de comprobar variaciones que representen mejoras o mitigación en la contaminación de la zona de Goyllarisquizga. Los indicadores de monitoreo basados en las técnicas del cierre de minas permiten identificar los componentes que se estudiarán en el caso de la mina de Goyllarisquizga, siendo éstos los siguientes: a) la estabilidad física del suelo; b) la estabilidad química, c) la estabilidad hidrológica; d) la estabilidad biológica. Este conjunto de factores se analizan a través de los indicadores de monitoreo de pasivos ambientales mineros y definen las variables independientes que permitirán determinar si la variable dependiente (contaminación ambiental) ha mantenido una variación negativa (deseable), si se ha mantenido estable o ha aumentado, indicando en este último caso el fracaso de las técnicas aplicadas para el cierre de las minas.

Según lo expuesto, expresamos matemáticamente la hipótesis como una función de las variables descritas de la siguiente manera:

$$\text{CAPAM} = 1 / \text{TCM} (\text{EF}, \text{EQ}, \text{EH}, \text{EB})$$

CAPAM es la variable dependiente que significa “Contaminación Ambiental por Pasivo Ambiental Minero”. Esta variable indica el estado de la zona en condiciones iniciales.

TCM, es la variable independiente que se estudia y corresponde a las Técnicas de Cierre de Minas. TCM es una función de cuatro grupos de acciones que buscan; EF: la estabilidad física del suelo, EQ, la estabilidad química del suelo y el agua; EH, la estabilidad hidrológica y EB, la estabilidad biológica.

La estabilidad de estos grupos se determinan con los indicadores de monitoreo estandarizados, basándose en el proyecto del cierre de minas de Goyllarisquizga gestionado por CETROMIN PERU. Las escalas y parámetros se basan en los Niveles Máximos Permisibles según la legislación vigente en la fecha de presentación del plan de cierre.

La función TCM se calcula por sus cuatro componentes según la ponderación indicada en la Tabla 6. La ponderación asignada responde a la importancia que tiene la estabilidad química que involucra al suelo y a las aguas ácidas y constituye el elemento más importante (40%), el cual también está relacionado con la estabilidad de los remanentes mineros y la contaminación de aguas limpias (25%). La asignación de estas proporciones es arbitraria y solo buscan enfatizar la importancia de unos factores.

Tabla 6
Ponderación para el cálculo de la función TCM

<u>Factor/Técnica de cierre</u>	<u>Siglas</u>	<u>Ponderación</u>
Estabilidad física del suelo:	EF =	25%
Estabilidad Química	EQ =	40%
Estabilidad Hidrológica	EH =	25%
<u>Estabilidad Biológica</u>	<u>EB =</u>	<u>10%</u>

El cálculo de TCM se normalizará en una escala porcentual para obtener un indicador. Se aplicará, en el mismo sentido, una escala para evaluar la variable dependiente CAPAM y poder determinar las comparaciones entre ambas de manera normalizada. Las ponderaciones son referenciales para resaltar la importancia de cada factor en la evaluación de la variable, observando que la estabilidad química es más relevante porque afecta también al suelo y al aire.

3.3.2 Identificación de los indicadores

En concordancia con la hipótesis general y las hipótesis específicas se determinan las dimensiones e indicadores que corresponden al análisis de las técnicas de cierre de minas, que se resumen en la contaminación del agua, del aire y de los suelo. Estos son: aspectos determinan los indicadores según los siguientes criterios:

a) Las técnicas de estabilización física del suelo (compuesto por remanentes de relaves, escombros y minerales de baja ley) aplicadas en el cierre de la mina, tienen un efecto en la reducción de la contaminación ambiental del agua en Goyllarisquizga. La verificación se realiza a través del análisis de: i) Estabilidad topográfica del relave o botadero de desechos, y ii) La estabilidad del talud y ángulo de reposo y factor de seguridad si son identificables. Adicionalmente, se requiere la verificación de efluentes y el análisis del agua, así como su contrastación con los Niveles Máximos Permitidos, para determinar el grado de contaminación.

b) Las técnicas de estabilización química, que buscan aislar los componentes que ocasionan la reacción contaminante (agua, aire y sulfatos), mitigan la contaminación ambiental del suelo, aire y aguas limpias. Estas técnicas de estabilización implican el encapsulamiento del material residual de desmonte o de los botaderos, evitando así la reacción química de los elementos que, por drenaje aguas cercanas y, por la erosión, contaminan con partículas el aire en las zonas aledañas. Para la contratación de esta hipótesis se analiza la calidad aire y material particulado considerando los Niveles Máximos Permitidos según la norma vigente al inicio del cierre de las minas.

c) La estabilización hidrológica obtenida por la aplicación de las técnicas de cierre de minas influye en la mitigación de la contaminación de las aguas y el suelo. La técnica aplicada aquí es la construcción de canales de coronación alrededor de las áreas de disposición de desmonte. También implica la derivación del agua de las quebradas Pucará y Azalia y el encausamiento de drenajes de aguas contaminadas hacia colectores y pozos de drenaje. Se mide con el monitoreo de la calidad del agua en los puntos de monitoreo descritos en la sección anterior, comparándolos con los valores máximos permitidos en el momento de ejecución del plan.

d) La estabilidad biológica del entorno en donde se encuentran los pasivos mineros ayuda en la mitigación de la contaminación ocasionada por material remanente, complementando las técnicas de estabilización física, química e hidrológica. Estas técnicas de remediación complementarias al cierre de minas buscan mitigar el efecto de la acidez y la presencia de metales pesados en el suelo para evitar el daño a las plantas locales. Implican también el agregado de tierra óptima para cultivo sobre las geomantas para favorecer el desarrollo de vegetación local y plantaciones de diverso uso. Se mide comprobando la acidez del agua (pH) en los puntos de monitoreo del agua y una evaluación foliar en la zona de Pucará y Azalia.

3.3.3 Operacionalización de variables

La hipótesis de la investigación se operacionaliza, como se indicó anteriormente, mediante una relación inversa del tipo $y = I / f(x)$, siendo “y” la variable dependiente y “x” la variable independiente. Para esta investigación las variables independiente y dependiente se describen de la siguiente manera:

La variable dependiente es la “contaminación ambiental ocasionada por el pasivo ambiental minero” que se expresa mediante las siglas CAPAM.

La variable independiente es el conjunto de “técnicas de cierre de minas”, expresada por las siglas TCM. Esta variable independiente es función de las siguientes dimensiones: Estabilidad física de suelo o EF; estabilidad química del suelo y el agua o EQ; y estabilidad hídrológica o EH.

Con el fin de comparar la variable CAPAM con los datos obtenidos con la aplicación de las técnicas de cierre de minas, ésta se debe descomponer también en las dimensiones de estabilidad física, química e hidrológica.

La expresión que permitirá analizar, mediante comparaciones de estados, la contaminación en las bocaminas de Pucará y Azalia en Goyllarisquizga se describe de la siguiente manera.

$$CPAM (EF, EQ, EH) = m \times (TCM(EF, EQ, EH) + EB)$$

Ambos términos son funciones de las dimensiones de estabilidad física, química e hidrológica. La determinación de la pendiente “m” indica en esta relación la magnitud de la diferencia entre las mediciones comparadas y si las técnicas de cierre de minas influyeron positiva o negativamente respecto del estado de la mina al inicio del plan de cierre.

La Estabilidad Biológica (EB) funciona como un valor agregado al cierre de minas, como una de las técnicas utilizadas de manera complementaria. Esta no puede analizarse en el estado de contaminación al inicio del cierre de minas por lo que no se incluye en el primer término de la ecuación, por lo que se descarta para la operacionalización de las variables.

Según las hipótesis específicas planteadas se determina la validez de la hipótesis “a” mediante el análisis de los datos referidos a la topografía y los parámetros del talud tal como el ángulo de reposo y el factor de seguridad, así como el nivel de acidez de las aguas, lo que es válido para las hipótesis “c” y “d”; asimismo, para la hipótesis “b”, el análisis requiere el muestreo de la calidad del aire y las partículas contaminante existentes. En este sentido, las variables se operacionalizan mediante el análisis de las dimensiones: “Aire” referida a la calidad del aire, “Agua”, referida al nivel de acidez del agua y “Suelo”, referida a la estabilidad de los taludes.

Se debe resaltar que las acciones relativas a la estabilidad del suelo se realizan para evitar la contaminación tanto del aire como de las aguas, es decir para evitar que las partículas contaminantes se esparzan por el aire y que el agua que se mezcle con los restos contaminantes pueda drenar a otras zonas o mezclarse con cauces de agua limpia, por lo que el éxito de las técnicas puede comprobarse con las mediciones de la calidad del aire y el agua.

Transformamos la expresión para operacionalizarla de la siguiente manera:

$$CPAM (Agua, Aire, Suelo) = m \times (TCM(Agua, Aire, Suelo))$$

La calidad del aire se operacionaliza mediante la medición de los siguientes indicadores:

a) PM10 o partículas en suspensión respirables medibles; b) Presencia de Plomo (Pb); c) Presencia de Arsénico (As). Estos parámetros son los parámetros de calidad del aire normados en la fecha de inicio del cierre de minas en Goyllarisquizga. Los puntos de muestreo se indicaron en la sección anterior.

La calidad del agua se operacionaliza mediante la medición de los siguientes indicadores: a) pH, b) Sólidos suspendidos, determinados en el lugar de la muestra; c) Alcalinidad, d) acidez, e) Sulfatos, f) Arsénico, g) Plomo, estos últimos analizados en laboratorio. Para efectos de este análisis se toman sólo los datos del arsénico y el plomo por ser los más contaminantes, conjuntamente con el indicador de acidez.

La estabilidad del suelo se analiza mediante las operaciones el talud de los botaderos y zonas de acumulación de desechos contaminantes para evitar riesgos de derrumbe, desprendimiento, filtraciones y erosión. Para el estudio de esa variable se tomará la ubicación geográfica de los botaderos que se trataron con el plan de cierre de minas y se comprobará su condición hacia la actualidad utilizando información de sistemas GIS como GoogleEarth a fin de comprobar gráficamente su ubicación. Asimismo, el factor de estabilidad biológica se puede analizar comprobando el estado de estas locaciones mediante imágenes satelitales de GoogleEarth para verificar la existencia o no de vegetación y/o usos humano. Por esta razón, se incorpora en la variable suelo. De esta manera se determina si las acciones pudieron contener o remediar el desmonte de mina y si este ha sobrevivido y no se ha deteriorado en el tiempo.

Para la evaluación del cambio en la topografía tomando como referencia las imágenes sólo se utiliza un checklist que indicará a) si existe vegetación en la zona identificada; e) si son vivibles los canales de coronación; e) si existen usos humanos.

Las variables se determinan mediante el análisis histórico de los indicadores y con la comparación de estos resultados del análisis con los niveles normativos. Para ello se tomaron los valores históricos realizados conocidos correspondientes al cierre de minas de Goyllarisquizga o en general, minas de carbón similares en el caso de inexistencia de datos, a fin de evaluar los estados inicial y final. Las variables se operacionalizan en dimensiones, indicadores, codificación, escalas y rangos según lo indicado en la Tabla 7 y la Tabla 8. Las siglas LMP corresponden a los Límites Máximos Permisibles o Niveles Máximos Permisibles según se definen por la normatividad de cada marco temporal.

Tabla 7
Operacionalización de la variable dependiente “Contaminación ambiental por PAM”

Dimensiones	Indicadores	Ítem	Escala y valores	Rangos (Baremo)
D1: Aire	1.1 PM10	11	Num	NMP
	1.2 Pb (Plomo)	12	Med.Aual	
	1.3 As (Arsénico)	13	Med.Dia	
D2: Agua	2.1 pH	14	Num	NMP
	2.2 Sólidos-Suspensión	15		
	2.3 Caudal	16		
	2.4 As (Arsénico)	17		
	2.5 Pb (Plomo)	18		
D3: Suelo	3.1 Visibilidad	111	Estado Inicial	Tec.
	3.2 Ubicación	112		

Para efectos del monitoreo de los indicadores al inicio de las operaciones del cierre de minas, según la normatividad vigente correspondiente la RM N°315-96-EM/VMM, se utiliza la nomenclatura de “Niveles Máximos Permitidos” o NMP. Para analizar las lecturas posteriores se utiliza la denominación LMP o “límites máximos permisibles”.

Tabla 8

Operacionalización de la variable independiente TCM “Técnica de cierre de minas”

Dimensiones	Indicadores	Ítem	Escala y valores	Rangos (Baremo)
D1: Aire	1.1 PM10	I1	Num	LMP
	1.2 Pb (Plomo)	I2	Med.Aual	
	1.3 As (Arsénico)	I3	Med.Dia	
D2: Agua	2.1 pH	I4		LMP
	2.2 Solidos- Suspensión	I5		
	2.3 Caudal	I6		
	2.4 As (Arsénico)	I7	Num	
	2.5 Pb (Plomo)	I8		
D3: Suelo	3.1 Vegetación	I11		1-10
	3.2 Canales	I12	Checklist	
	3.3 Intervención	I13		

3.4 Instrumentos

El análisis de las dimensiones correspondientes al agua, al aire y al suelo requiere de datos por cada indicador tomados al inicio del plan de cierre de mina, realizado previamente, como el monitoreo químico midiendo los efluentes, cuerpos receptores, estado del terreno, y asimismo datos observados sobre el aire, el agua y el suelo obtenidos del monitoreo realizado en años posteriores que incluyan la observación física del estado de las obras de remediación.

Para el monitoreo de la calidad del aire y emisiones atmosféricas, según lo supervisado por la Gerencia de Asuntos Ambientales de CENTROMIN PERÚ se consideró un tiempo de monitoreo entre 16 y 24 horas, tomando como NMP para PM10 de 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (concentración mensual de plomo 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); para presencia de plomo Pb, de 0.5 (tomando como referencia la concentración media anual); para presencia de arsénico, As, de 6 (concentración media aritmética diaria. PM10 describe a las partículas respirables sólidas o líquidas, hollín, cemento, cenizas, polen o polvo esparcidas en la atmósfera y cuyo diámetro está entre los 2.5 y 10 μm (micrómetros) (Canales-Rodríguez, 2014). Como se especificó en la sección de 3.2.2 sobre población y muestra, los puntos de monitoreo para el control del aire corresponden a los indicados

en la Tabla 5. Estos son el punto de control 601, 602 y 603, denominados Goyllarisquizga I, II y III respectivamente, ubicados en centros poblados: Pocobamba, Club de Empleados, Colegio Evaristo San Cristóbal y León. El monitoreo de la calidad del aire se realizó por la empresa M&S Especialistas Ambientales.

Para efectos del monitoreo de la calidad del agua, las muestras fueron sometidas a mediciones in situ y otros análisis de laboratorio. El análisis in situ corresponde al pH, y los análisis de laboratorio corresponden a los sólidos totales disueltos buscando minerales, sulfatos y los metales pesados. En la Tabla 4 se indican los puntos de monitoreo que comprenden el plan de cierre (PM-1 al PM-10). De ellos, los puntos PM-2 y PM-9 corresponden al área de Azalia, y los puntos de control PM-3, PM-5 y PM-6 corresponden al área de Pucará. Los otros permiten evaluar la recuperación del agua del sistema. La frecuencia de monitoreo al inicio del cierre corresponde a lo denominado como monitoreo “activo” que tiene una frecuencia mensual. El monitoreo se realizó por la empresa “Activos Mineros SAC”; “Laboratorio Analítico de Morococha”, y “ENVIROLAB – Lima”.

En el análisis del suelo, se identificaron puntos de muestro del suelo, tal como se indicaron en la Tabla 3, en la que se indican los puntos de control, las profundidades y las zonas asociadas de Azalia o Pucará, tal como se encuentran en el estado inicial del proceso del cierre de la mina. Para el análisis topográfico complementario de la zona de la bocamina de Azalia y el túnel de Pucará, planteada en los informes básicos del cierre de minas de CENTROMIN PERÚ, el levantamiento cubrió aproximadamente 10 hectáreas abarcando todas las superficies cubiertas por desmonte de mina.

Para la zona del túnel de Pucará, el levantamiento topográfico cubrió una zona de 20 hectáreas. Los puntos de control UTM del levantamiento topográfico se indican en la Tabla 9. Estos puntos de control permitirán ubicar las zonas en los sistemas GIS de GoogleEarth para verificar la condición actual las superficies de desmonte tratadas en el plan.

Los instrumentos mediante los cuales se recogieron los datos corresponden a equipos topográficos; sondas, análisis, guía de observación; de los Laboratorios contratados para el análisis al inicio de la operación del cierre de minas (CENTROMIN) y en los monitoreos posteriores (Activos Mineros SAC).

Tabla 9
Puntos de Control UTM para el levantamiento topográfico de Azalia y Pucará

Punto	Coordenadas UTM		
	Este	Norte	Cota
Azalia A	344962.779	8842107.118	4032.009
Azalia B	344862.341	8842126.377	4025.829
Pucará A	344229.17	8840142.222	3665.497
Pucará B	344095.628	8840388.064	3660.325

Fuente: Informe Final de los estudios básicos del plan de cierre de Azalia y Pucará. 2002

3.5 Procedimientos

Para efectos de evaluación y comparación de los datos de contaminación del aire se toma como referencia lo dispuesto por la Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM, en la que se aprueban los niveles máximos permisibles de elementos (o compuestos) presentes en emisiones gaseosas de actividades mineras. (MINEM-DGAA). Los niveles máximos permitidos de emisiones corresponden a aquellas mediciones cuyos valores máximos límite, conocidas como NMP. Son usadas como umbral de comparación y también denominados “Límites Máximos Permitidos” o, por sus siglas, LMP.

De estos límites, para el caso de la Dimensión 1, contaminación del aire, tenemos que:

a) para emisiones de anhídrido sulfuroso se toman los valores del Anexo 1 de la referida Resolución Ministerial, los que se detallan en la Tabla 0; b) para el caso de la emisión de partículas (sólidos sedimentables y en suspensión emitidos desde un punto de control), el LMP será de 100mg/m³ medido en cualquier punto de control y/o momento; c) para el caso de las emisiones de plomo y arsénico, el LMP será como máximo de 25mg/m³, medidos igualmente en cualquier punto de control o momento. Estos controles se toman desde las estaciones de control o puntos de monitoreo y se realizan de acuerdo al Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones para el Subsector Minería.

Tabla 10

Niveles Máximos Permitidos (LMP) de anhídrido sulfuroso en emisiones gaseosas

AZUFRE QUE INGRESA AL PROCESO (t/d)	EMISION MAXIMA PERMITIDA DE ANHIDRIDO SULFUROSO (t/d)
< 10	20
11 – 15	25
16 – 20	30
21 – 30	40
31 – 40	50
41 – 50	60
51 – 70	66
71 – 90	72
91 – 120	81
121 – 150	90
151 – 180	99
181 – 210	108
211 – 240	117
241 – 270	126
271 – 300	135
301 – 400	155
401 – 500	175
501 – 600	195
601 – 900	201
901 – 1200	207
1201 – 1500	213
> 1500	0.142 (S)*

* (S) = Total de Azufre que ingresa al proceso.

Fuente: Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM (MINAM)

Tabla 11
Niveles Máximos Permitidos (LMP) para emisiones de unidades minero-metalúrgicas

Parámetro	Medido en cualquier momento mg/m ³
Partículas	100
Plomo	25
Arsénico	25

Fuente: Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM (MINAM) Art. 3°, 4° y 5°

Para efectos de evaluación y comparación de los datos de contaminación del agua se toma como referencia lo dispuesto por la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, en la que se aprueban los niveles máximos permisibles de elementos para efluentes líquidos de la actividad minera. Los valores para la contaminación por sólidos suspendidos, plomo, cobre, zinc, fierro, arsénico y cianuro se especifican en el anexo 1 y 2 de la resolución ministerial indicada. Aquí se debe distinguir entre los valores aplicables a las minas en operación y a las que empezarán a operar. En la Tabla 11 y 12 se muestran los valores para ambos casos.

Tabla 12
Niveles Máximos Permitidos (LMP) en efluentes líquidos antes del 2010

Parámetro	Valor cualquier momento		Valor promedio anual	
	Nuevas	Operación	Nuevas	Operación
ph	> 6 , < 9	> 5.5 , < 10.5	> 6 , < 9	> 5.5 , < 10.5
Sólidos suspendidos (mg/l)	50	100	25	50
Plomo (mg/l)	0.4	1.0	0.2	0.5
Cobre (mg/l)	1.0	2.0	0.3	1
Zinc (mg/l)	3.0	6.0	1.0	3
Fierro (mg/l)	2.0	5.0	1.0	2
Aesénico (mg/l)	1.0	1.0	0.5	0.5
Cianuro total (mg/l) *	1.0	2.0	1.0	1

Fuente: Resolución Ministerial N° N° 011-96-EM/VMM

La frecuencia del muestreo depende del volumen del efluente, siendo semestral para efluentes menores a 50m³/día; trimestral para efluentes entre 50m³/día a 300m³/día; y semanal para efluentes mayores a 300m³/día. En el análisis químico, estas frecuencias son válidas para mediciones de pH, sólidos suspendidos, y presencia de plomo, cobre, zinc, fierro, arsénico para efluentes menores de 300m³/día. Sin embargo, para la presencia de los elementos antes mencionados en afluentes mayores a 300m³/día, la frecuencia es mensual, y para el análisis del cianuro total es trimestral para efluentes menores de 50m³/día; quincenal para efluentes entre 50m³/día y 300m³/día; y semestral para efluentes mayores de 300m³/día.

Tabla 13
Niveles Máximos Permitidos (LMP) en efluentes líquidos Vigente (2019)

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite Promedio Anual
pH		6 -9	6 -9
Sólidos Totales en suspensión	mg/l	50	25
Aceites y grasas	mg/l	20	16
Cianuro Total	mg/l	1	0.8
Arsénico Total	mg/l	0.1	0.08
Cadmio Total	mg/l	0.05	0.04
Cromo Hexavalente	mg/l	0.1	0.08
Cobre Total	mg/l	0.5	0.4
Hierro (disuelto)	mg/l	2	1.6
Plomo Total	mg/l	0.2	0.16
Mercurio Total	mg/l	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/l	1.5	1.2

Fuente: DS N° 010-2010-MINAM

En cuanto al suelo, se realizan pruebas de estabilidad y de restauración de uso de suelo. En este segundo caso, se consideran los contaminantes del suelo que, por extensión, pueden derivar de las actividades mineras. Y por ello, en los casos que corresponde se toman como criterios de referencia a modo de LMP (límites máximos permitidos) a los estándares de calidad

ambiental para suelos según el DS N° 002-2013-MINAM y DS N° 002-2014-MINAM establecidos por el Ministerio del Ambiente. Estos se toman literalmente del Anexo 5 de los Estándares de Calidad Ambiental, publicados por la Dirección General de Formalización Minera del Ministerio de Energía y Minas. Estos valores se muestran en la figura 14. La estabilidad del suelo, se determina mediante procedimientos que requieren pruebas sucesivas sobre aquellas superficies con potencial de deslizamiento, determinando un factor de seguridad contra deslizamiento a lo largo de esa superficie. Requiere la selección de una muestra de superficies a las que se realiza el análisis buscando la que tiene el factor más bajo de seguridad, siendo esta superficie conocida como superficie crítica. El factor de seguridad (contra el deslizamiento a lo largo de esta superficie crítica) es el factor de seguridad del talud. Este factor es la relación de resistencia al corte en proporción al esfuerzo cortante sobre la superficie crítica.

Tabla 14

Estándares de Calidad Ambiental para suelos y disposiciones complementarias

N°	Parámetro	Uso de suelo			Método de Ensayo
		Agrícola	Residencial	Industrial	
Orgánicos					
1	Benceno (mg/kg)	0.03	0.03	0.03	EPA 8260-B EPA 8021-B
2	Tolueno (mg/kg)	0.37	0.37	0.37	EPA 8260-B EPA 8021-B
3	Etilbenceno (mg/kg)	0.082	0.082	0.082	EPA 8260-B EPA 8021-B
4	Xileno (mg/kg)	11	11	11	EPA 8260-B EPA 8021-B
5	Naftaleno (mg/kg)	0.1	0.6	22.0	EPA 8260-B
6	Fracción de Hidrocarburo F1 (mg/kg)	200	200	500	EPA 8015-B
7	Fracción de Hidrocarburo F2 (mg/kg)	1200	1200	5000	EPA 8015-M
8	Fracción de Hidrocarburo F3 (mg/kg)	3000	3000	6000	EPA 8015-D
9	Benzo pireno (mg/kg)	0.1	0.7	0.7	EPA 8270-D
10	Bifenilo Policlorados (mg/kg)	0.5	1.3	33	EPA 8270-D
11	Aldrin (mg/kg)	2	4	10	EPA 8270-D
12	Endrín (mg/kg)	0.01	0.01	0.01	EPA 8270-D
13	DDT (mg/kg)	0.7	0.7	12.0	EPA 8270-D
14	Heptacloro (mg/kg)	0.01	0.01	0.01	EPA 8270-D
Inorgánicos					
15	Cianuro libre (mg/kg)	0.9	0.9	8	EPA 9013-A/APHA-AWWA WEF 4500 CN F
16	Arsénico total (mg/kg)	50	50	140	EPA 3050-B EPA 3051
17	Bario total (mg/kg)	750	500	2000	EPA 3050-B EPA 3051
18	Cadmio total (mg/kg)	1.4	10	22	EPA 3050-B EPA 3051
19	Cromo VI (mg/kg)	0.4	0.4	1.4	DIN 19734
20	Mercurio total (mg/kg)	6.6	6.6	24	EPA 7471-B
21	Plomo Total (mg/kg)	70	140	1200	EPA 3050-B EPA 3051

Fuente: MINAM DS N° 002-2013-MINAM, DS N° 002-2014-MINAM

El procedimiento de muestreo del suelo sigue las pautas definidas por la Guía para Muestreo de Suelos y Guía para la elaboración de los Planes de Descontaminación de Suelos, R.M. N° 085-2014-MINAM. Para el caso, es aplicable a través de los laboratorios contratados para el monitoreo al inicio del Plan de Cierre y en las supervisiones posteriores.

3.6 Análisis de Datos

El análisis de las variables se realiza sobre los datos monitoreados para el control del aire y agua al inicio de las operaciones del cierre de minas, así como del inventario de botaderos reconocidos en el Plan de Cierre de las bocaminas Azalia y Túnel Pucará de Goyllarisquizga.

Estos datos se agrupan en las dimensiones aire, agua y suelo a través de los indicadores especificado en la matriz de operacionlización. Los indicadores individuales se combinan para tener un indicador porcentual asignado a la variable CAPAM (“Contaminación Ambiental por pasivo ambiental minero”) tomando como referencia los Niveles Máximos Permisibles. Este indicador es la línea base sobre la que compararán las mediciones posteriores correspondientes a la variable TCM (“Técnicas de cierre de minas”).

Los valores de los indicadores se obtienen del monitoreo realizado al inicio del plan de cierre y de los monitoreos posteriores realizados por encargo del Ministerio de Energía y Minas. En este punto se toman los valores del monitoreo de las empresas encargadas de realizar estas mediciones y los laboratorios acreditados que las validaron según los informes al MINEM .

En el caso del análisis del suelo, se toman los datos topográficos y registros visuales o gráficos existentes de la zona al inicio del cierre de minas. Para efectos contributivos al valor del CAPAM toman el valor de 1, indicando máxima probabilidad de contaminación.

El promedio porcentual de la Estabilidad Física (suelo = 1), Estabilidad Química, (aire) y Estabilidad Hidrológica (Agua) determina el índice para CPAM

Para determinar los valores comparativos con la aplicación de las técnicas de cierre de minas, TCM, se analizan los datos provenientes de las bases de datos de los Laboratorios indicados y se clasifican por fechas para determinar la concurrencia con el periodo de operación y cierre de la mina. Del mismo modo, para los indicadores de calidad de aire y agua, se toman los valores con referencia a los límites máximos permisibles vigentes para obtener un valor porcentual. En el caso del análisis del suelo, el resultado de la lista de chequeo se expresa con 0 si la evaluación indica que el tratamiento del suelo es exitoso.

Los datos se compararán con los datos históricos permitidos (LMP) para cada una de las dimensiones, tomándola como una variable adicional, a fin de preparar comparativos estacionales si se diera el caso para el conjunto de datos a estudiar, y, en general, para generalizar la aplicación del estudio para otros casos.

Debido a que el nivel de medida se convierte al final en una razón para ambas variables se utilizará el análisis univariado de dos muestras para comparar los dos momentos. Los dos índices obtenidos por las variables permiten obtener la pendiente “m” como un indicador de relación a fin de determinar el grado de diferencia positiva o negativa entre las dos muestras. Esta “m” será también un índice o una razón.

IV RESULTADOS

El análisis de los datos se muestra en las Tablas 15 a la Tabla 22 consolidados en años y trimestre según la información recopilada correspondiente a la calidad del agua (pH, caudal, sólidos en suspensión, arsénico total y plomo total), calidad del aire (Material particulado PM10, arsénico y plomo) y el estado del suelo (estado de los botaderos). Las tablas se presentan organizados por trimestres, según los datos del monitoreo disponibles, así como la frecuencia relativa indicada solo para mostrar las proporciones entre las muestras mas no como referencia acumulativa. En los gráficos se indican los valores correspondientes al inicio y primeros años de la ejecución del plan de cierre de minas y las técnicas de remediación, así como aquellos valores de años posteriores con el fin de observar visualmente la comparación entre las magnitudes de cada indicador.

4.1 Resultado de los indicadores de calidad del agua

Se observa en la Tabla 15 y en la Figura 3 que los Límites Máximos Permisibles vigentes para el periodo 2000-2003 van desde 5 a 9. Para el periodo 2013 se aplica como rango un pH de 6 – 9. Datos consolidados del monitoreo de calidad del agua del plan cierre de minas Goyllarisquizga 2000-2003 e Informe RP259-2013-OEFA.

Tabla 15

Resultado del Nivel de pH de las aguas de los afluentes Azalia y Pucará

Periodo	pH en Años al Inicio del Plan de Cierre								pH Después	
	2000	%	2001	%	2002	%	2003	%	2013	%
Trim.1	6.38	26%	6.36	25%	6.03	25%	5.97	51%		0%
Trim.2	5.54	22%	6.12	24%	5.54	23%	5.80	49%		0%
Trim.3	6.35	26%	6.75	27%	6.33	27%		0%	9.30	52%
Trim.4	6.60	27%	5.97	24%	5.79	24%		0%	8.63	48%
Promedio	6.15		6.26		5.89		5.88		8.85	

Monitoreo de calidad del agua (Cierre de minas Goyllarisquizga 2000-2003; RP259-2013-OEFA)

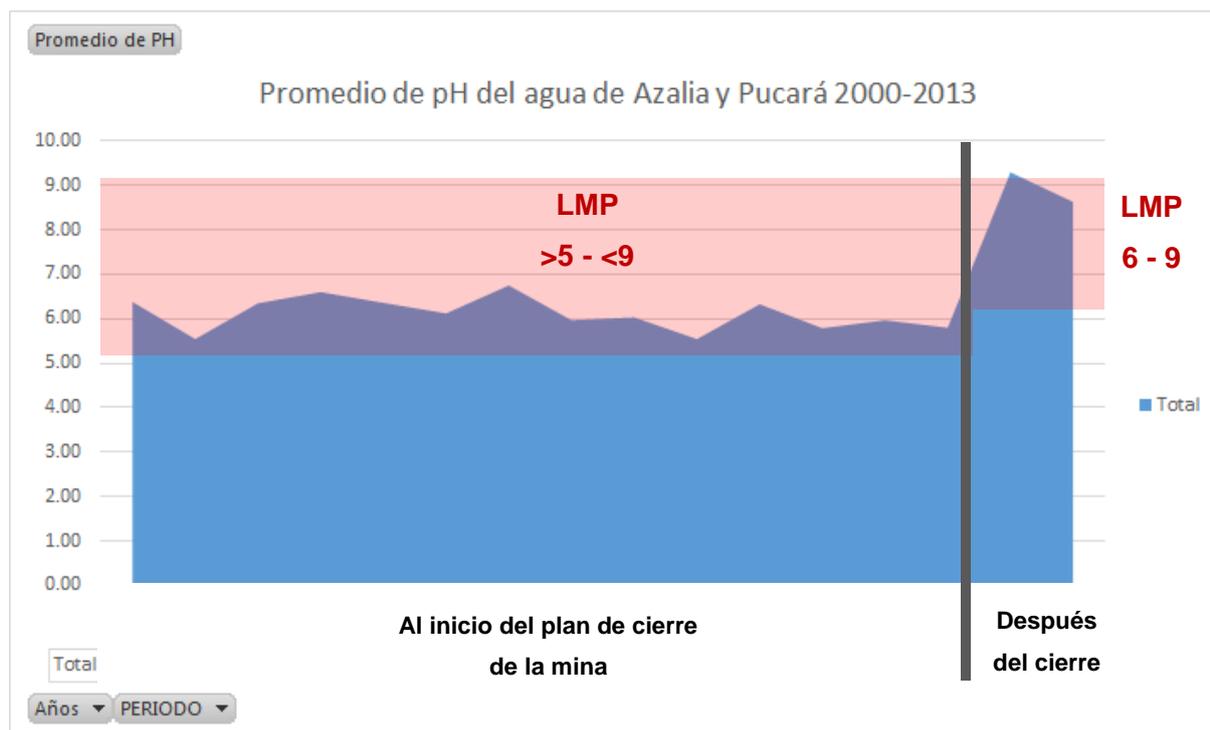


Figura 3. Nivel de pH de las aguas de los afluentes Azalia y Pucará.

En la Tabla 16 y la Figura 4 muestra el nivel del caudal de aguas de los afluentes monitoreados de Azalia y Pucará. Tanto en la tabla, organizado por años y trimestres, como en el gráfico, se observa una disminución esperada del caudal. Este comportamiento depende de factores externos, pero indica que al inicio del plan de cierre, sin las obras de canalización, se mantenía un cierto nivel que ha disminuido en los puntos monitoreados hacia el último periodo observado.

Tabla 16

Promedio del Caudal de aguas de los efluentes del sistema Azalia y el túnel Pucará

Periodo	Caudal en años al inicio del plan de cierre								Caudal Después	
	2000	%	2001	%	2002	%	2003	%	2013	%
Trim.1	6032.94	37%	3332.25	37%	2784.50	29%	4041.67	52%		0%
Trim.2	3604.89	22%	528.30	6%	2091.56	22%	3765.67	48%		0%
Trim.3	3590.17	22%	2497.50	28%	2346.29	24%		0%	1590.62	66%
Trim.4	3270.80	20%	2577.33	29%	2405.33	25%		0%	809.28	34%
Promedio	4297.78		1847.37		2374.29		3903.67		1069.73	

Monitoreo de calidad del agua (Cierre de minas Goyllarisquizga 2000-2003; RP259-2013-OEFA)

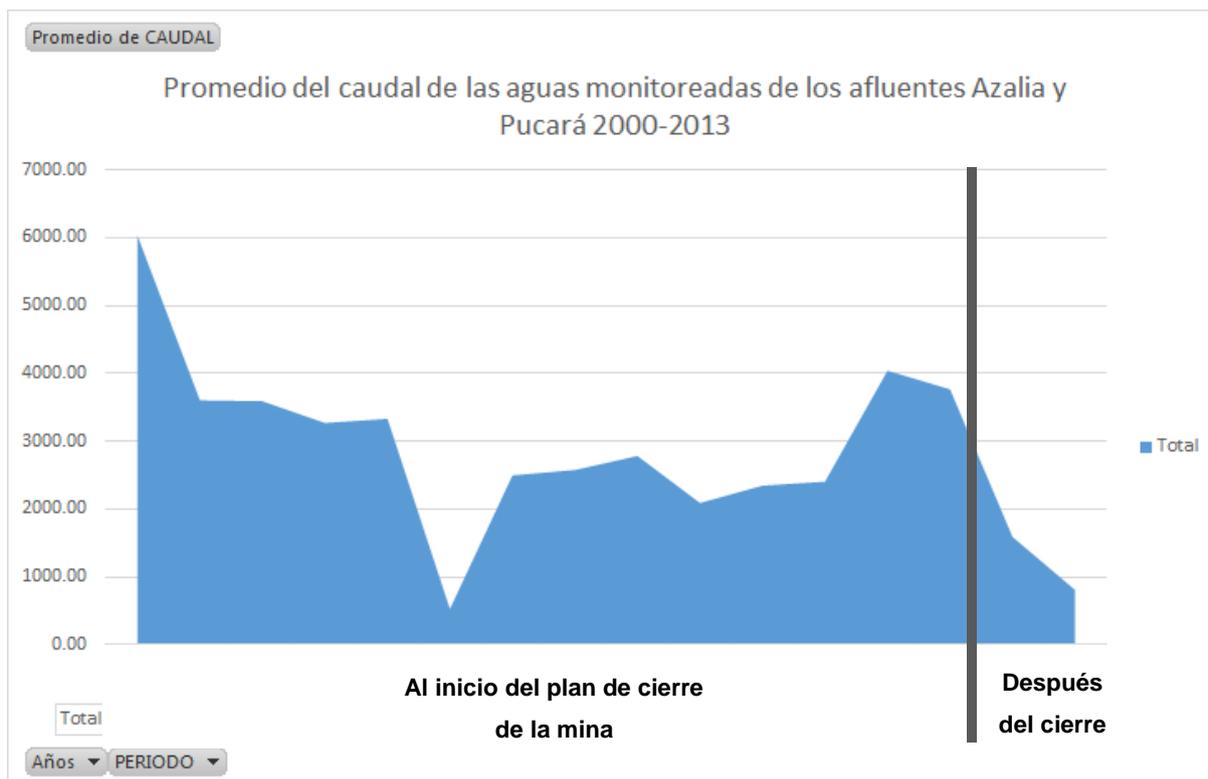


Figura 4. Promedio del caudal de las aguas monitoreadas de los afluentes Azalia y Pucará.

En la Tabla 17 y la Figura 5, se observa el indicador Total de Sólidos en Suspensión (TTS) indicando los valores en los años iniciales de la ejecución del plan de cierre de la mina y los datos encontrados en el monitoreo de control posterior. En el gráfico, se indica en rojo los límites máximos permitidos vigentes para cada periodo registrado según la normatividad vigente en el momento de la medición. El periodo comprendido entre el año 2000 y el 2003 corresponde al inicio del cierre de la mina y puede observarse que los niveles de sólidos en suspensión están por debajo de los límites (de 100mg/L en dicho periodo).

Se han registrado altos niveles de sólidos en suspensión al inicio del periodo de análisis. Se observa que estos niveles han disminuido gradualmente con los años. En el monitoreo del 2013 se observa que las mediciones dan un valor muy inferior al límite máximo permitido que ese año (50 mg/L). Datos consolidados del monitoreo de calidad del agua del plan cierre de minas Goyllarisquizga 2000-2003 e Informe RP259-2013-OEFA.

Tabla 17

Total de Sólidos en Suspensión del agua de los afluentes Azalia y Pucará

Periodo	Total de Sólidos en Suspensión en años al inicio del plan de cierre								TSS después	
	2000	%	2001	%	2002	%	2003	%	2013	%
Trim.1	232.67	44%	116.21	44%	49.67	25%	85.67	73%		0%
Trim.2	95.44	18%	81.89	31%	39.78	20%	32.00	27%		0%
Trim.3	71.83	14%	37.00	14%	69.00	35%		0%	14.73	54%
Trim.4	123.00	24%	31.00	12%	39.50	20%		0%	12.50	46%
Promedio	137.90		87.09		48.50		58.83		13.24	

Monitoreo de calidad del agua (Cierre de minas Goyllarisquizga 2000-2003; RP259-2013-OEFA)

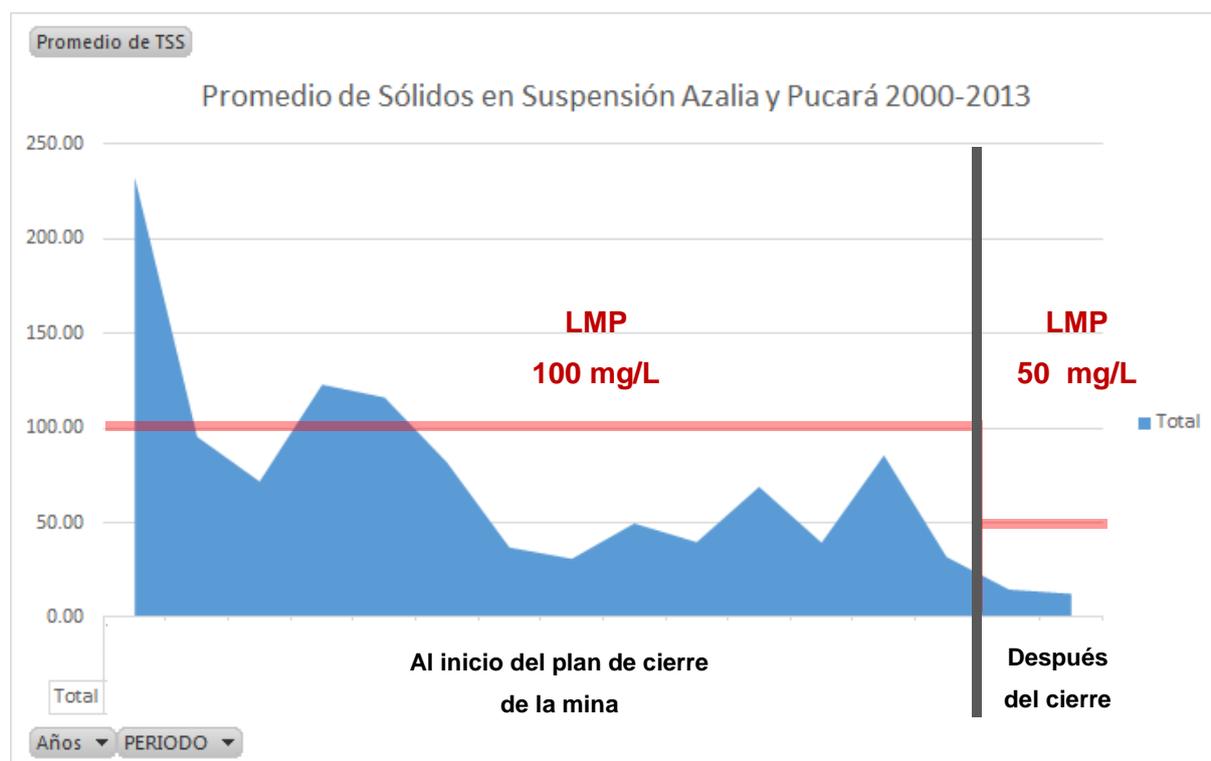


Figura 5. Promedio del Total de Sólidos en Suspensión del agua monitoreadas de los afluentes Azalia y Pucará.

En la Tabla 18 y la Figura 6, se muestra el indicador Arsénico Total en el agua de Azalia y Pucará. Se los datos que corresponden al inicio del plan de cierre y los datos correspondiente al monitoreo posterior. En la figura, se indican en rojo los límites máximos permitidos para cada período según la normatividad vigente. En el periodo comprendido entre el año 2000 y 2003, al inicio del Plan de Cierre se pueden observar valores muy fluctuantes de arsénico. En las mediciones del año 2013 se observa un nivel mucho menor.

Aun cuando se observa una reducción en el nivel de arsénico se debe notar que siempre se mantuvieron por debajo de los Límites Máximos Permitidos vigentes de 0.2mg/L para el periodo 2000-2003 y de 0.1 mg/L para el monitoreo del año 2013. En el gráfico se indican en rojo en la parte superior debido a que quedan fuera de la escala gráfica. Los datos consolidados corresponden al monitoreo de calidad del agua del plan cierre de minas Goyllarisquizga 2000-2003 e Informe RP259-2013-OEFA.

Tabla 18

Arsénico Total del agua de los afluentes Azalia y Pucará por trimestre

Periodo	Arsénico en años al inicio del plan de cierre								As Después	
	2000	%	2001	%	2002	%	2003	%	2013	%
Trim.1	0.00600	18%	0.00738	20%	0.00983	35%	0.00733	100%		0%
Trim.2	0.00200	6%	0.01617	45%	0.00200	7%		0%		0%
Trim.3	0.00883	27%	0.00200	6%	0.01186	42%		0%	0.00127	38%
Trim.4	0.01650	50%	0.01067	29%	0.00433	15%		0%	0.00208	62%
Promedio	0.00661		0.01148		0.00642		0.00733		0.00181	

Monitoreo de calidad del agua (Cierre de minas Goyllarisquizga 2000-2003; RP259-2013-OEFA)



Figura 6. Promedio de mediciones de Arsénico Total del agua monitoreadas de los afluentes Azalia y Pucará.

En la Tabla 19 y la Figura 7, se muestra los datos correspondientes al monitoreo del indicador Plomo Total en las aguas del sistema Azalia y Pucará. En la figura se indican en rojo los límites máximos permitidos para cada período según la normatividad vigente. En el periodo comprendido entre el año 2000 y 2003, al inicio del Plan de Cierre se pueden observar valores muy fluctuantes de plomo en el sistema hídrico. En las mediciones del año 2013 se observa un nivel mucho menor. Aun cuando se observa una reducción en el nivel de plomo se debe notar que siempre se mantuvieron por debajo de los Límites Máximos Permitidos (0.1mg/L para 2000-2003 y un valor más flexibilizado de 0.2 mg/L para el año 2013).

Tabla 19
Plomo Total del agua de los afluentes Azalia y Pucará

Periodo	Plomo en años al inicio del plan de cierre								Plomo después	
	2000	%	2001	%	2002	%	2003	%	2013	%
Trim.1	0.04667	28%	0.03958	26%	0.03000	25%	0.03000	50%		0%
Trim.2	0.07333	44%	0.06279	41%	0.03000	25%	0.03000	50%		0%
Trim.3	0.03000	18%	0.02167	14%	0.03000	25%		0%	0.00020	1%
Trim.4	0.01800	11%	0.03000	19%	0.03000	25%		0%	0.01483	99%
Promedio	0.04655		0.04767		0.03000		0.03000		0.00996	

Monitoreo de calidad del agua (Cierre de minas Goyllarisquizga 2000-2003; RP259-2013-OEFA)



Figura 7. Promedio de mediciones de Plomo Total del agua monitoreadas de los afluentes Azalia y Pucará.

4.2 Resultado de los indicadores de calidad del aire

En las mediciones de calidad del aire se tomaron como referencia los datos del monitoreo inicial en zonas cercanas a las actividades mineras. En los años siguientes, hacia el 2006 y 2008, se encontraron mediciones correspondientes a puntos de monitoreo ubicados dentro del radio de los 20Km del yacimiento minero de Goyllarisquizga.

En la Tabla 20 y Figura 8 se muestra el promedio de mediciones del indicador Material Particulado mayor a 10 micrómetros (PM10) en la zona de de Goyllarisquizga dentro del rango de distancias de 0 hasta 20km. El rango de distancias especificado responde a los datos disponibles del monitoreo de la calidad del aire. Los indicados a 0 Km corresponden a aquellos tomados al inicio del plan de cierre, mientras que los posteriores corresponden a puntos de control ubicados dentro de los 20 Km. por disponibilidad de dato.

Se observa un incremento hacia el año 2008 del material particulado, sin embargo esto puede explicarse por la injerencia de otras instalaciones mineras cercanas a los puntos de control que se encuentran a 20Km de Goyllarisquizga. Incluso en este escenario, las mediciones se mantienen bajo los Límites Máximos Permitidos. Datos consolidados del monitoreo de calidad del aire del plan cierre de minas Goyllarisquizga 2000, Informes de calidad del aire Pasco, 2006 y 2008.

Tabla 20
Material particulado mayor a 10 micrómetros PM10 en Goyllarisquizga (0 hasta 20km)

Distancia	PM10 antes del plan 2000		PM10 después del plan de cierre			
	Prom PM10	Obs	Prom PM10 2006	Obs	Prom PM10 2008	Obs
0km	16.00	3				
20Km			15.15	5	82.22	12
PM10	16.00		15.15		82.22	

Datos consolidados del monitoreo de calidad del aire del plan cierre de minas Goyllarisquizga 2000, Informes de calidad del aire Pasco, 2006 y 2008

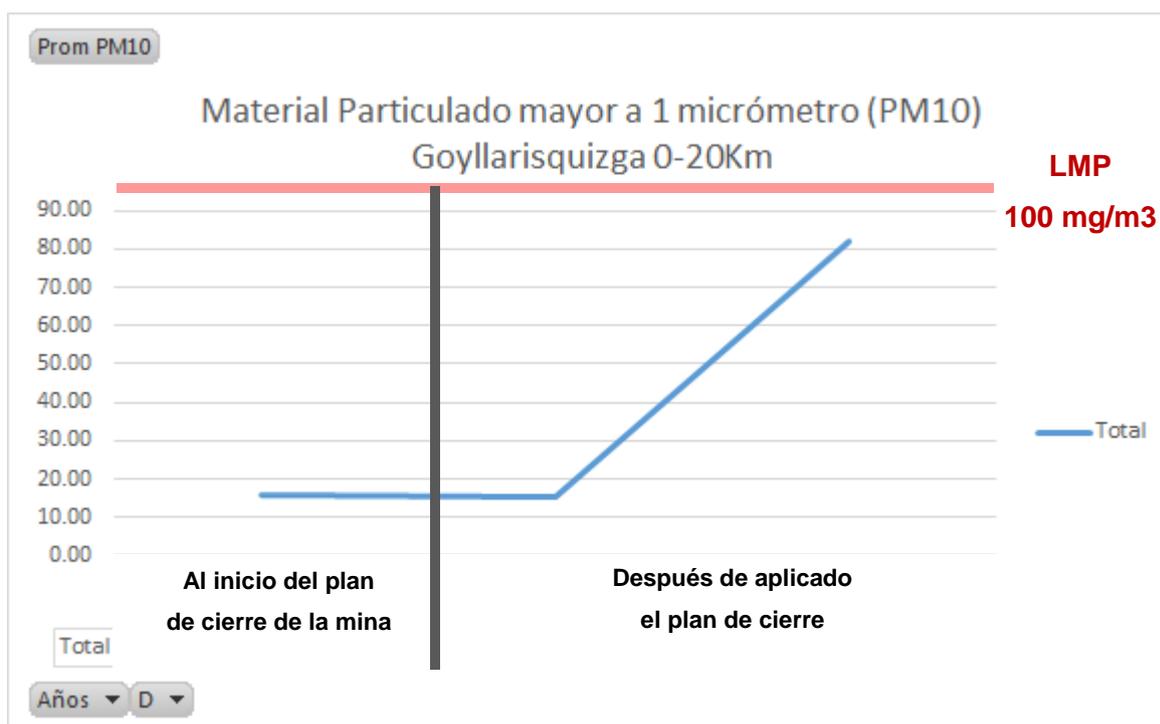


Figura 8. Promedio de mediciones de material particulado mayor a 10 micrómetros PM10 en Goyllarisquizga.

En la Tabla 21 y en la Figura 9, se muestran los datos correspondientes al indicador Arsénico en el aire de Goyllarisquizga dentro del rango de 0 a 20 Km. Se muestran los datos disponibles obtenidos de las mediciones del inicio del plan de cierre al no contar con datos de monitoreo en años posteriores. En la figura, se muestran las mediciones constantes en los tres puntos de control, tal como se muestra en la figura. Debe observarse que estas lecturas se encuentran muy por debajo del Límite Máximo Permitido de 25mg/m³. Datos consolidados del monitoreo de calidad del aire del plan cierre de minas Goyllarisquizga 2000, Informes de calidad del aire Pasco, 2006 y 2008.

Tabla 21

Arsénico en el aire en la zona de Goyllarisquizga hasta de 0 hasta 20km

	Arsénico Antes del plan 2000		Arsénico después del plan de cierre			
	Promedio de AS	Obs	Promedio de AS	Obs	Promedio de AS	Obs
Distancia						
0km	0.017	3				
20Km						
Prom. As.	0.017	3	no medido		no medido	

Datos consolidados del monitoreo de calidad del aire del plan cierre de minas Goyllarisquizga 2000. Informes de calidad del aire Pasco, 2006 y 2008. No hay medición de Arsénico para los años 2006 ni 2008.



Figura 9. Promedio de mediciones de calidad del aire. Presencia de arsénico en la zona de de Goyllarisquizga

La Tabla 22 y la Figura 10 muestra las mediciones del indicador Plomo en el aire de Goyllairquizga dentro del rango de 0 Km. al inicio del plan de cierre de mina, hasta las mediciones que corresponden a 20km en años posteriores. En la figura, se observa un incremento hacia el año 2008 de la presencia de plomo en el aire, sin embargo, esto puede explicarse por la injerencia de otras instalaciones mineras cercanas a los puntos de control que se encuentran a 20Km de Goyllarisquizga. Aún en este caso, las mediciones se mantienen bajo los Límites Máximos Permitidos de 25mg/m³. Los datos consolidados del monitoreo de calidad del aire del plan cierre de minas Goyllarisquizga 2000, Informes de calidad del aire Pasco, 2006 y 2008.

Tabla 22

Presencia de plomo en el aire en la zona de Goyllarisquizga hasta de 0 hasta 20km

Distancia	Plomo antes del plan 2000		Plomo después del plan de cierre			
	Promedio de PB	Obs	Promedio de PB	Obs	Promedio de PB	Obs
0km	0.008	3				
20Km			0.152	5	0.439	12
Plomo en aire	0.008		0.152		0.439	

Datos consolidados del monitoreo de calidad del aire del plan de cierre de minas de Goyllarisquizga 2000. Informes de calidad del aire Pasco, 2006 y 2008



Figura 10. Promedio de mediciones de calidad del aire. Presencia de plomo en la zona de Goyllarisquizga.

4.3 Resultado de los indicadores de calidad del suelo

Desde la Figura 11 a la Figura 16 y en la Tabla 23 se presenta el resultado del indicador “suelo” mostrando gráficamente el estado de la zona de los botaderos de Goyllarisquizga en el momento inicial del plan de cierre de la mina y en momentos posteriores en años recientes. Se muestra el estado del suelo a través del plano topográfico de la mina en el momento anterior a la aplicación del plan de cierre y las fotos satelitales que indican el estado del suelo en los años 2013, 2014, 2018 y 2019. En la Tabla 23 se la lista de chequeo aplicada a los indicadores según lo observado sobre las zonas de los botaderos del sistema Azalia y Pucará.

En la figura 11 se muestra el estado de los Botaderos en el sistema Azalia 2002 en el diagrama de la Planta General Azalia, del Cierre de los Tuneles Pucará y Azalia de la mina Goyllarisquizga. Durante los primeros años del Plan de Cierre de Minas se identificaron e inventariaron los botaderos. Algunos de estos, perteneciente a las bocaminas de Azalia se marcan en rojo. Elaborado sobre documentación de CENTROMIN Perú. Setiembre 2002.



Figura 11. Estado de los Botaderos en el sistema Azalia 2002. Planta General Azalia,

En la Figura 12 se muestra el estado de los Botaderos en el sistema Azalia en el año 2014. Luego de la aplicación de las técnicas de cierre de minas (estabilización de taludes y remediación de suelos) aún pueden observarse como zonas no revegetadas en el año 2014. Se indican en círculos amarillos las zonas aproximadas donde se encuentran los botaderos indicados en la Figura 11. Foto satelital de Google Earth (1-Set-2014). CNES, Airbus Google.



Figura 12. Estado de los Botaderos en el sistema Azalia 2014.

En la Figura 13, se muestra el estado de los Botaderos en el sistema Azalia en el año 2018. Pueden observarse pequeñas zonas con vegetación, pero no pueden identificarse como producto de la remediación de suelos. Los bajos niveles de plomo, arsénico y pH neutro indican que la estabilización geológica de estos botaderos ha sido exitosa pues no están contaminando cuerpos de agua ni parecen tener mayor efecto en el aire, los cuales se mantienen por debajo de los límites máximos permitidos. Aun cuando no existe vegetación puede suponerse que la aplicación de geomantas y estabilización de los botaderos ha tenido resultado positivo en la mitigación de la contaminación. Foto satelital de Google Earth, CNES, Airbus – Google, 2018.



Figura 13. Estado de los Botaderos en el sistema Azalia en el año 2018.

En la Figura 14, se observa el estado de los Botaderos en el sistema del Túnel Pucará en el año 2002, al inicio del plan de cierre de estas bocaminas. Se muestra la Planta General Pucará, del Cierre de los Túneles Pucará y Azalia de la mina Goyllarisquiza. En los primeros años de ejecución del Plan de Cierre de Minas se identificaron e inventariaron los botaderos del sistema Pucará. Algunos de estos, perteneciente al Túnel Pucará se marcan en rojo CENTROMIN Perú. Setiembre 2002.

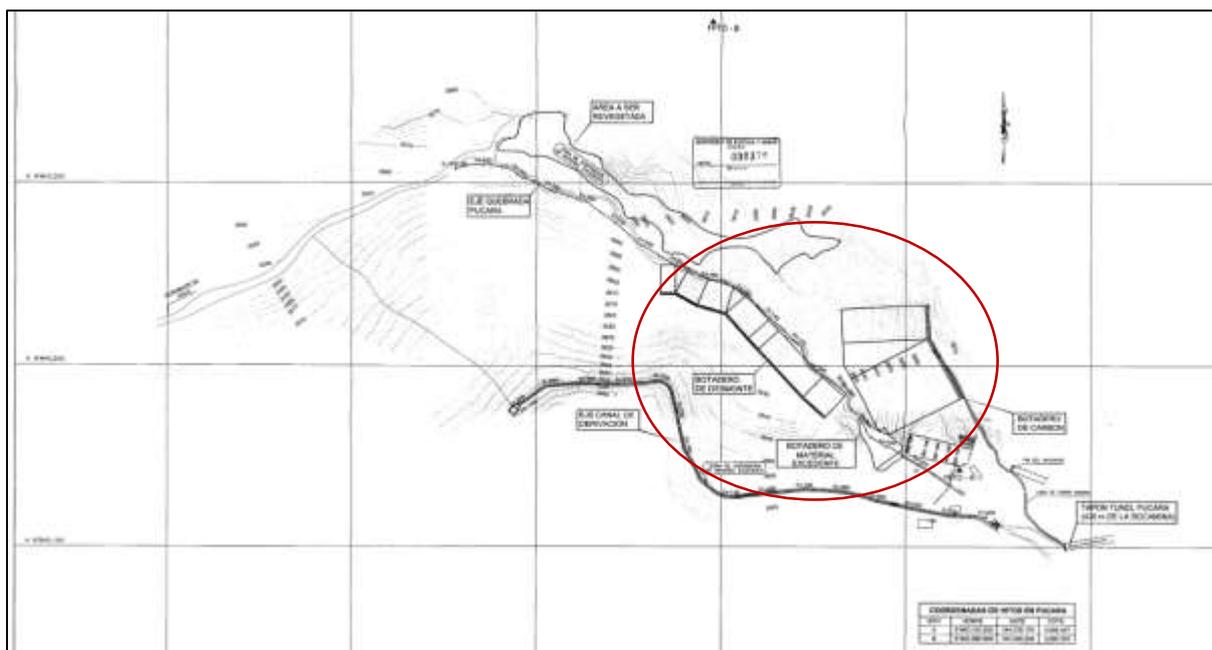


Figura 14. Estado de los Botaderos en el sistema del Túnel Pucará 2002.

En la Figura 15, se muestra el estado de los Botaderos en el sistema del Túnel Pucará en el año 2013. Se indican en círculos amarillos las zonas aproximadas de los botaderos registrados en la figura 14. Se puede observar que hacia el año 2013, muchos de ellos habían sido cubiertos con vegetación, lo que corresponde con las técnicas de remediación de sueños. Considerando la poca presencia de contaminantes como plomo o arsénico en el sistema hídrico, se puede considerar que las técnicas de mitigación aplicadas han sido exitosas. Foto satelital de Google Earth, CNES, Airbus – Google, 2018. Registrada el 02 de setiembre del 2013.



Figura 15. Estado de los Botaderos en el sistema del Túnel Pucará 2013

En la Figura 16 se presenta el estado de los Botaderos en el sistema del Túnel Pucará 2019. En la última foto de junio del 2019, se indican en amarillo las zonas aproximadas donde se ubicaban los botaderos. Se puede observar que la vegetación se ha mantenido en las zonas donde se ubicaron los botaderos de la quebrada Pucará, respecto de la figura 15, confirmando que las técnicas de remediación de suelo fueron exitosas. Foto satelital de Google Earth, CNES, Airbus – Google, 2018. Registrada el 30 de junio 2019.



Figura 16. Estado de los Botaderos en el sistema del Túnel Pucará 2019.

Las figuras 17 a 25 muestran el estado de los botaderos de Goyllarisquizga. Estos botaderos fueron inicialmente estabilizados durante la ejecución del plan de cierre, y posteriormente, fueron objeto de operaciones de mantenimiento y reestabilización física del suelo complementarias a las existentes, requeridas por el deterioro propio de las obras originales y/o por la necesidad de reforzar las realizadas originalmente. Estas obras realizadas por CENTROMIN Perú, incluyen la estabilización física de los taludes, la aplicación de geomantas y el mantenimiento, reconstrucción o creación de canales de coronación en aquellas zonas en las que estas instalaciones estuvieran deterioradas o incompletas. Los registros fotográficos corresponden a diversos botaderos identificados en sectores 1 al 9 de entre los años 2005 y 2008.



Figura 17. Remediación de los botaderos. Sector 9 de Goyllarisquizga. Estabilización física. Abril 2008 y Junio 2008. CENTROMIN Perú.



Figura 18. Remediación de los botaderos. Sectores 2, 3 y 5 de Goyllarisquizga. Estabilización física del suelo. Abril 2006 y Junio 2006. CENTROMIN Perú.



Figura 19. Remediación de los botaderos. Sector 4 de Goyllarisquizga. Estabilización física del suelo. Abril 2006 y Junio 2006. CENTROMIN Perú.



Figura 20. Remediación de los botaderos. Obras de Tajo Abierto en Goyllarisquizga. Estabilización física del suelo. Diciembre 2005 a Junio 2006. CENTROMIN Perú.

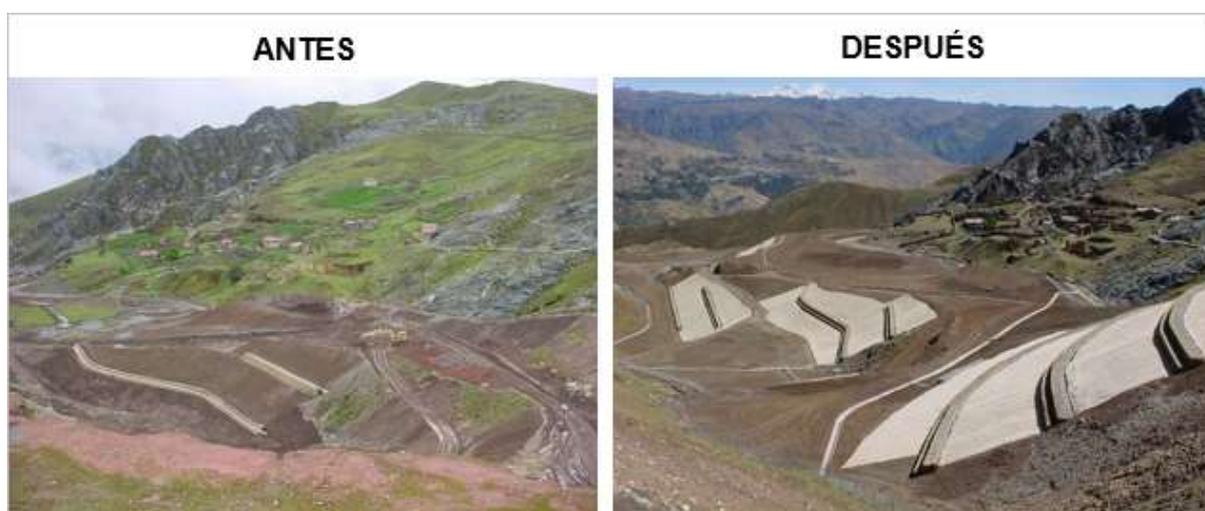


Figura 21. Remediación de los botaderos. Tajo abierto. Estabilización de suelo de Goyllarisquizga. Diciembre 2005 a Junio 2006. CENTROMIN Perú.



Figura 22. Remediación de los botaderos. Sector 1 de Goyllarisquizga. Estabilización física de suelo y aplicación de geomantas. Octubre 2005 y Junio 2006. CENTROMIN Perú.

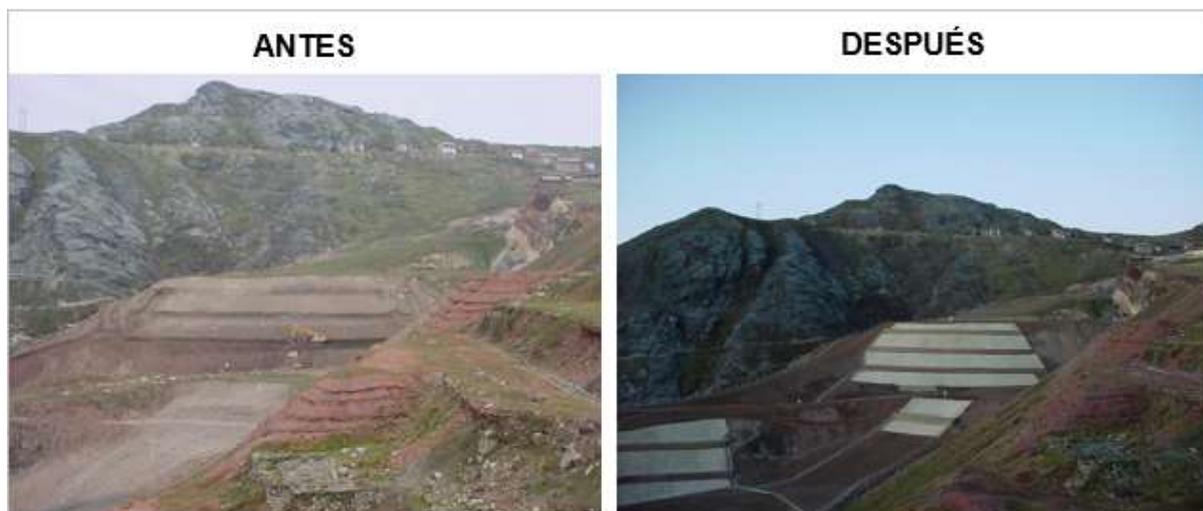


Figura 23. Remediación de los botaderos. Sector 8.1 y 9 de Goyllarisquizga. Estabilización física del suelo. Noviembre 2005 y Junio 2006. CENTROMIN Perú.



Figura 24. Remediación de los botaderos. Sector 5 y 6 de Goyllarisquizga. Estabilización física de suelo. Junio 2005 y octubre 2005. CENTROMIN Perú.



Figura 25. Remediación de los botaderos. Sector 6 y 7 de Goyllarisquizga. Estabilización física de suelo. Octubre 2005 y Junio 2006. CENTROMIN Perú.

Tabla 23
 Lista de chequeo del estado del suelo en Goyllarisquizga

Variable	Indicador	Azalia			Pucará		
		Sí	No	Ref	Sí	No	Ref
CPAM (Antes)	Visibilidad	1	--	--	1	--	--
	Ubicación	1	--	--	1	--	--
	Vegetación	--	0	--	--	0	--
	Canales	--	0	--	--	0	--
	Intervención	1	--	--	1	--	--
TCM (Después)	Visibilidad	1	--	--	1	--	--
	Ubicación	1	--	--	1	--	--
	Vegetación	--	0	--	1	--	--
	Canales	--	--	0.3	--	--	0.1
	Intervención	--	--	0.8	1	--	--

Datos consolidados del monitoreo según dimensiones de análisis.

Siguiendo la relación inicial planteada en la metodología, los datos presentados en las Tablas 15 a la Tabla 23, correspondiente a cada uno de los indicadores relacionados con las dimensiones en estudio: agua, aire, y suelo, se evaluaron mediante la expresión siguiente: $CPAM (Agua, Aire, Suelo) = m \times (TCM(Agua, Aire, Suelo))$ con el fin de obtener los indicadores componentes de “m”, que permiten construir el índice que determina el impacto la relación existente la Contaminación por Pasivos Ambientales Mineros (estado inicial) y la aplicación de las Técnicas de Cierre de Minas (estado después de aplicar las técnicas).

En la Tabla 24 se presentan cada uno de los indicadores resumiendo las mediciones iniciales y finales individualizadas para el sistema de Azalia y Pucará. Las mediciones iniciales se calculan mediante el promedio de los años 2000 al 2003, periodo en el que se inician las actividades del cierre de la mina de Goyllarisquizga. Los valores finales o valor actualizados, corresponden a las mediciones y observaciones de los últimos periodos registrados, incluyendo los años 2006 y 2008 para las mediciones del aire; los periodos correspondientes a los trimestres del 2013 para el monitoreo del agua; y observaciones desde el 2005, 2006, 2008, 2014, 2018 y 2019 para el estado físico del suelo.

Tabla 24
Cálculo de la pendiente promedio según valor normalizado

Dimensión	Indicador	Inicio	Actual	Hipótesis	m	Indices	
		(Promedio al inicio del Plan de Cierre)	Valor Final Próximo	Tendencia Esperada		Variación	Normalizados
Aire	PM10	15.75	82.22	-	0.19156	0.009	1%
	Pb	0.08	0.439	-	0.18223	0.008	1%
	As	0.17	0.17	-	1.00000	0.046	5%
Agua	pH	6.045	8.85	+	1.46402	0.067	7%
	SolidosSuspend	83.08	13.24	-	6.27492	0.287	29%
	Caudal	3105.25	1069	-	2.90482	0.133	13%
	As	0.00796	0.00181	-	4.39779	0.201	20%
	Pb	0.038555	0.00996	-	3.87098	0.177	18%
Suelo	Revegetación	0	0.5	-	0.50000	0.023	2%
	Canales	0	0.2	-	0.20000	0.009	1%
	Intervención H.	0	0.9	-	0.90000	0.041	4%
TOTAL/PROMEDIO					21.8863	0.091	9%

Datos consolidados del monitoreo según dimensiones de análisis.

En la Tabla 24, la columna “m” indica la pendiente de la recta hipotética entre esos puntos, e indica si la aplicación de las Técnicas del Cierre de Minas aplicadas a la mina de Goyllarisquizga (TCM) han tenido un impacto positivo o no reduciendo el indicador. En general, los valores de menores que 1 indicarán que existe una reducción del indicador o la medición, y un valor superior a 1 indicará que hay un aumento proporcional. Según el indicador analizado se espera una tendencia que es, en general, descendiente, es decir, indicando una disminución del indicador contaminante; sin embargo, en el caso del pH del agua, se espera que el valor aumente reduciendo la acidez del agua. En este último caso, se aplica una corrección a fin de homogenizar los indicadores. Esto se indica en la columna “hipótesis” o tendencia esperada.

La Tabla 24 ofrece finalmente los índices normalizados que permiten construir el indicador “m” promedio general aplicable a las variables de estudio. En este caso el valor es de 0.091 o 9%. Este valor nos indica la relación entre el estado por la Contaminación por Pasivos

Ambientales Mineros y el estado luego de aplicar las Técnicas de Cierre de Minas. La relación entre las variables expresada anteriormente se presenta de la siguiente manera:

$$CPAM (Agua, Aire, Suelo) = 0.091 \times (TCM(Agua, Aire, Suelo)), \text{ o}$$

$$m = 0.091 = \frac{CPAM (Agua, Aire, Suelo)}{TCM(Agua, Aire, Suelo)}$$

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Del resultado mostrado de los monitoreos de calidad del agua en las Tablas 15 a la 22 se puede deducir, en términos generales, que el nivel de acidez de las aguas provenientes de los efluentes en los sistemas de drenaje del túnel Pucará y las bocaminas Azalia, se ha reducido, así como la presencia de sólidos en suspensión y la presencia de los minerales contaminantes Arsénico y Plomo. Al respecto se puede comentar lo siguiente:

Respecto de la Tabla 15 y Figura 3 referidos al nivel de acidez mediante el indicado pH en el sistema combinado Azalia y Pucará, tomando como referencia los periodos comprendidos entre 2000 a 2003 y el año 2013. Se puede observar que durante el primer grupo temporal (2000-2003), el nivel de acidez medido mediante el indicador de pH, se ha mantenido fluctuando entre 5 y 7 con tendencia hacia la baja, indicando un cierto grado de acidez en el agua de este sistema, al inicio de las acciones del cierre de minas que buscaban precisamente reducir estos valores. En este periodo de tiempo, los Niveles Máximos Permitidos estaban en el rango de pH mayor que 5 y menos que 9, estando el nivel de acidez de las aguas del sistema dentro de los parámetros permitidos, pero muy cerca al límite para ser considerada agua ácida, posiblemente, debido al contacto con aguas ácidas provenientes de los drenajes o contaminación de las aguas limpias por el contacto con restos de material residual de la explotación minera. En los monitoreos del año 2013, aproximadamente un decenio después de las últimas mediciones registradas, puede observarse una alcalinidad mayor de las aguas del sistema, manteniéndose también dentro del rango vigente de los Límites Máximos Permitidos de PH vigente al momento del monitoreo, correspondiente al rango de 6 a 9. En alguna de las mediciones se observa un pH de 9, lo que indica una alcalinidad excesiva, pero se observa que, en los monitoreos de los trimestres siguientes este nivel se sostiene dentro del rango.

Entre las Tablas 16 y 17; y de las figuras 4 y 5 se observa el caudal monitoreado y la presencia de sólidos suspendidos en las aguas del sistema Pucará – Azalia. Analizando ambas tablas se puede observar la relación existente entre el nivel de estos sólidos suspendidos en el agua respecto del caudal registrado. La variación del caudal puede explicarse por la aplicación de las técnicas de cierre que permitirán el drenaje de aguas de las bocaminas al inicio de la ejecución del plan de cierre. En los registros al inicio del monitoreo en el año 2000 se muestran un caudal importante en el sistema que va disminuyendo hacia el año 2003. En este periodo se tienen las mediciones del finales del año 2000 y el primer trimestre del 2001, en los que se indica que los sólidos suspendidos en el agua del sistema exceden los Límites Máximos Permisibles (100 mg/L), sin embargo, con la ejecución del plan del cierre de minas y el tratamiento dado a las aguas de las bocaminas Azalia y al túnel Pucará, que se inician en el año 2001, puede observarse una disminución, quedando las lecturas del monitoreo dentro del umbral permisible. Respecto de la medición de los trimestres del año 2013, se puede observar que el nivel de sólidos en suspensión, disminuye considerablemente hasta niveles en promedio de 13.24 mg/L. Los Límites Máximos Permisibles, vigentes para los sólidos en suspensión, corresponde a 50 mg/L manteniéndose las lecturas muy por debajo de estos límites, por lo que puede considerarse que las técnicas del cierre de minas aplicadas, después de diez años, han logrado mitigar la contaminación de las aguas por presencia de sólidos provenientes de los relaves o los botaderos de la zona minera de Goyllarisquizga.

En la Tabla 18 y Figura 6 se puede ver la presencia de Arsénico en las aguas del sistema Azalia-Pucará. En el periodo comprendido entre los años 2000 y 2003, correspondiente al inicio de la ejecución del plan de cierre de la mina, se observa niveles muy variables de arsénico en las aguas, pero todas ellas muy por debajo de los límites máximos permisibles vigentes en ese período (0.2 mg/L). Durante este período no se observa un aumento o disminución explicable,

sino una variación que puede corresponder a la disminución del caudal, y posible concentración del elemento. En este contexto, la tendencia, es levemente a la baja, lo que puede comprobarse con las lecturas de los trimestres del año 2013, los cuales son muy inferiores a aquellas lecturas del primer periodo de tiempo. Los Límites Máximos Permisibles vigentes en el año 2013 eran de 0.1 ml/L, menor al límite vigente entre 2000-2003, sin embargo, las lecturas del año 2013 son no solo significativamente menores sino que se encuentran muy por debajo del umbral límite. De ello puede deducirse que las acciones del plan de cierre de minas efectivamente han permitido la disminución de la presencia del arsénico en las aguas provenientes de las bocaminas Azalia y del Túnel Pucará.

En cuanto a la presencia de plomo en el agua del sistema Azalia-Pucará, puede observarse que este metal contaminante se ha mantenido por debajo de los límites máximos permisibles tanto en el periodo entre los años 2000 a 2003 y también en los monitoreos del año 2013. Respecto del periodo 2000-2003, que corresponde al inicio del plan de cierre de minas, puede observarse valores altos, cercanos al umbral permisible en los primeros trimestres del año 2000 y 2001, al inicio del plan. Entre los años 2002 y 2003 este valor se mantiene constante, siempre manteniéndose bajo el nivel de los Límites Máximos Permisibles vigentes en dicho periodo de 0.1mg/L. En los monitoreos del año 2013, se observó un valor promedio aproximado de 0.01, lo que se encuentra muy por debajo del Límite Máximo Permitido vigente en ese año de 0.2 mg/L. Se puede deducir que la contaminación de las aguas por plomo no es significativa y se ha mantenido debajo del umbral, pero se observa una tendencia a disminuir, lo que evidencia que los planes de cierre de minas, han logrado mitigar la contaminación de las aguas limpias que ingresan al sistema.

Respecto de la contaminación del aire en la zona de Goyllarisquiza, La Tabla 20 y la Figura 8, muestra las mediciones realizadas entre el 2000, 2006 y 2008 para determinar la presencia de partículas mayores a 10 micrómetros, conocidas como PM10 en un rango e 0 a 20km, abarcando el campo de acción de la mina y otros yacimientos mineros vecinos de la zona de Pasco. Las mediciones promedio mantienen una tendencia al alza lo que puede explicarse porque los puntos de medición se ubican como máximo a 20km de la zona minera de Goyllarisquiza, lo que entra en la zona de otros yacimientos mineros que podrían aumentar la presencia de los contaminantes, sin embargo, las mediciones se han mantenidos por debajo de los Límites Máximos Permisibles, quedando hacia el 2008 por debajo de los 90mg/m³. Las lecturas en los puntos cercanos a Goyllarisquizga se mantienen bajo los 16 mg/m³, lo que indica que no hay una contaminación sensible del aire por parte de los botaderos de la mina, los cuales han sido convenientemente tratados mediante la estabilización del suelo. Puede decirse que las técnicas de estabilización de suelos han tenido éxito con las geomembranas para evitar que la erosión del aire traslade partículas no mayores a 10 μm a las zonas pobladas cercanas.

En las Tablas 21 y Figura 9, se puede observar que las mediciones de arsénico en el aire cercano a la zona de Goyllarisquizga, se han mantenido aproximadamente constantes, cerca 0.017 mg/m³, que se encuentran muy por debajo del umbral fijado por los Limite Máximos Permisibles que es de 25mg/m³. Por esta razón se puede deducir que la presencia de este elemento en el aire no resulta un problema, ni al inicio de las operaciones del plan de cierre, ni en los años 2006 y 2008, fechas de los monitoreos de control. En este aspecto se debe indicar que solamente se ha contado con las mediciones realizadas en la mina de Goyllarisquizga, al inicio de las operaciones de cierre de minas. Estas lecturas están muy debajo de los LMP.

En cuanto a la presencia de plomo, en el aire cercano a la zona minera de Goyllarisquizga, se tienen las mediciones de los años 2000, 2006 y 2008. En este caso, las mediciones mantienen una tendencia al alza, pero siempre bajo los Límites Máximos Permisibles. La tendencia al alza puede explicarse porque las mediciones iniciales corresponden a las zonas cercanas a las minas de Goyllarisquizga, mientras que las mediciones posteriores se han realizado en un radio de 20Km que entran en el ámbito de acción de otra mina, por lo que el alza en los niveles puede corresponder a una contaminación cruzada producida por las actividades de otra zona minera. En el periodo analizado, estas mediciones se han mantenido muy abajo del umbral de los Límites Máximos Permisibles vigentes, de 25mg/m³. Por lo que se considera que no existe un riesgo de contaminación del aire, y que las técnicas de cierre y estabilización de suelo han impedido que los restos contaminantes hayan alcanzado el aire y se hayan propagado por erosión del aire o se hayan mezclado con las aguas del sistema.

Respecto de la estabilización del suelo, como se indicó en la sección correspondiente, se utilizaron las técnicas apropiadas que permiten evitar la contaminación del agua con restos de botaderos o desechos mineros. Estas técnicas se completan con la aplicación de geomembranas y la revegetación de la zona. En el caso del sistema de las bocaminas de Azalia, se puede observar en la Figura 11 los botaderos registrados hacia el año 2002, al inicio del Plan de Cierre de Minas, indicado de manera esquematizada. En la Figura 12 se observa el estado de estos territorios en el año 2014, aproximadamente una década después de iniciadas las operaciones de cierre y mitigación de contaminantes. En el año 2014, se pueden observar aún muchas de las zonas correspondientes a los botaderos con vegetación parcial y otras indicadas con los círculos en amarillo, que parecen no mantener vegetación, observándose sin embargo la presencia de algunos canales de coronación. Se puede observar, en la Figura 13 que hacia el año 2019, las

zonas con vegetación han aumentado gradualmente, lo que sería un indicativo de que las actividades de remediación y aplicación de las técnicas de cierre de minas en cuanto a la estabilización del suelo están dando resultado, aun si se observa que son varias las zonas que mantienen el color correspondiente al terreno sin revegetación. Los registros fotográficos para la zona de Azalia entre los años 2013 y 2019 corresponden a los meses de setiembre y junio respectivamente.

Respecto de la zona correspondiente al túnel Pucará, la Figura 14 nos muestra la distribución de los botaderos al inicio del Plan de Cierre de Minas en Goyllarisquiza, estos botaderos se encuentran en las laderas de la quebrada Pucará, luego de la salida de la bocamina. Hacia el año 2002, se delimitaron estos botaderos tal como se indican en la Figura 14. De manera similar al caso de Azalia, hacia el año 2013 (Figura 15) se observa una vegetación significativa de esta zona lo que indica el éxito de las tareas de remediación del suelo, aplicando las geomembranas y la revegetación de la zona. En la actualidad, en el año 2019, los cambios en la vegetación no son tan evidentes evidentes en comparación con lo observado en la zona de Azalia, sin embargo, pueden observarse zonas que cuentan con vegetación más tupida, tal como se aprecia en las fotos satelitales a color obtenidas mediante el servicio Google Earth.

Entre las figura 16 a la 25 se muestra el estado de los botaderos y depósitos de material tratados originalmente al inicio del plan de cierre, su estado hacia el año 2005 y 2006 y las acciones que se emprendieron para completar o mejorar estos tratamientos, como la aplicación de las geomembranas o geomantas así como el encausamiento y la construcción de canales de coronación. Puede observarse que hacia dicho año, muchos de los sitios de tratamiento contaban con taludes erosionados o incompletos.

VI CONCLUSIONES

6.1 Se concluye que las Técnicas de Cierre de Minas han tenido impacto en la mitigación de la contaminación ambiental, pues se encontró una mejora del 9.1% en promedio de los indicadores en cada una de las dimensiones aire, agua y suelo.

6.2 Remitiéndonos a la Tabla 24, en la que se muestra el detalle de los indicadores, se concluye lo siguiente: En cuanto al aire, la mitigación fue de 1.6%, en cuanto al agua, la mitigación fue de 13%, finalmente en cuanto al suelo, la mitigación fue de 9%.

6.3 Respecto de las hipótesis planteadas, se concluye que todas ellas están interrelacionadas y se ven afectadas fundamentalmente por el factor agua, que finalmente contamina el suelo, y éste a su vez, contamina cauces de aguas limpias, por lo que al aplicar las técnicas de cierre de minas, tomando el caso de Goyllarisquizga. Esto se observa con la relación entre la variable CPAM y TCM con el ratio de 9.1% de mejora entre el estado inicial de contaminación ambiental (CPAM) y el estado posterior luego de la aplicación de las técnicas de cierre de minas (TCM).

6.4 A pesar de que el estado inicial de los sólidos en suspensión en las aguas de este sistema conjunto fue alta al inicio del plan de cierre de minas, estos valores, en términos generales se han mantenido bajo los Límites Máximos Permisibles, incluso en el caso del Plomo o el Arsénico que, en términos prácticos nunca alcanzaron los límites vigentes en el momento. Esto nos lleva a concluir que la contaminación en Goyllarisquizga se basaba fundamentalmente por los sólidos en suspensión, más no por presencia de minerales contaminantes (Pb y As).

6.5 En el caso de la contaminación del aire, se concluye que la contaminación inicial del aire fue muy leve en la zona de Goyllarisquizga y que los valores altos obtenidos en mediciones posteriores a la ejecución del plan de cierre, responden a contaminación cruzada con otros yacimientos mineros, debido a que los monitoreos se realizaron con una distancia que cae dentro del ámbito de otras zonas de explotación minera

6.6 Luego de comprobar la influencia de las técnicas de cierre de minas en la mitigación de la contaminación ambiental, podemos concluir que existe un respectivo, e invaluable, beneficio social hacia las comunidades circundantes a la zona de explotación minera. Y, particularmente en el caso del agua, el beneficio social se extiende a aquellas comunidades que río abajo utilizan estas aguas directamente o para el sustento del ecosistema en el cual habitan.

6.7 Siendo la contaminación ambiental una preocupación vigente y de inmediata atención, se constató que las técnicas de cierre de minas en el caso de Goyllarisquizga, representaron un significativo avance en el cuidado del medio ambiente, no sólo válido para las poblaciones aledañas sino para todas las tierras de influencia de las aguas procedentes de la zona de explotación minera. Las técnicas de cierre de minas aplicadas en Goyllarisquiza son diversas y propias para esta mina de carbón, pero, en general, éstas han dado un resultado positivo debido a su gran influencia en la mitigación de la contaminación ambiental medida en estas dimensiones e indicadores.

VII RECOMENDACIONES

7.1. Se recomienda actualizar las mediciones en los puntos de monitoreo registrados con equipos y datos al año en curso. Esto debe realizarse a nivel del sistema hídrico en los puntos de monitoreo inventariados para el control del plan de cierre, así como en nuevos puntos de control tanto para el agua como para el aire. Respecto al monitoreo del aire, se debe completar un sistema de puntos de control que permitan analizar con mayor precisión la calidad del aire en la zona de Goyllarisquizga. Para efectos de la estabilidad física del suelo, se recomienda realizar inspecciones físicas para comprobar el estado de los taludes, el nivel de revegetación y el funcionamiento de los canales de coronación.

7.2 Se recomienda la evaluación integral de la situación de los botaderos inventariando su estado de revegetación así como el de las especies y usos que se le ha dado después de casi quince años de haber aplicado las técnicas de remediación. De esta manera se evaluará y ajustarán adecuadamente los efectos de la contaminación minera.

7.3. El Ministerio de Energía y Minas cuenta con un registro de todos los Planes de Cierre de Minas con un registro detallado de sus instalaciones y técnicas de cierre y remediación aplicadas. Se recomienda aplicar la metodología actual en otras minas, analizando el monitoreo del sistema hídrico, el aire y las zonas de desechos mineros o relaves, considerando sus particularidades, para identificar si éstas están cumpliendo con la mitigación de los pasivos ambientales.

7.4. Las técnicas de cierre de minas aplicadas en Goyllarisquiza, si bien han brindado un resultado exitoso en la mitigación de los daños al ambiente y ecosistema del lugar, es sumamente necesario que los planes y el seguimiento que realizan las autoridades – ya sea del Ministerio de Energía y Minas o el Ministerio del Ambiente, en aquellos ámbitos que les correspondan, incluyan un programa de mantenimiento específico para estas instalaciones y equipos necesarios, los cuales deben también estar adjuntos a los documentos que acompañan los planes de cierre.

7.5. Se recomienda aumentar los puntos de monitoreo para un mejor control de estos tres factores. Respecto a los puntos de monitoreo de calidad del agua, se debería incluir en ellos unos puntos de control en poblaciones ubicadas río abajo para comprobar si los niveles pueden seguir disminuyendo o si existen otros contaminantes ajenos al sistema de Goyllarisquiza. En el caso del monitoreo de la calidad del aire, sería recomendable la adición de puntos de control en las zona de Goyllarisquiza y al final de las bocaminas y el Túnel Azalia. Respecto al suelo, se debe implementar, un sistema de inspección visual de estos ex botaderos remediados para comprobar su estado de estabilidad física y biológica con el fin de realizar las actividades de mantenimiento que permitan preservar si inocuidad.

7.6. Se requiere que el personal encargado tenga el conocimiento de la zona así como experiencia en la inspección visual y técnicas de muestreo de este tipo de suelos remediados, entendiendo que en muchos casos, sea por interés o descuido, no se puede llegar a constatar el real estado de los exbotaderos, de los canales y las geomembranas, sin tomar nota de características geológicas e hídricas del entorno y de la evolución de las técnicas de mitigación y remediación..

7.7 Es deseable y necesario reforzar los mecanismos de supervisión acompañando a la normatividad con personal especialmente preparado, y para ello, se puede promover una intervención presupuestal del estado para reforzar las tareas de monitoreo, no como un plan de la misma empresa explotadora sino como una extensión del sistema de auditoría y control financiado por el Estado. De este modo, la fiscalización sería más eficiente y menos influenciada por las acciones de los concesionarios mineros.

VIII REFERENCIAS

- Baxter, Allan. (2010). Dangers of Mining Around The World. Interview by Olivia Lang. BBC News. 14-Oct-2010. Recuperado de: <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-11533349>
- Bertrand, Valerie. (2006). Drenaje de ácido de rocas y lixiviación de metales en minas. Pontificia Universidad Católica del Perú. Curso de Especialización en cierre de minas y pasivos ambientales.
- Buella-Serrano, A.; Martinez, Rudy. (2011). Guía Básica de control de calidad de agua. ON-GAWA Ingeniería para el desarrollo humano. AECID. Madrid, España.
- Castro, Mario y otros. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. Ingeniería Solidaria, vol 10, n° 17, pp 111-124, Dic.2014. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- CIDA, MEF. (2002). Guía para la elaboración y revisión de planes de cierre de minas. Ministerio de Energía y Minas.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Pluvial. México
- Comisión Multisectorial MINAM. (2012). Ejes estratégicos de la gestión ambiental. Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/EJES-ESTRATEGICOS-DE-LA-GESTION-AMBIENTAL.pdf>
- Comisión Nacional del Agua. (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Pluvial. México
- Compendio de la Legislación Ambiental Peruana. (2011). Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental del Ministerio del Ambiente. Lima.
- Dangervil (2014) La Contaminación Ambiental.
- DS N° 008-2005-PCM. (2005). Reglamento de la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Lima. Perú. Separata de Normas Legales del Diario Oficial El Peruano. 28 Enero 2005
- DL N° 1013. (2008). Ley de Creación, Organización y Funciones del MINAM. Lima. Perú. Separata de Normas Legales del Diario Oficial El Peruano. 14 Mayo 2008.
- ELAW. (2010). Guidebook for evaluating Mining project EIAs. Environmental Law Alliance Worldwide. USA. ISBN 978-0-9821214-36

- Empresa Minera del Centro del Perú. (2002). Plan de Cierre de los Túneles Pucará y Azalia de la Mina Goyllarisquizga. Centromin Perú SA. Ministerio de Energía y Minas.
- Encinas, María. (2011). Medioambiente y contaminación. Principios básicos. ISBN: 978-84-615-1145-7. Recuperado de: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio%20Amiente%20y%20Contaminaci%C3%B3n.%20Principios%20b%C3%A1sicos.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Ecoamérica. (2007). Drenaje Ácido de Mina. Minería y Medio Ambiente. Pag18-21
- EPA. (2019). National Recommended Water Quality Criteria - Aquatic Life Criteria Table. Recuperado de: <https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table>
- Flores J, Lopes-Moreno S y Albert LA. (1995). La Contaminación y sus efectos en la Salud y el Ambiente. Centro de Ecología y Desarrollo. A.C., Mexico, DF.
- Fourie, A; Bouazza, A.(2010). Improving the performance of mining infrastructure through the judicious use of geosynthetics. 9th International Conference on Geosynthetics. Brazil Galaz Palma, Juanita. (2010). Fundamentos de Procesamientos de relaves Minería y medio Ambiente, Colombia.
- Galetovic-Carabantes, A.; De-Fernicola, Nilda. (2003). Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública. Revista Brasileira de Ciencias Farmacéuticas. Vol 39 N°4 Octubre-Diciembre 2003. P335-372.
- Giraldo, M; Blas W. (2008). Minería Actual del Carbón en el norte del Perú Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. Vol 10 N°20. UNMSM.
- Haney, Michael; Shkaratan, Maria. (2003). Mine Closure and its impact on the Community. World Bank. Social Development Papers. Paper N° 42. USA
- Hettige, H, Thukral, K. (2009). People's Republic of China: Shanxi Environment Improvement Project. Asian Development Bank. Performance Evaluation Report. Recuperado de: <https://www.oecd.org/derec/adb/47145819.pdf>
- ICARD. (2006). 7a Conferencia Internacional sobre Drenaje Acido de Roca (International Conference on Acid Rock Drainage - ICARD). St Louis, Missouri.
- Kirk, Thomas. (2018). Decarbonization pathways for mines. A headlamp in the darkness. Rocky Mountain Institute. USA.
- LaRotta, A.; Torres, M. (2017). Explotación minera y sus impactos ambientales y en salud. El caso de Potosí de Bogotá. SAude Debate. Rio de Janeiro V.41.

- Ley N° 28611. (2005). Ley General del Ambiente. Lima. Perú. Separata de Normas Legales del Diario Oficial El Peruano. 15 Octubre 2005.
- Ley N° 28245. (2004). Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Lima. Perú. Separata de Normas Legales del Diario Oficial El Peruano. 8 Junio 2004.
- Mariño-Martínez, J; Ortigón-Cuellar, M. (2016). Desgasification possibilities evaluation in Secotá coal mines. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Vol.25 pp 59-71. ISSN 2357-5328. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfing/v25n43/v25n43a05.pdf>
- MEND 1.61.4. (2004). Covers for Reactive Tailings Located in Permafrost Regions Review. October.
- MEND 2.21.4. (2004). Design, Construction and Performance Monitoring of Cover Systems for Waste Rock and Tailings. July.
- MEND 3.42.3. (2005). Review of Disposal, Reprocessing and Reuse Options for Acidic Drainage Treatment Sludge. January.
- MEND 5.10. (2005). List of Potential Information Requirements and MUARD Assessment and Mitigation Work. January.
- MEND 8.1. (2002). Acidic Drainage Research and Technology Gap Analysis. February.
- MEND 8.2. (2002). MEND3 Strategy Session, April 11-12, 2002. Ottawa, Ontario. August.
- MEND 10.13. (2003). Décimo Taller Anual BC-MEND de Lixiviación de Metales y Drenaje Acido de Roca sobre "Comportamiento de los Residuos Generadores de OAR, Caracterización de Materiales y Proyectos MEND", Vancouver. December.
- MEND 10.1. (2004). Review of Water Quality Issues in Neutral pH Drainage: Examples and Emerging Priorities for the Mining Industry in Canada, November.
- MEND 10.11. (2005). 12° Taller Anual de MEND en Lixiviación de Metales Drenaje Acido de Roca. British Columbia. Vancouver.
- MEND W.017. (2004). Taller Ontario-MEND sobre Manejo de Lodos y Tratamiento de Drenaje Neutro o Débilmente Acido. Sudbury, Mayo.
- MINAM-SEIA. (2019). Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Perú. <http://www.minam.gob.pe/legislaciones/sistema-nacional-de-evaluacion-de-impacto-ambiental/>
- MEND W.017. (2004). Proceedings of the 2004 Ontario MEND Workshop. Sludge Management and Treatment of Weak Acid or Neutral pH Drainage, September.
- MEND (2004). Undécimo Taller Anual BC-MEND de Lixiviación de Metales y Drenaje Acido de Roca sobre "Comportamiento de Coberturas Secas", Vancouver, Diciembre 2004.

- Ministerio de Energía y Minas. (2005). Guía para elaborar estudios de Impacto Ambiental Dirección General de Asuntos Ambientales, Perú.
- ONU. (2019). Asamblea General de las Naciones Unidas. Presidente del 65° período de sesiones. Desarrollo sostenible. Recuperado de: <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- Organización de las Naciones Unidas. (2016). Guía de Mejores Prácticas para un drenaje y uso eficaz del metano en las minas de carbón. CEPE ENERGIA N° 47. ISSN:2078-5887
- Ocheing, George. (2010). Impacts of Mining on water resources in South Africa: A review. Scientific Research and Essays Vol 5(22) pp 3351-3357. ISSN 1992-2248
- Piovani, Krawczyk. (2017). Los estudios comparativos: algunas notas históricas, epistemológicas y metodológicas. Universidad Nacional de La Plata – Universidade Estadual de Campinas. Educacao & Rrealidade. Porto Alegre. V42. Pag. 821-840.
- PNUD. (2019). Objetivos del Desarrollo Sostenible. USA. Recuperado de: <http://www.pe.undp.org/content/peru/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Price, W. (1997). Draft Guidelines and Recommended Methods for the Prediction of Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Minesites in British Columbia. British Columbia Ministry of Employment and Investments, Division of Energy and Minerals Division. April.
- Renken,K; Mchaina, D. (2005). Geosynthetics research and applications in the mining and mineral processing environment. North AMERICAN Geosynthetics Society
- Rojas-Villanueva, A. (2007). Manejo ambiental relaves – disposición subacuática. Tesis. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ingeniería de Minas, Metalurgia, Geología y Ciencias Geográficas.
- Rouyn-Noranda. (2005). 2do Simposium 2005 sobre Minería y Ambiente. Rouyn-Noranda mayo de 2005.
- Rueda, Jaime. (2017). Riesgos Geológicos y la Geología Ambiental. Conversus-Revista del Instituto Politécnico Nacional N° 129. ISSN 16652665
- World Bank. (2018). Managing Coal Mine Closure. Achieving a Just Transition for All. WorldBank Group.

IX ANEXOS

6.1 Base de datos de monitoreo de agua Azalia y Pucará en Goyllarisquiza

Nº	Punto de Monitoreo	Fecha de Muestreo	pH	Conductividad	Temperatura	Redox	Caudal	Alcalinidad	Acidez	Sólidos Suspendidos	Sulfatos	Arsénico Total	Plomo Total	Fuente
	PM	PERIODO	PH	COND	TEMP	REDO	CAUDA	ALCALI	ACIDE	TSS	SULFATO	AS	PB	SRC
1	604	26/01/2000	6.2	--	--	--	13829	--	--	110	--	0.002	0.1	2000-01
2	606	26/01/2000	8.5	--	--	--	138	--	--	223	--	0.002	0.05	2000-01
3	610	26/01/2000	7	--	--	--	4971	--	--	35	--	0.002	0.02	2000-01
4	604	22/02/2000	6.4	--	--	--	14750	--	--	79	--	0.02	0.07	2000-01
5	606	22/02/2000	4.4	--	--	--	104	--	--	29	--	0.002	0.06	2000-01
6	610	22/02/2000	6.7	--	--	--	2385	--	--	60	--	0.002	0.05	2000-01
7	604	07/03/2000	6.5	--	--	--	14048	--	--	78	--	0.02	0.04	2000-01
8	606	07/03/2000	4.8	--	--	--	494	--	--	887	--	0.002	0.01	2000-01
9	610	07/03/2000	6.9	--	--	--	3577.5	--	--	593	--	0.002	0.02	2000-01
10	604	25/04/2000	6.5	--	--	--	11941	--	--	240	--	0.002	0.03	2000-02
11	606	25/04/2000	4.1	--	--	--	140	--	--	65	--	0.002	0.08	2000-02
12	610	25/04/2000	6.2	--	--	--	1164	--	--	72	--	0.002	0.02	2000-02
13	604	26/05/2000	6.6	--	--	--	9504	--	--	116	--	0.002	0.05	2000-02
14	606	26/05/2000	3.5	--	--	--	60	--	--	65	--	0.002	0.09	2000-02
15	610	26/05/2000	6.4	--	--	--	960	--	--	117	--	0.002	0.03	2000-02
16	604	22/06/2000	6.5	--	--	--	8554	--	--	76	--	--	0.06	2000-02
17	606	22/06/2000	3.4	--	--	--	25	--	--	29	--	--	0.23	2000-02
18	610	22/06/2000	6.7	--	--	--	96	--	--	79	--	--	0.07	2000-02
19	604	15/07/2000	6.4	--	--	--	8078	--	--	71	--	0.005	0.02	2000-03
20	606	15/07/2000	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2000-03
21	610	15/07/2000	5.7	--	--	--	44	--	--	78	--	0.002	0.04	2000-03
22	604	15/08/2000	6.5	--	--	--	6653	--	--	56	--	0.016	0.03	2000-03
23	606	15/08/2000	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2000-03
24	610	15/08/2000	6.5	--	--	--	17	--	--	85	--	0.007	0.03	2000-03
25	604	15/09/2000	6.5	--	--	--	6653	--	--	56	--	0.016	0.03	2000-03
26	606	15/09/2000	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2000-03
27	610	15/09/2000	6.5	--	--	--	96	--	--	85	--	0.007	0.03	2000-03
28	604	15/10/2000	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2000-04
29	606	15/10/2000	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2000-04
30	610	15/10/2000	6.5	--	--	--	34	--	--	48	--	0.031	0.03	2000-04
31	604	15/11/2000	6.4	--	--	--	7984	--	--	44	--	--	0.01	2000-04
32	606	15/11/2000	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2000-04
33	610	15/11/2000	6.7	--	--	--	43	--	--	265	--	0.002	0.01	2000-04
34	604	15/12/2000	6.5	--	--	--	8224	--	--	223	--	--	0.02	2000-04
35	606	15/12/2000	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2000-04
36	610	15/12/2000	6.9	--	--	--	69	--	--	35	--	--	0.02	2000-04
37	604	15/01/2001	6.4	--	--	--	8640	--	--	22	--	--	0.01	2001-01
38	606	15/01/2001	4.9	--	--	--	194	--	--	96	--	--	0.04	2001-01
39	610	15/01/2001	6.8	--	--	--	2795	--	--	28	--	--	0.05	2001-01
40	604	15/02/2001	6.7	--	--	--	9072	--	--	16	--	--	0.05	2001-01
41	606	15/02/2001	3.8	--	--	--	188	--	--	32	--	--	0.1	2001-01
42	610	15/02/2001	7.2	--	--	--	2516	--	--	30	--	--	0.05	2001-01
43	604	15/03/2001	6.4	--	--	--	9418	--	--	44	--	0.012	0.03	2001-01
44	606	15/03/2001	4.8	--	--	--	576	--	--	24	--	0.002	0.04	2001-01
45	610	15/03/2001	7.1	--	--	--	3111	--	--	24	--	0.002	0.01	2001-01
46	PM1	23/03/2001	2.5	2000	19.6	265.7	2.74	1	2370	45	3016	0.004	0.152	FO01
47	PM2	23/03/2001	2.43	2000	16.1	254.7	--	1	2778	16	3182	0.004	0.162	FO01
48	PM3	23/03/2001	6.22	1006	17.1	49.5	142	112	78	70	482	0.018	0.002	FO01
49	PM4	23/03/2001	6.86	707	14.3	15.2	--	91	30	242	267	0.008	0.002	FO01
50	PM5	23/03/2001	7.34	817	14.1	-9.5	--	60	11	190	331	0.009	0.002	FO01
51	PM6	23/03/2001	8.17	483	15.1	-56.2	--	76	1	136	127	0.004	0.002	FO01
52	PM7	23/03/2001	8.45	291	14.9	-70.3	--	96	1	98	39	0.004	0.002	FO01
53	PM8	23/03/2001	8.51	305	15.6	-73.5	--	100	1	43	40	0.004	0.002	FO01
54	PM9	23/03/2001	7.97	367	14.3	--	--	31	1	242	150	0.004	0.014	FO01
55	PM10	23/03/2001	8.28	305	14.9	-62.2	--	91	1	810	49	0.021	0.032	FO01
56	PM1	05/04/2001	2.6	2000	--	265.7	4.17	1	2532	36	2918	0.004	0.165	FO01
57	PM2	05/04/2001	2.48	2000	--	--	10.96	1	3357	60	3653	0.004	0.232	FO01
58	PM3	05/04/2001	6.01	1020	--	--	--	111	136	21	426	0.016	0.026	FO01
59	PM4	05/04/2001	6.57	850	--	--	--	91	58	22	328	0.008	0.02	FO01
60	PM5	05/04/2001	7.29	887	--	--	--	61	12	52	419	0.006	0.018	FO01
61	PM6	05/04/2001	7.91	567	--	--	--	84	3	20	243	0.005	0.016	FO01
62	PM7	05/04/2001	8.37	385	--	--	--	102	1	5	93	0.004	0.002	FO01
63	PM8	05/04/2001	8.25	400	--	--	--	109	1	14	38	0.004	0.002	FO01
64	PM9	05/04/2001	7.66	405	--	--	--	24	2	313	222	0.004	0.002	FO01
65	PM10	05/04/2001	8.39	401	--	--	--	102	1	36	134	0.004	0.005	FO01
66	PM1	19/04/2001	2.46	2000	--	--	2.39	1	2630	41	3809	0.004	0.221	FO01
67	PM2	19/04/2001	2.69	2000	--	--	6.78	1	3096	49	4194	0.004	0.273	FO01
68	PM3	19/04/2001	6.31	1015	--	--	74.58	115	30	24	514	0.046	0.002	FO01
69	PM4	19/04/2001	6.59	913	--	--	--	92	15	33	414	0.027	0.005	FO01
70	PM5	19/04/2001	6.82	905	--	--	--	59	3	1321	485	0.081	0.037	FO01
71	PM6	19/04/2001	0	--	--	--	282.86	--	--	--	--	--	--	FO01
72	PM7	19/04/2001	7.99	443	--	--	--	128	1	10	119	0.019	0.006	FO01
73	PM8	19/04/2001	8.37	457	--	--	--	132	1	6	114	0.018	0.002	FO01
74	PM9	19/04/2001	7.1	419	--	--	1082.91	22	0.3	29	222	0.024	0.023	FO01
75	PM10	19/04/2001	8.11	443	--	--	--	109	13	16	124	0.018	0.011	FO01

Datos del monitoreo de calidad del agua del plan cierre de minas Goyllarisquiza 2000-2003 e Informe RP259-2013-OEFA

(Continuación) Base de Datos de Monitoreo del agua de los puntos de monitoreo de Azalia y Pucará

	Punto de Monitoreo	Fecha de Muestreo	pH	Conductividad	Temperatura	Redox	Caudal	Alcalinidad	Acidez	Sólidos Suspendidos	Sulfatos	Arsénico Total	Plomo Total	Fuente
	PM	PERIODO	PH	COND	TEMP	REDO	CAUDA	ALCALI	ACIDE	TSS	SULFATO	AS	PB	SRC
76	PM11	19/04/2001	2.6	2000	--	--	1.5	1	1001	13	1848	0.056	0.098	F001
77	PM1	09/05/2001	1.92	2000	12.5	--	1.3	1	3716	38	4351	0.004	0.267	F001
78	PM2	09/05/2001	2.31	2000	16.3	--	3.15	--	--	--	--	--	--	F001
79	PM3	09/05/2001	6.1	1035	16.6	--	51.09	65	57	15	474	0.018	0.002	F001
80	PM4	09/05/2001	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	F001
81	PM5	09/05/2001	7.26	933	16.4	--	--	--	--	--	--	--	--	F001
82	PM6	09/05/2001	7.98	7.7	14.8	--	116.93	65	4	26	--	--	--	F001
83	PM7	09/05/2001	8.7	633	16	--	2175	154	--	1	--	--	--	F001
84	PM8	09/05/2001	0	--	--	--	2293.51	--	--	--	--	--	--	F001
85	PM9	09/05/2001	8.1	412	--	--	273.71	22	2	1	--	0.004	0.002	F001
86	PM10	09/05/2001	8.6	615	--	--	2600	134	1	2	--	--	--	F001
87	PM12	09/05/2001	2.02	2000	--	--	0.26	--	1463	7	--	0.006	0.07	F001
88	604	15/07/2001	6.5	--	--	--	4811	--	--	24	--	0.002	0.01	2001-03
89	606	15/07/2001	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2001-03
90	610	15/07/2001	6.8	--	--	--	54	--	--	34	--	0.002	0.01	2001-03
91	604	15/08/2001	6.5	--	--	--	4667	--	--	37	--	0.002	0.01	2001-03
92	606	15/08/2001	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2001-03
93	610	15/08/2001	7	--	--	--	43	--	--	21	--	0.002	0.01	2001-03
94	604	15/09/2001	6.5	--	--	--	5375	--	--	72	--	0.002	0.04	2001-03
95	606	15/09/2001	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2001-03
96	610	15/09/2001	7.2	--	--	--	35	--	--	34	--	0.002	0.05	2001-03
97	604	15/11/2001	6.7	--	--	--	7256	--	--	--	--	0.022	0.03	2001-04
98	606	15/11/2001	3.9	--	--	--	130	--	--	25	--	0.008	0.03	2001-04
99	610	15/11/2001	7.3	--	--	--	346	--	--	37	--	0.002	0.03	2001-04
100	604	15/02/2002	6.5	--	--	--	5797	--	--	84	--	0.029	0.03	2002-01
101	606	15/02/2002	4.6	--	--	--	99	--	--	10	--	0.009	0.03	2002-01
102	610	15/02/2002	7.2	--	--	--	1555	--	--	28	--	0.002	0.03	2002-01
103	604	20/03/2002	6.6	--	--	--	6257	--	--	68	--	0.015	0.03	2002-02
104	606	20/03/2002	4.3	--	--	--	365	--	--	71	--	0.002	0.03	2002-02
105	610	20/03/2002	7	--	--	--	2634	--	--	37	--	0.002	0.03	2002-02
106	604	11/04/2002	6.4	--	--	--	6186	--	--	76	--	0.002	0.03	2002-02
107	606	11/04/2002	3.8	--	--	--	201	--	--	38	--	0.002	0.03	2002-02
108	610	11/04/2002	6.7	--	--	--	1814	--	--	34	--	0.002	0.03	2002-02
109	604	10/05/2002	6	--	--	--	5258	--	--	63	--	0.002	0.03	2002-02
110	606	10/05/2002	3.2	--	--	--	30	--	--	7	--	0.002	0.03	2002-02
111	610	10/05/2002	7.4	--	--	--	259	--	--	33	--	0.002	0.03	2002-02
112	604	15/06/2002	6.3	--	--	--	4898	--	--	54	--	0.002	0.03	2002-03
113	606	15/06/2002	3.1	--	--	--	9	--	--	14	--	0.002	0.03	2002-03
114	610	15/06/2002	7	--	--	--	169	--	--	39	--	0.002	0.03	2002-03
115	604	15/07/2002	6.4	--	--	--	5037	--	--	54	--	0.01	0.03	2002-03
116	606	15/07/2002	3.5	--	--	--	15	--	--	61	--	0.002	0.03	2002-03
117	610	15/07/2002	7.4	--	--	--	976	--	--	134	--	0.002	0.03	2002-03
118	604	15/08/2002	6.4	--	--	--	4822	--	--	84	--	0.01	0.03	2002-03
119	606	15/08/2002	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2002-03
120	610	15/08/2002	7.1	--	--	--	530	--	--	48	--	0.05	0.03	2002-03
121	604	02/09/2002	6.5	--	--	--	4752	--	--	56	--	0.007	0.03	2002-04
122	606	02/09/2002	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2002-04
123	610	02/09/2002	7	--	--	--	292	--	--	46	--	0.002	0.03	2002-04
124	604	16/10/2002	6.4	--	--	--	4985	--	--	73	--	0.013	0.03	2002-04
125	606	16/10/2002	3.7	--	--	--	8	--	--	<5	--	0.002	0.03	2002-04
126	610	16/10/2002	7.4	--	--	--	304	--	--	38	--	0.002	0.03	2002-04
127	604	13/11/2002	6.4	--	--	--	5821	--	--	6	--	0.012	0.03	2002-04
128	606	13/11/2002	3.9	--	--	--	75	--	--	46	--	0.002	0.03	2002-04
129	610	13/11/2002	7.2	--	--	--	1586	--	--	29	--	0.002	0.03	2002-04
130	604	15/12/2002	6.5	--	--	--	6694	--	--	70	--	0.002	0.03	2003-01
131	606	15/12/2002	3.3	--	--	--	113	--	--	24	--	0.002	0.03	2003-01
132	610	15/12/2002	7.3	--	--	--	2062	--	--	30	--	0.002	0.03	2003-01
133	604	15/02/2003	6.4	--	--	--	7815	--	--	42	--	0.002	0.03	2003-01
134	606	15/02/2003	4.3	--	--	--	503	--	--	165	--	0.005	0.03	2003-01
135	610	15/02/2003	7.2	--	--	--	3807	--	--	50	--	0.015	0.03	2003-01
136	604	15/04/2003	6.4	--	--	--	7141	--	--	49	--	--	0.03	2003-02
137	606	15/04/2003	4	--	--	--	435	--	--	8	--	--	0.03	2003-02
138	610	15/04/2003	7	--	--	--	3721	--	--	39	--	--	0.03	2003-02
139	604-A	14/07/2013	9.09	847	17.3	--	1166.4	--	--	20.4	--	0.0007	0.0002	RP259-2013-OEFA
140	604-B	14/07/2013	10.5	890	15.7	--	3456	--	--	5	--	0.0024	0.0002	RP259-2013-OEFA
141	608-A	14/07/2013	8.3	2720	12.2	--	149.47	--	--	18.8	--	0.0007	0.0002	RP259-2013-OEFA
142	604-A	19/12/2013	8.69	880	14.7	--	1262.3	--	--	5	--	0.004	0.002	2013-02
143	604-B	19/12/2013	8.42	920	14.1	--	1112.83	--	--	1	--	0.002	0.001	2013-02
144	608-A	19/12/2013	8.32	2380	13.3	--	100.22	--	--	29	--	0.002	0.009	2013-02
145	604-A	26/12/2013	8.98	980	16.9	--	1192.32	--	--	11	--	0.0021	0.034	2013-02
146	604-B	26/12/2013	8.37	1020	16.9	--	1102.46	--	--	8	--	0.0022	0.036	2013-02

Datos del monitoreo de calidad del agua del plan cierre de minas Goyllarisquiza 2000-2003 e Informe RP259-2013-OEFA

6.2 Base de datos de monitoreo de aire Azalia y Pucará en Goyllarisquizga

Base de Datos de Monitoreo del aire de la zona minera de Goyllarisquizga

Punto de	Fecha de Muestreo	Partículas en suspensión	Arsénico (Md.Día)	Plomo (Men)	Fuente	Distrito	Dist	Referencia
PM	PERIODO	PM10	AS	PB	SRC	Rad	D	Ref
601	15/12/2000	16	0.017	0.008	2000-04	Goyllarisquizga	0km	Plan de Cierre 2000
602	15/12/2000	16	0.017	0.008	2000-04	Goyllarisquizga	0km	Plan de Cierre 2000
603	15/12/2000	16	0.017	0.008	2000-04	Goyllarisquizga	0km	Plan de Cierre 2000
E1	21/09/2006	19.9	---	0.31	---	Paragsha	20Km	Pasco SET2006
E3	21/09/2006	15.5	---	0.1	---	Yanacancha	20Km	Pasco SET2006
E4	21/09/2006	11.5	---	0.16	---	Champamarca	20Km	Pasco SET2006
E5	21/09/2006	13.7	---	0.13	---	Chaupimarca	20Km	Pasco SET2006
E6	21/09/2006		---	0.06	---	Quiulacocha	20Km	Pasco SET2006
E-1	25/11/2008	16.8	---	0.09	---	Quiulacocha	20Km	Pasco NOV2008
E-2	25/11/2008	54.6	---	0.18	---	Champamarca	20Km	Pasco NOV2008
E-3	25/11/2008	17.6	---	0.18	---	Paragsha	20Km	Pasco NOV2008
E-1	26/11/2008	13.3	---	0.09	---	Quiulacocha	20Km	Pasco NOV2008
E-2	26/11/2008	77.7	---	0.24	---	Champamarca	20Km	Pasco NOV2008
E-3	26/11/2008	30.2	---	0.34	---	Paragsha	20Km	Pasco NOV2008
E-1	27/11/2008	36	---	0.09	---	Quiulacocha	20Km	Pasco NOV2008
E-2	27/11/2008	205.6	---	0.68	---	Champamarca	20Km	Pasco NOV2008
E-3	27/11/2008	350.9	---	2.43	---	Paragsha	20Km	Pasco NOV2008
E-1	28/11/2008	29.5	---	0.09	---	Quiulacocha	20Km	Pasco NOV2008
E-2	28/11/2008	80.1	---	0.32	---	Champamarca	20Km	Pasco NOV2008
E-3	28/11/2008	74.3	---	0.54	---	Paragsha	20Km	Pasco NOV2008

Datos del monitoreo de calidad del aire del plan cierre de minas Goyllarisquizga 2000, Informes de calidad del aire Pasco, 2006 y 2008

6.2 Imágenes de las minas de carbón de Goyllarisquiza y los pasivos ambientales



Figura 26. Ubicación de la Zona de la Investigación en el Departamento de Pasco



Figura 27. Ubicación de la Zona de la Investigación en la Provincia de Daniel Alcides Carrion – Goyllarisquiza.



Figura 28. Distrito de Goyllarisquizga durante las operaciones mineras de extracción de carbón en época de invierno 1959



Figura 29. Distrito de Goyllarisquizga después del cierre de las operaciones mineras



Figura 30. Zona de operaciones mineras

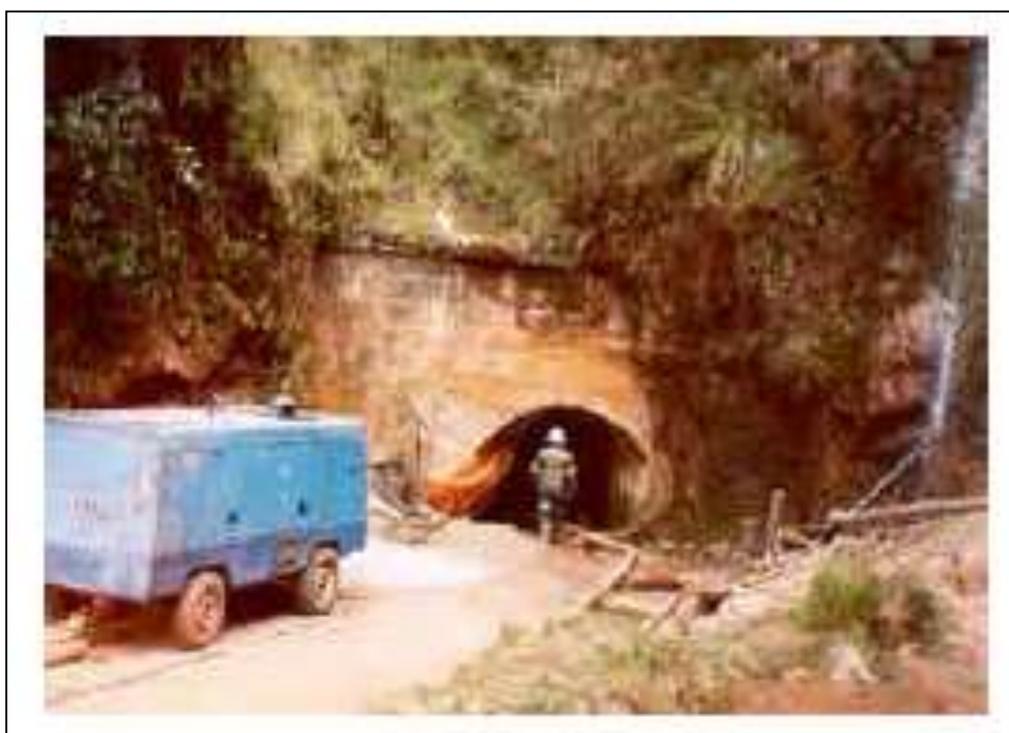


Figura 31. Las bocaminas de Azalia y el Túnel Pucará vertiendo sus aguas a quebradas afluentes del río Ushugoya contaminando y generando aguas ácidas



Figura 32. Las bocaminas de Azalia

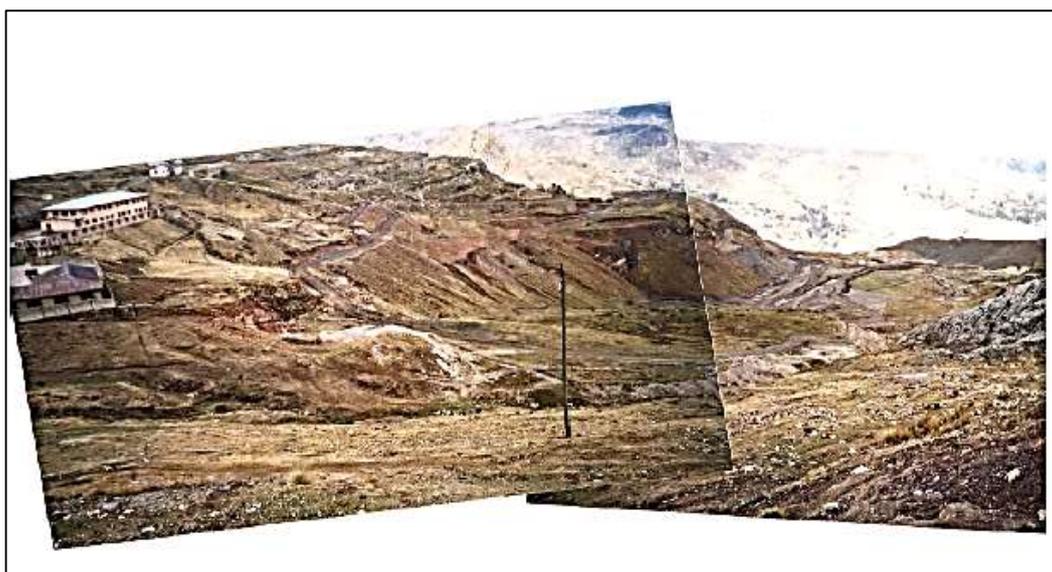


Figura 33. Vista Panorámica de un Sector de la Mina abandonada Goyllarisquizga donde se realizan en los trabajos de cierre de mina y remediación ambiental



Figura 34. Erosión eólica y generación de polvo en un depósito de relave



Figura 35. Erosión eólica y generación de polvo en un depósito de relave



Figura 36. Remediación de suelos. Canales de coronación.



Figura 37. Remediación de suelos. Estabilidad de taludes. Canales de coronación.

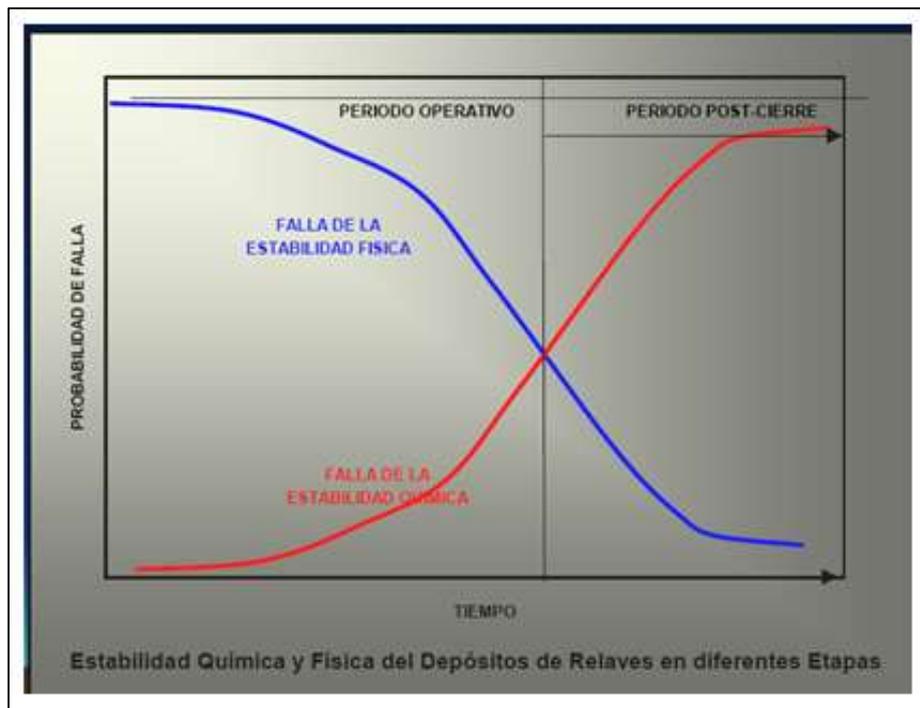


Figura 38. Estabilización química y física en cierre de minas

CIERRE DE MINAS DE CARBÓN EN EL PERU Y SU INFLUENCIA EN LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN GOYLLARISQUIZGA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	MUESTRA	DISEÑO
<p>GENERAL: ¿Cómo ha influido el cierre de minas de carbón en la mitigación de la contaminación ambiental en Goyllarisquizga?</p>	<p>GENERAL: Conocer la influencia de cierre de la mina de carbón en la mitigación de la contaminación ambiental Goyllarisquizga</p>	<p>GENERAL: El cierre de las minas influye significativamente en la mitigación de la contaminación ambiental en Goyllarisquizga</p>	<p>V1: VI: Cierre de minas de carbón</p> <p>Dimensiones:</p> <p>a. Técnicas de estabilización física del suelo</p> <p>b. Técnicas de estabilización química</p> <p>c. Técnicas de estabilización hidrológica</p>	<p>POBLACION: Los pasivos ambientales en Goyllarisquizga</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACION:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Básica <p>METODO:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descriptivo <p>DISEÑO:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No experimental
<p>ESPECÍFICOS:</p> <p>a. ¿En qué medida han influido las técnicas de estabilización física del suelo en la mitigación de la contaminación del aire en Goyllarisquizga?</p> <p>b. ¿En qué medida han influido las técnicas de estabilización química en la mitigación de la contaminación ambiental de Goyllarisquizga?</p> <p>c. ¿En qué medida ha influido las técnicas de estabilización de hidrológica en la mitigación de la contaminación ambiental en Goyllarisquizga?</p>	<p>ESPECÍFICOS:</p> <p>a. Conocer en qué medida influye las técnicas de estabilización física del suelo en la mitigación de la contaminación ambiental Goyllarisquizga</p> <p>b. Conocer en qué medida influye las técnicas de estabilización química en la mitigación de la contaminación ambiental de Goyllarisquizga</p> <p>c. Conocer en qué medida influye las técnicas de estabilización hidrológica en la mitigación de la contaminación ambiental en Goyllarisquizga</p>	<p>ESPECÍFICOS:</p> <p>a. Las técnicas de estabilización física del suelo influyen significativamente en la mitigación de la contaminación ambiental en Goyllarisquizga</p> <p>b. Las técnicas de estabilización química, influye significativamente en la mitigación de la contaminación ambiental en Goyllarisquizga</p> <p>c. Las técnicas de la estabilización hidrológica influyen significativamente en la mitigación de la contaminación ambiental en Goyllarisquizga</p>	<p>V2: VD: Contaminación ambiental</p> <p>Indicadores:</p> <p>a. Cantidad de arsénico en el agua, suelo y aire.</p> <p>b. Cantidad de plomo en el agua</p> <p>c. suspensión</p> <p>d. Nivel de pH de las aguas</p>	<p>MUESTRA: Los pasivos ambientales en los túneles Pucará y Azalia</p>	