

ANEXO DE MINA M-IV
MODELAJE DE CALIDAD DE AGUA

INDICE

	Página
IV. MODELAJE DE CALIDAD DE AGUA	IV-1
IV.1 Antecedentes y Objetivos.....	IV-1
IV.2 Métodos e Información	IV-2
IV.2.1 Enfoque de la predicción	IV-2
IV.3 Definición de Componentes.....	IV-3
IV.4 Geología de la Roca de la Mina	IV-5
IV.5 Geoquímica	IV-7
IV.5.1 Roca de mina	IV-7
IV.5.2 Relaves	IV-8
IV.6 Pruebas Metalúrgicas	IV-10
IV.6.1 Métodos	IV-10
IV.6.2 Información para el Modelaje de Calidad de Agua	IV-14
IV.7 Cálculos.....	IV-17
IV.7.1 Planificación de la mina	IV-17
IV.8 Cargas de los Botaderos de Desmonte	IV-19
IV.9 Balance Hídrico y Balance de Carga.....	IV-20
IV.9.1 Generalidades	IV-20
IV.9.2 Estructura del Modelo	IV-23
IV.10 Resultados	IV-25
IV.11 Previo a la explotación de la Mina.....	IV-26
IV.12 Química de Agua del Efluente de Relaves.....	IV-26
IV.13 Año 5.....	IV-28
IV.14 Año 10.....	IV-30
IV.15 Año 22.....	IV-31
IV.16 Etapa posterior al cierre	IV-31

TABLAS

Tabla IV-1 Proporciones de Producción en la Celda de Humedad.....	IV-8
Tabla IV-2 Caracterización de la Química del Agua para las Especies de Azufre.....	IV-12
Tabla IV-3 Química del Agua: Características Físicas y Químicas y Aniones.....	IV-12
Tabla IV-4 Química del Agua: Análisis de Metales Totales y Disueltos (por ICP)	IV-13
Tabla IV-5 Revisiones de Calidad por otros Métodos Analíticos y en Laboratorio	IV-14
Tabla IV-6 Aguas de Relaves usada en Modelaje.....	IV-16
Tabla IV-7 Química del Agua del Concentrado usado en Modelaje	IV-17
Tabla IV-8 Composición del Botadero para 5, 10 y 22 años (Cierre de la Mina) ..	IV-18

INDICE
(continúa)

	Página
Tabla IV-9 Influjos de los Componentes de la Presa de Relaves y Rebose de Decantación, Año Operacional Promedio	IV-24
Tabla IV-10 Calidad de Agua del Efluente Mensual Típico Predicho durante la Fase de Operación	IV-27
Tabla IV-11 Estaciones de Predicción de Calidad de Agua y las Estaciones de Monitoreo Correspondientes	IV-28
Tabla IV-12 Modelaje de la Química del Agua Receptora al Año 5	IV-29
Tabla IV-13 Modelaje de la Química del Agua Receptora al Año 10	IV-30
Tabla IV-14 Modelaje de la Química del Agua Receptora al Año 22	IV-31
Tabla IV-15 Modelaje de la Química del Agua Receptora después del Cierre	IV-32

FIGURAS

Figura IV-1 Evaluation of Water Quality	IV-4
Figura IV-2 Resultados del Balance Ácido de Base en la Prueba Metalúrgica	IV-9
Figura IV-3 Carga Relativa de Cobre Disuelto en los Botaderos	IV-21
Figura IV-4 Cargas Relativas de Zinc Disuelto en los Botaderos	IV-21
Figura IV-5 Influjos Netos de la Poza de Relaves	IV-25
Figura IV-6 Variación de la Química del Agua Receptora en el Modelo de 5 Años	IV-30

MAPAS

Mapa IV-1 Concentraciones Pronosticadas de Cobre
Mapa IV-2 Concentraciones Pronosticadas de Zinc

IV. MODELAJE DE CALIDAD DE AGUA

IV.1 Antecedentes y Objetivos

El Proyecto Antamina consiste en una operación a tajo abierto de 70,000 tpd cuya producción principal consiste en concentrados de cobre y zinc por flotación. En los 20 años previstos de vida de la mina, se extraerán aproximadamente 500 millones de toneladas de mineral y 1.4 miles de millones de roca de desmonte.

La roca de desmonte será colocada en tres áreas principales de almacenamiento: Botadero Norte, Sur y Este. La mayoría de la roca de desmonte es cal, que es considerada como consumidora de ácido y no como una fuente de metales lixiviables. En el cierre, la escorrentía de la roca de desmonte reactiva que tiene el potencial de oxidizar y liberar la acidez o los metales disueltos será tratada, según sea necesario, de manera que cumpla con los criterios de calidad de agua.

Durante la vida de la mina habrá pilas de almacenamiento de mineral de baja ley. Estas pilas de almacenamiento estarán ubicadas dentro del área del Botadero Sur donde se colecta el drenaje. El material de estas pilas de almacenamiento será procesado durante los últimos años de vida de la mina. Cualquier material residual apilado en el cierre será utilizado como relleno en el tajo final de la mina.

Los relaves serán almacenados en una instalación cuyo diseño proporcionará tanto almacenamiento de relaves como suministro de agua durante la operación. En el cierre, el área de relaves se mantendrá con una cubierta de agua para controlar la oxidación a largo plazo y la lixiviación de metales.

Para la evaluación de los impactos ambientales potenciales del Proyecto Antamina, se elaboró un modelo de balance de aguas y de balance de cargas para predecir la calidad de agua en el emplazamiento y en el ambiente receptor. La información obtenida de las pruebas de campo y en el laboratorio fue usada para predecir la química de aguas de las operaciones de la mina. Luego, la química de agua estimada para los diferentes componentes del Proyecto fue superimpuesta a la química de agua de la línea de base (es decir, actual o antes de la explotación) con el fin de estimar el cambio en los caudales, las concentraciones de los diferentes parámetros, y finalmente el impacto de estos cambios en el ambiente receptor. Estas predicciones mediante modelo fueron posteriormente empleadas en el diseño de los planes de manejo de desechos y agua del emplazamiento minero.

El objetivo de este trabajo es proporcionar bases técnicas para estimar la calidad potencial de agua en el emplazamiento minero de Antamina como resultado del desarrollo, operación y cierre. El estimado de calidad de agua se basa en una combinación de pruebas de laboratorio y planificación de manejo de mina y desechos.

Por lo tanto, los objetivos específicos son proporcionar información suficiente para evaluar:

- ☒ Aspectos potenciales de la calidad del agua;
- ☒ Sensibilidad de las predicciones;
- ☒ Sensibilidad del ambiente receptor;
- ☒ Planes de manejo de agua y desechos, incluyendo medidas de mitigación potenciales; e
- ☒ Impacto ambiental

En las siguientes secciones se describen los métodos usados para las predicciones y los resultados.

IV.2 Métodos e Información

IV.2.1 Enfoque de la predicción

La predicción de la calidad de agua para una mina propuesta se basa en una combinación de pruebas de laboratorio y extrapolación de esta información a las condiciones de campo. Se reconoce que estas predicciones intentan cuantificar los dos procesos naturales complejos que controlan la intemperización y geoquímica de las rocas y las futuras operaciones de una mina.

Así pues, el enfoque de la predicción se basa tanto en programas de prueba técnicos y detallados utilizando tecnología de punta, como en la experiencia y los criterios de riesgo y consecuencias. Además, en todas las etapas de la predicción las hipótesis empleadas son conservadoras, se evalúa la sensibilidad de cada supuesto, y se elaboran las estrategias de mitigación y contingencias.

Los programas de pruebas de laboratorio proporcionan información básica sobre las características geoquímicas de la roca y los relaves de mina. Esta información se combina con el plan de manejo de desechos para predecir la química de agua en el campo para cada componente de la mina (instalación de relaves, botadero de desmontes, entre otros). Ello define las cargas potenciales y las concentraciones para cada componente. Luego, estas cargas son incluidas en el balance hídrico total del emplazamiento para predecir la calidad de agua en el ambiente receptor.

En todo este proceso de predicción y evaluación del impacto ambiental, se dan iteraciones en las que el plan de manejo de agua o balance hídrico es modificado si la evaluación del impacto muestra que se producen efectos negativos inaceptables. Como

resultado, se pueden desarrollar planes de manejo de agua y desechos para operar la mina de una manera técnica y ambientalmente responsable.

Este enfoque general de la evaluación aparece graficado en la Figura IV—1. En las siguientes subsecciones se trata la recolección de información para los elementos de los recuadros de esta figura y los cálculos para los elementos en círculo en la figura. Los resultados de este trabajo son presentados en la Sección IV.10.

IV.3 Definición de Componentes

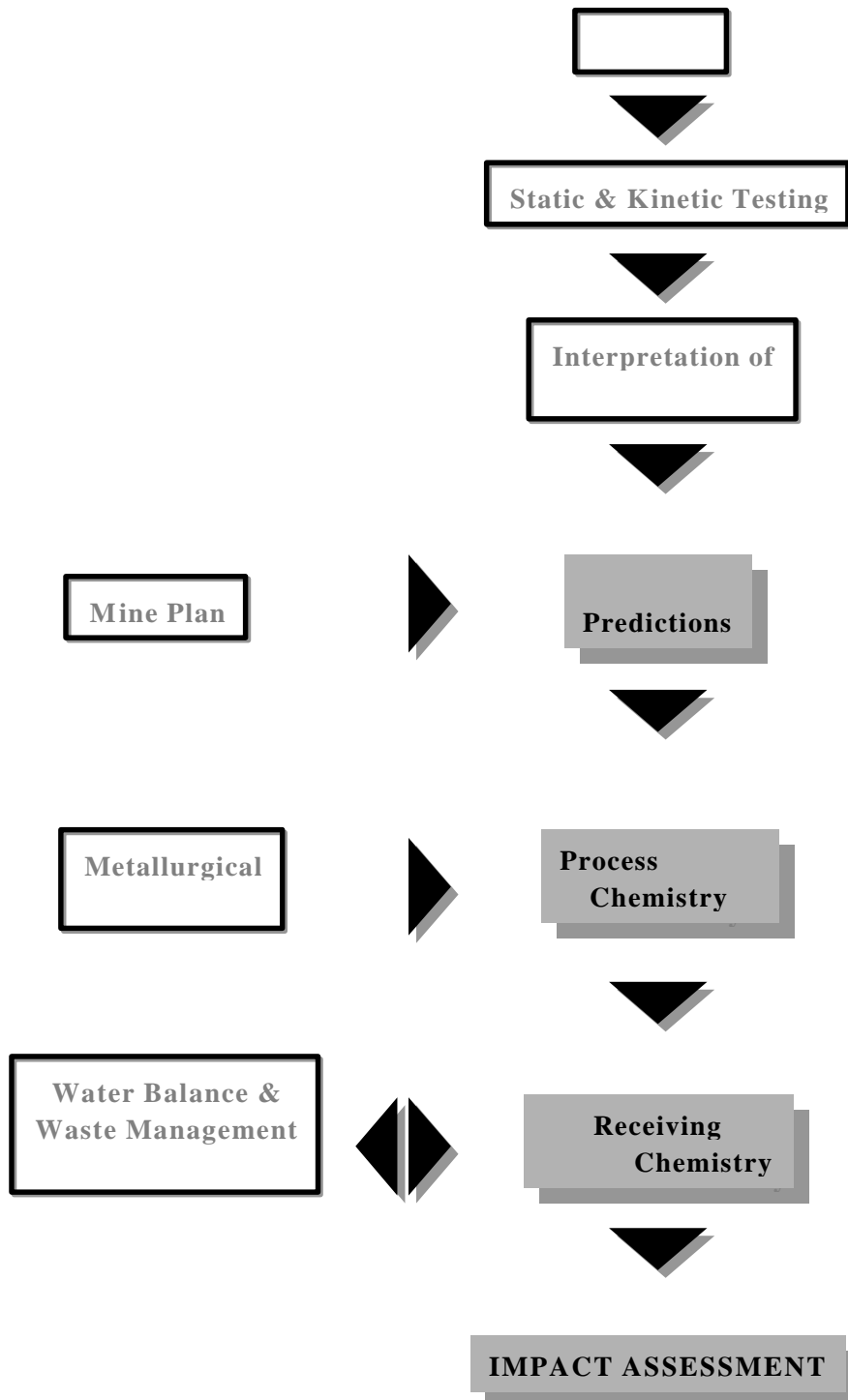
El Proyecto está compuesto de una serie de componentes con características físicas y químicas específicas: mina a tajo abierto, planta concentradora, instalaciones para los relaves, botaderos de desmontes e infraestructura (principalmente caminos). El informe principal contiene las descripciones del proyecto para cada uno de estos componentes.

Para la evaluación del impacto ambiental, los aspectos ambientales específicos de cada uno de estos componentes son caracterizados en los programas de prueba y de predicción. La caracterización de la geoquímica del tajo abierto y las pilas de roca (incluyendo los botaderos de desmontes y las pilas de almacenamiento) se realiza mediante pruebas estáticas y cinéticas de muestras de roca de la mina. La caracterización de los relaves se realiza mediante programas de prueba metalúrgica, y posteriores pruebas cinéticas y estáticas en las muestras de relaves generadas por los programas de pruebas metalúrgicas.

En la evaluación del potencial impacto ambiental relacionado con las pilas de roca, y en menor medida las paredes del tajo, los principales aspectos de la química de aguas que se deben tratar son:

- ☒ Sólidos suspendidos liberados por la voladura de roca o por su disposición en botaderos;
- ☒ Amonio proveniente de los agentes de voladura residuales;
- ☒ Lixiviación a corto plazo de productos solubles;
- ☒ Lixiviación de metales a un pH cercano a la neutralidad; y
- ☒ Drenaje ácido de roca.

Figura IV-1 Evaluation of Water Quality



últimos puntos referidos. El primero, el de los sólidos suspendidos, es tratado mediante el manejo de agua durante las operaciones. La mayor parte del desmonte

mínima de finos. Si la liberación de partículas es un problema durante la operación de los botaderos de piedra caliza, se pueden instalar zanjas de recolección y pozas de sedimentación. Para la parte este del Botadero Sur, que contiene la mayor parte de los intrusivos, skarn y material de cubierta, se puede recolectar el drenaje superficial como parte del programa de manejo de agua.

Para la evaluación de la química de agua del depósito de relaves, se trataron los siguientes puntos en el programa de predicción y pruebas:

- ☒ Química del agua de proceso relacionada con sólidos de relaves;
- ☒ Efecto del pH, del tiempo de la interacción de las aguas naturales y de proceso en el depósito de relaves;
- ☒ Lixiviación a largo plazo de metales a partir de los sólidos de relaves; y
- ☒ Drenaje ácido de roca (ARD) de los sólidos de los relaves.

IV.4 Geología de la Roca de la Mina

La geología detallada de la roca de la mina fue evaluada por el personal de geología de Antamina a partir de la amplia base de datos de exploración. En las muestras se analizaron el contenido de metales así como una serie de metales usando un equipo ICP (análisis usando plasma inductivamente acoplado). Las muestras para las pruebas geoquímicas ambientales fueron seleccionadas a partir del programa de perforación de exploración de manera que representaran el rango de contenidos de metales, álcalis y sulfuro de la roca de mina.

Sin embargo, se reconoce que habrá más muestras de mineral que de desmonte, pues éste es el objetivo del programa de perforación. Además, el programa de muestreo de las pruebas estáticas y cinéticas fue intencionalmente orientado hacia materiales que fueron considerados como representativos de un potencial problema para la calidad de agua –no muestras que claramente no tenían potencial para lixiviar metales o acidez.

El informe principal incluye una presentación de la geología de la zona. El Anexo V de este informe presenta la geología y mineralogía de las muestras trabajadas para la evaluación ambiental. Esta sección presenta las implicancias de la geología en las predicciones sobre calidad de agua.

El siguiente resumen de las características de la roca de desmonte ha sido realizado a partir del análisis de la base de datos de exploración que comprende 33,887 muestras de más de 97,500 m de testigo de perforación para determinar cómo las muestras probadas representan las cantidades relativas de desmonte esperadas de la mina.

Existen cuatro unidades de roca principales en el emplazamiento minero Antamina; piedra caliza, las intrusivas, el skarn y material de cubierta. El skarn está subdividido en el skarn “granate verde” y el skarn “granate marrón” de acuerdo a la composición mineral. El skarn granate verde tiende a la mineralización de zinc-cobre mientras que el granate marrón básicamente a la mineralización de cobre. El material de cubierta relacionado con el tajo abierto generalmente está compuesto de rocas de tipo skarn.

La roca intrusiva de desmonte contiene mineralización de molibdeno y cobre y, en menor medida, zinc y bismuto. A pesar de que el contenido de sulfuro es bajo comparado con muchos depósitos de metales comunes, el potencial de neutralización también es bajo, lo que da como resultado, a partir de la información de pruebas estáticas, una predicción en la que la mayor parte de las rocas intrusivas son potencialmente generadoras de ácido. Sin embargo, con la excepción de cobre, y en cierto grado de zinc, la mayoría de la roca intrusiva de desmonte contiene bajos niveles de metales. La lixiviación de zinc en condiciones casi neutras ha sido considerada en detalle. Aproximadamente 73% de las muestras de desmonte en la base de datos indican concentraciones de zinc de menos de 0.01% Zn. La operación y optimización del plan de minado probablemente darán como resultado que gran parte de la roca intrusiva de desmonte de cobre de mayor ley sea reclasificada como mineral y sea procesada durante la operación. Por lo tanto, en ausencia de generación neta de ácido, la oxidación de gran parte de la roca intrusiva de desmonte podría no representar una preocupación importante de calidad de agua en el campo.

Las muestras de roca empleadas para las pruebas cinéticas muestran bajas concentraciones de metal en comparación con el rango y promedio en la base de datos de zinc, cobre y sulfuro. Por lo tanto, en el modelaje predictivo de calidad de agua, se supone que las tasas de lixiviación de metal y de producción de las celdas húmedas son proporcionales a las concentraciones de sólidos. Si bien este es un supuesto conservador, se puede realizar más muestreo y pruebas para perfeccionar el estimado de calidad de agua. Más muestreo y pruebas, incluyendo información de campo, son necesarios para determinar qué proporción de las rocas intrusivas sería considerada “reactiva”, es decir, una fuente de metales disueltos y/o acidez a un nivel que podría representar un impacto ambiental negativo. A pesar de que las concentraciones de metal lixiviable son bajas, se reconoce que la carga total de las intrusivas puede representar un problema de la calidad de agua a largo plazo. En este momento, toda la roca intrusiva de desmonte es manejada como si fuera potencialmente reactiva y colocada en la parte este del Botadero Sur.

La base de datos de muestras del skarn indica que aproximadamente la mitad del skarn sería considerado como un generador potencial de ácido. Parte de este material puede ser reclasificado como de “baja ley” y procesado durante la operación en base a las leyes de cobre. Los metales potencialmente lixiviables relacionados con este tipo de roca comprenden el cobre, y en menor grado el zinc y el plomo. En el plan de manejo

ambiental de desechos, este material es considerado como potencialmente reactivo y manejado de acuerdo a esta consideración.

La piedra caliza es calcárea y consumidora de ácido. Las concentraciones de metal son bajas, con la excepción de ocurrencias aisladas de sulfuro en áreas adyacentes al skarn. Hasta la fecha no se han identificado problemas de calidad de agua asociadas con las calizas.

El diseño actual del tajo permite la remoción de la mayor parte de las rocas intrusivas, skarn, y material de cubierta, dejando básicamente la piedra caliza en las paredes de la mina. En la última elevación inundada de 4,215 m, la roca de la pared expuesta será 93% piedra caliza, 5.4% skarn y 1.4% intrusivas. Durante la operación, el agua del tajo será bombeada a la planta o al área de relaves, básicamente para el control de sedimentos y la remoción de cualquier contenido menor de metal disuelto causado por las operaciones mineras. Al cierre, la química del agua del tajo podría contener metales solubles y será tratada con adiciones de un álcali (cal) hasta lograr una química aceptable del agua de descarga.

IV.5 Geoquímica

IV.5.1 Roca de mina

Se aplicaron programas de pruebas estáticas y cinéticas a muestras de roca de desmonte y mineral de baja ley proporcionadas por los geólogos del lugar. Los resultados de las pruebas pueden usarse por lo tanto para representar la geoquímica de la roca de desmonte, las pilas de almacenamiento de mineral y las rocas expuestas en los bancos de las paredes del tajo abierto. Estos programas de prueba se presentan en detalle en el Anexo V. A continuación se resume la información empleada para la predicción de la química de agua de campo.

Se seleccionaron cuatro muestras para las pruebas cinéticas de roca de mina en base a los resultados de las pruebas estáticas. Las muestras fueron seleccionadas de manera que representen las principales unidades de roca consideradas como con potencial para generar acidez o lixiviar metales, tal como se indica en el Anexo V. Por lo tanto, se seleccionaron las muestras de:

- ☒ Skarn de granate marrón;
- ☒ Skarn de granate verde; y
- ☒ Dos muestras de rocas intrusivas.

Las pruebas cinéticas se realizaron usando celdas húmedas convencionales (Sobek) para evaluar las tasas de oxidación y el potencial de lixiviación de metal.

Semanalmente se enjuagaba las muestras de roca con agua para eliminar los productos de oxidación almacenados y luego se analizaba para una serie de metales e iones importantes, tal como se indica en el Anexo V. Luego se hicieron los cálculos de la masa de cada parámetro (generalmente metales y sulfatos) liberados semanalmente. Esto se describe como “tasa de producción” de cada celda húmeda. Las tasas de producción calculadas en la semana 22 del programa de prueba de celdas húmedas empleadas para estas predicciones de calidad de agua, se presentan en la Tabla IV-1.

Tabla IV-1 Proporciones de Producción en la Celda de Humedad

Celda de Humedad Tipo de Roca	(monzonita)	(monzonita)	skarn granate)	(verde
Descarga	0.4		0.7	
Final	6.9		12.4	
mg/kg/wk	6.3		23.6	
As	0.013	0.013	0.013	0.013
	<	0.001		0.001
	<	<	<	<
Fe	0.251	0.252	0.254	0.256
	<	<	<	<
Mn		0.019		0.118
	0.035		0.010	0.003
	<	<	<	<
Zn		0.028		0.059

“<” indica que una o más muestras estuvieron al menos en el límite de detección.

cálculos.

5 Relaves

☑

neutrales;

El potencial de generación neta de ácidos y lixiviación de metal en

☑

de ácido. Esta evaluación permitirá el diseño de medidas de control a

cubierta de agua propuesta proporcionará este control. Es generalmente aceptado en la industria de la minería que el control más efectivo de la oxidación y la generación neta mediante la construcción de una laguna de decantación con retención de agua que permite lograr condiciones de inundación.

que hay algunas playas en la periferia de los relaves. Estas playas serán expuestas por períodos cortos de tiempo con relaves alcalinos frescos que se agreguen ácidos en los relaves durante la operación.

Los resultados de las pruebas cinéticas han sido empleados para estimar las cargas condiciones casi neutras en los 0.5 m superiores. A manera de comparación, los cálculos teóricos de tasa de oxidación y lixiviación se realizaron usando tasas de las pruebas de las celdas húmedas. Estas cargas fueron incluidas en el modelaje de la química de agua para el depósito de relaves. La tasa de producción de zinc ²/año proporcional a la cinéticas indica que las tasas de producción de molibdeno serían similares a las de zinc. La disolución de cobre es restringida por las limitaciones de pH/solubilidad y producción de cobre son bajas en las celdas húmedas con un valor estimado de 5 mg/m /año. En el modelaje de calidad de agua se empleó el límite superior de las tasas de producción. Las evaluaciones de sensibilidad mostraron que el tamaño de las descarga de relaves.

IV. Pruebas Metalúrgicas

La química de las aguas que cubrirá el depósito de relaves estará determinada mayor afluente al área de relaves en términos tanto de caudal como de carga química. La calidad de agua del depósito de relaves estará determinada por las condiciones del relaves. La siguiente sección describe las pruebas metalúrgicas que se usaron como base para la predicción de la calidad de agua del depósito de relaves.

6.1

Se realizó un amplio programa de pruebas metalúrgicas en las muestras de mineral de Antamina, incluyendo pruebas a escala piloto y prueba en banco. La mayoría de las

la planta piloto, pues esta prueba a escala más grande es la más representativa de las futuras operaciones de la mina. Se realizaron un total de 37 pruebas de la planta piloto en muestras de mineral de cobre y zinc-cobre.

Las pruebas de la planta piloto se emplearon para evaluar las condiciones de procesos alternativos; la adición de reactivos, trituración, tiempo de permanencia, entre otros. En cada una de estas pruebas, se analizaron las características de los sólidos y de la solución. Los sólidos analizados incluían tanto concentrados como relaves. Del total de 37 pruebas realizadas en la planta piloto, cuatro fueron seleccionadas como las más representativas de la opción preferida del diagrama de flujo del proceso metalúrgico, de las características del mineral, y del rango estimado de características de la química de agua. Se realizó un trabajo analítico más detallado en los productos de estas cuatro pruebas, denominadas PP (por planta piloto) 8 y 18 de mineral de cobre, y PP26 y 29 de mineral de zinc y cobre. Las muestras de los relaves de estas pruebas de planta piloto también se usaron para la caracterización geotécnica para el diseño de la instalación de relaves.

Los sólidos de relaves y, cuando fue aplicable, de concentrados fueron analizados y sometidos a prueba revisando los siguientes aspectos:

- ☒ Análisis de tamaño de partículas, peso unitario, gravedad específica y conductividad hidráulica;
- ☒ Difusión y consumo de oxígeno;
- ☒ Curvas características de agua en el suelo;
- ☒ Metales por ICP y roca completa;
- ☒ Prueba Balance Acido Base (BAB) y potencial de generación neta de ácidos (GNA);
- ☒ Extracción de corto plazo; y,
- ☒ Características de sedimentación y la correspondiente química de aguas a intervalos a lo largo del período de prueba de 48 horas.

Además, tres de las muestras de sólidos de relaves fueron incluidos en el programa de pruebas cinéticas tratado anteriormente.

También se incluyeron en el programa de pruebas ambientales de las muestras metalúrgicas los análisis de las soluciones de relaves (tanto para los relaves frescos como para los relaves que fueron almacenados y que se dejaron envejecer) y el agua de concentrado para determinar:

Una serie de metales totales y disueltos;

☑

☑ Especies de cianuro y de sulfuro (tiosales):

Nutrientes; y

☑

Esta información fue la base para la predicción de la química de aguas de la laguna de

Los parámetros y límites de detección usados para la caracterización de la química de aguas se detallan en las Tablas IV-2, IV-3, y IV-4. Los métodos analíticos y revisiones

Tabla -2

Azufre

Especies de Azufre	mg/L
S	0.005
S	0.02
SO ²⁻	0.5
₂ O ²⁻	0.2
₄ O ²⁻	0.2
₃ ²⁻	
SCN ⁻	0.01
Tiosales Totales	

Tabla -3

Características Físicas y Químicas	Límites de Detección
Conductividad	± 0.1 unidades
Total de Sólidos Suspendidos (TSS)	1.0 µmhos/cm
Total de Sólidos Disueltos (TDS)	1 mg/L
Alcalinidad Total (como CaCO ₃)	1.0 mg/L

Características Físicas y Químicas	Límites de Detección
Dureza Total (como CaCO ₃)	1.0 mg/L
Acidez Total (como CaCO ₃)	1.0 mg/L
Carbonato (como CO ₃)	1.0 mg/L
Bicarbonato (como HCO ₃)	1.0 mg/L
Cianuro (Total)	0.01 mg/L
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ +NH ₄ as N)	0.1 mg/L
Ortofosfato (como P)	0.03 mg/L
Fosfato (total como P ₂ O ₅)	0.03 mg/L
Fósforo (elemental)	0.0005 mg/L

Aniones	Límites de Detección
Fluoruro	0.01 mg/L
Cloro	0.2 mg/L
NO ₃ (como N)	0.005 mg/L
NO ₂ (como N)	0.006 mg/L
NO ₃ + NO ₂ (como N)	0.01 mg/L

Tabla IV-4 Química del Agua: Análisis de Metales Totales y Disueltos (por ICP)

Parámetro	Límites de Detección (mg/L)	Parámetro	Límites de Detección (mg/L)
Aluminio	0.005	Hierro	0.001
Arsénico (inorgánico)	0.01	Magnesio	0.01
Antimonio	0.005	Manganeso	0.001
Azufre	0.005	Mercurio	0.0001
Bario	0.01	Molibdeno	0.002
Berilio	0.0002	Níquel	0.001
Bismuto	0.02	Plata	0.001
Boro	0.01	Plomo	0.005
Cadmio	0.0005	Potasio	0.2
Calcio	0.005	Selenio	0.01
Cromo	0.001	Silicio	0.02
Cobalto	0.001	Sodio	0.02
Cobre	0.001	Uranio	0.00005
Estaño	0.0005	Vanadio	0.001
Estroncio	0.0001	Zinc	0.001

Tabla IV-5 Revisiones de Calidad por otros Métodos Analíticos y en Laboratorio

Análisis de Sólidos	Técnicas o Métodos Analíticos	Abreviación.	Revisión por Otros Métodos	Revisión de Laboratorio Interno
Metales Totales	Plasma Inductivamente Acoplado Espectroscopía de Emisión Óptica	ICP-OES	XRF	Sí
Metales Totales	Fluorescencia de Rayos X	XRF	ICP-OES	Sí
Metales Totales	Análisis de Roca	WR (by XRF)	ICP-OES	Sí
Análisis Líquido	Técnica o Método Analítico	Abreviación.	Revisión de Lab. Externos ICP-MS	Nombre del Laboratorio Externo
Metales Disueltos	Plasma Inductivamente Acoplado Espectroscopía de Emisión Óptica	ICP-USN	23.0%	ASL

Los análisis detallados presentados anteriormente fueron realizados para las pruebas seleccionadas de la planta piloto y fueron empleados en etapas iniciales de evaluación del impacto. A partir de esta información, se seleccionaron los parámetros claves para un modelaje de calidad de agua más detallado. Estos parámetros comprenden todos los parámetros por los cuales hay lineamientos o criterios para los efluentes o para los cuerpos receptores y cualquier parámetro adicional útil en la evaluación del impacto, por ejemplo, dureza o nutrientes.

IV.6.2 Información para el Modelaje de Calidad de Agua

En la extrapolación de la información desde el laboratorio a las condiciones de campo, hay pocas variables que afectan la química del agua del depósito, básicamente:

- ☒ reactivos;
- ☒ envejecimiento en el depósito de relaves y los efectos concurrentes de oxidación de
 - tiosales cuyos resultados de prueba indican que disminuirá aún más las bajas concentraciones de tiosal en el tiempo,
 - degradación del cianuro, lo cual contribuirá a reducir aún más las bajas concentraciones de cianuro a través del tiempo,
 - reacciones de disolución y precipitación, y
- ☒ Características del mineral en términos de mineralogía y ley.

Las pruebas tratan cada una de estas variables. La serie de reactivos empleada es coherente con el rango de minerales que serán procesados y fue elaborada y

optimizada en una prueba de la planta piloto. Las pruebas seleccionadas de laboratorio representan de manera más estrecha las condiciones planificadas del diagrama de flujo en base a las pruebas hasta la fecha.

Las muestras fueron recolectadas de muestras de pulpa de relaves frescos y envejecidos para evaluar los cambios en la calidad de agua en el tiempo en el depósito de relaves. Si bien se reconoce que las condiciones de laboratorio no son las mismas que en el depósito de relaves, las condiciones de laboratorio tenderán a favorecer la disolución de metal y las reacciones de oxidación debido a las temperaturas más templadas, y por lo tanto, a proporcionar un estimado conservador de la calidad de agua. Los resultados de las pruebas de laboratorio indican que, en el corto plazo, las concentraciones de algunos metales como el zinc disuelto son más altas a valores de pH de 11 o más. Los resultados de las pruebas de campo indican que las concentraciones de metales también pueden aumentar si los valores de pH disminuyen a valores menores que pH 7.5. Ello es compatible con nuestro conocimiento geoquímico de controles de pH en la solubilidad de metales. El plan actual de manejo de desechos comprende una disposición para el control de pH de relaves en la planta o punto de descarga, para minimizar la solubilidad del metal. En este momento, se planea controlar el pH a 9. De esta forma, las proyecciones de calidad de agua en el campo se basan en las muestras más conservadoras de los relaves “frescos” producidas en las pruebas metalúrgicas en las que no hubo beneficio de la reducción de pH natural a partir de un valor generalmente mayor que pH 11 (pH final de condición de prueba) al pH 8 a 9, en el cual el cobre es menos soluble y donde se presenta poca degradación de tiosal o cianuro.

Se aplicaron pruebas en banco a un rango de minerales esperados y, en la mayoría, las características de la adición del reactivo y la solución de relaves eran similares. El potencial de generación de ácido de los sólidos varió con el contenido de sulfuro de las muestras de mineral, tal como se presenta en la Sección IV.6 anterior. Las pruebas de la planta piloto PP8, PP18, PP26 y PP29 fueron seleccionadas con el fin de representar el rango esperado de calidad de agua de los minerales, en base a las pruebas metalúrgicas. La excepción podría ser el procesamiento de la menor cantidad de mineral parcialmente oxidado, que representa menos del 1% del total de mineral y para los cuales se requiere de pruebas adicionales para fines metalúrgicos.

Además, existen otras condiciones cuyas pruebas mostraron tener un menor efecto en la química de aguas y/o que requieren información operacional para realizar las cuantificaciones. Para estas variables, se seleccionaron los casos más conservadores para las predicciones, tal como se indica a continuación:

- ▣ Variabilidad entre pruebas y operaciones –generalmente la prueba piloto empleada aquí es la más representativa de las operaciones, pero se incluyen contingencias para detener la descarga del efluente en

ocasiones cuando la química del agua no cumple con los límites de efluentes.

- ☒ Molido –es relativamente grueso, y no afecta la química de aguas; y
- ☒ Sedimentación, pH – mejorará la química de aguas reduciendo los sólidos en suspensión.

La información obtenida de los programas de prueba de laboratorio que fue usada como información inicial para el modelaje de calidad de agua se presenta de manera resumida en las Tabla IV-6 y Tabla IV-7. Estas tablas indican la química de aguas de los relaves para los minerales de cobre y zinc-cobre, y química de agua de concentrado para concentrados más limpios de zinc y cobre, respectivamente. Estas tablas resumen los análisis más detallados descritos en la sección anterior.

Tabla IV-6 Aguas de Relaves usada en Modelaje

Parámetros (Mg/L Diss.)	Cobre	Cobre Zinc
pH (unidades)	11.7	~10
bismuto	0.002	0.001
calcio	221	252
cobre	0.049	0.006
hierro	0.021	0.062
plomo	0.004	0.003
molibdeno	0.251	0.055
zinc	0.085	0.016
amonio	0.595	0.595
cianuro (total)	<0.01	<0.01
sulfuro	222	337

El filtrado del concentrado de zinc y cobre liberado a los relaves es modelado con la química que se indica en la Tabla IV-7, y también de las pruebas de la planta piloto 8, 18, 26 y 29.

Al cierre, los relaves serán inundados. Ello prevendrá la oxidación a largo plazo y los mecanismos de lixiviación. Con el tiempo, el agua del depósito será reemplazada con agua fresca, y la química de aguas del depósito se acercará a los valores naturales.

Tabla IV-7 Química del Agua del Concentrado usado en Modelaje

Parámetro	Agua con Concentraciones de Cobre (mg/L diss.)	Agua con Concentraciones de Zinc (mg/L diss.)
bismuto	0.011	0.011
cobre	0.79	0.002
hierro	17	0.05
plomo	0.006	0.014
molibdeno	0.064	0.015
zinc	0.039	1.01
amonio	0.8	0.01
cianuro (total)	2.7	0.01
sulfuro	124	509

IV.7 Cálculos

IV.7.1 Planificación de la mina

Como parte de la planificación de la mina, se elaboraron cronogramas anuales para la producción de roca de desmonte y pilas de almacenamiento. El período programado de minado de mineral es aproximadamente 20 años, con un período de preproducción de 2 años.

Las pilas de roca de mina comprenden:

- ☒ Botadero Norte, con 180 millones de toneladas de piedra caliza;
- ☒ Parte occidental del Botadero Sur, con aproximadamente 104 millones de toneladas de piedra caliza;
- ☒ Parte oriental del Botadero Sur, con aproximadamente 187 millones de toneladas de rocas intrusivas, 119 millones de toneladas de skarn, y 9 millones de toneladas de material de cubierta;
- ☒ Botadero Este, con aproximadamente 661 millones de toneladas de piedra caliza con menor cantidad de roca intrusiva y skarn; y
- ☒ Una pila de almacenamiento de mineral parcialmente intemperizada, con 3.6 millones de toneladas de skarn intemperizado y menor cantidad de rocas intrusivas.

La composición de cada botadero de rocas, para los años de modelaje seleccionados, se indica en la Tabla IV-8.

Tabla IV-8 Composición del Botadero para 5, 10 y 22 años (Cierre de la Mina)

Botadero	Tonelaje Acumulado por Tipo de Roca (x1000) 5 años (1999-2003)				Total
	Intrusivo	Skarn	Caliza	Material de Cubierta	
Botadero Este	1,706	6,777	232,494	37	241,014
Botadero Norte	-	-	-	-	-
Botadero Sur (parte oeste)	-	-	15,030	-	15,030
Botadero Sur (parte este)	29,846	35,407	-	6,454	71,707
Pila de Mineral Meteorizado	-	2,346	-	-	2,346
Pila de Mineral de Baja Ley	-	11,819	-	-	11,819
Berma del Pie	-	-	9,543	-	9,543
Caminos	-	-	22,301	-	22,301
Presa de Relaves	-	-	28,410	-	28,410
TOTAL	31,552	56,349	307,778	6,491	402,170
Botadero	Tonelaje Acumulado por Tipo de Roca (x1000) 10 años (1999-2009)				Total
	Intrusivo	Skarn	Caliza	Material de Cubierta	
Botadero Este	1,706	6,777	409,187	37	417,707
Botadero Norte	-	2,245	178,122	-	180,367
Botadero Sur (parte oeste)	-	-	21,475	-	21,475
Botadero Sur (parte este)	79,771	63,411	-	7,508	150,690
Pila de Mineral Meteorizado	-	3,569	-	-	3,569
Pila de Mineral de Baja Ley	-	49,131	-	-	49,131
Berma del Pie	-	-	9,543	-	9,543
Caminos	-	-	22,301	-	22,301
Presa de Relaves	-	-	37,395	-	37,395
TOTAL	81,477	125,133	678,023	7,545	892,178
Botadero	Tonelaje Acumulado por Tipo de Roca (x1000) 22 años (1999-2020)				Total
	Intrusivo	Skarn	Caliza	Material de Cubierta	
Botadero Este	1,706	6,777	660,797	37	669,317
Botadero Norte	-	2,245	178,122	-	180,367
Botadero Sur (parte oeste)	-	-	104,009	-	104,009
Botadero Sur (parte este)	187,153	119,825	-	8,963	315,941
Pila de Mineral Meteorizado	-	3,659	-	-	3,659
Pila de Mineral de Baja Ley	-	0	-	-	0
Berma del Pie	-	-	9,543	-	9,543
Caminos	-	-	22,301	-	22,301
Presa de Relaves	-	-	57,028	-	57,028
TOTAL	188,859	132,506	1,031,800	9,000	1,362,165

IV.8 Cargas de los Botaderos de Desmorte

Se reconoce que la predicción de la química de aguas de los botaderos de desmorte en base a las pruebas de celdas húmedas en laboratorio no son una ciencia exacta. Estas predicciones generalmente son objeto de abundante investigación en la comunidad técnica. El enfoque que se emplea en el documento es un enfoque semi-empírico que combina los principios teóricos de los controles geoquímicos y físicos en pilas de roca, con experiencia en los emplazamientos mineros cerrados y en operación en todo el mundo.

El enfoque descrito a continuación es conservador en términos de supuestos y está orientado a proporcionar una base razonable para identificar problemas potenciales de calidad de agua, unidades de roca de desmorte con problemas potenciales y requerimientos a largo plazo para las medidas de control. A partir de estas predicciones, se elaboró un plan de manejo de desmontes que cubriría todos los materiales potencialmente reactivos. Las predicciones de calidad de agua son una herramienta para elaborar planes de manejo de desmontes; no constituyen una predicción exacta de la química de aguas en el campo en todos los puntos del espacio y tiempo.

Durante la operación, la información de campo se usará para calibrar estos cálculos y perfeccionar las predicciones de calidad de agua de campo. Se espera que los valores de campo medidos, especialmente en las filtraciones individuales, sean diferentes a los valores simples empleados en este documento. Sin embargo, es la clave para reconocer que el plan de manejo de desechos que ha sido elaborado contempla contingencias para controlar la roca de desmorte potencialmente reactiva durante la operación y el cierre. La información geológica y de química de agua en campo durante la operación será empleada para perfeccionar las cantidades estimadas de roca potencialmente reactiva.

La información de laboratorio presentada en la Sección 4.4.1 anterior fue extrapolada a las tasas de producción de campo empleando una serie de cálculos, tal como se describe a continuación:

- ☒ La información de pruebas cinéticas fue empleada para elaborar una tasa de producción de laboratorio (tratada anteriormente).
- ☒ La tasa de producción en el laboratorio fue corregida a temperaturas de campo más bajas –aproximadamente 35% de la tasa de laboratorio.

- ☒ La tasa de producción fue ajustada en términos del contenido de metal en sólidos, empleando el supuesto conservador de que un mayor contenido de metal corresponde directamente a mayores tasas de producción.
- ☒ El plan de minado fue luego empleado para determinar la composición de cada botadero en diferentes períodos de explotación.
- ☒ Para calcular la tasa de producción de campo, considerando las características físicas de la roca de desmonte en el campo en comparación con el laboratorio, se aplicaron los factores para representar el área de superficie de roca total.
- ☒ La carga total de cada unidad también se vería afectada por el área de superficie de roca enjuagada con agua de percolación – generalmente entre 5% para el caudal canalizado en roca gruesa, hasta 25 a 50% de la superficie total para el área de material más fino. Para roca gruesa, se usa un valor razonablemente conservador del 15%.
- ☒ Las tasas de producción en campo calculadas fueron posteriormente aplicadas a cada tipo de roca, en cada botadero, para calcular la carga total.

Las cargas relativas de cada uno de los botaderos de desmonte y pilas de almacenamiento, en el último año de operación, se indican gráficamente en las Figuras IV-3 y IV-4 para el cobre y el zinc, respectivamente.

Estas cargas fueron luego incorporadas al balance de cargas para hacer un estimado de la química del agua de drenaje para cada botadero, tal como se presenta a continuación.

IV.9 Balance Hídrico y Balance de Carga

IV.9.1 Generalidades

La evaluación de la química de aguas del emplazamiento es uno de los componentes claves en la evaluación de los impactos ambientales del proyecto minero propuesto, tanto durante la operación como después del cierre. La evaluación de la química de aguas comprende la medición de las condiciones previas a la explotación y a la predicción del caudal y la química de los diferentes componentes de la mina.

La hidrología y la química de aguas de la línea de base han sido monitoreadas en el emplazamiento minero de Antamina y el área colindante desde agosto de 1996. Esta información se resume en la sección de Condiciones Ambientales del EIA (Sección 4.1). La información de las pruebas de campo y de laboratorio fueron usadas para

predecir la química de aguas a partir de las operaciones mineras. La química de aguas estimada para los diferentes componentes de la mina fue luego superpuesta a la química de aguas de la línea de base (es decir, actual, o previa a la explotación) para estimar el cambio en los caudales, las concentraciones de los parámetros y finalmente el impacto de estos cambios en el ambiente receptor.

Figura IV-3 Carga Relativa de Cobre Disuelto en los Botaderos

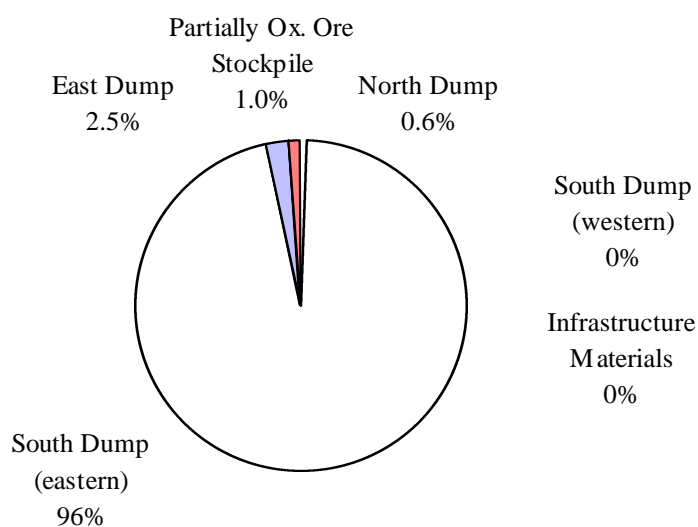
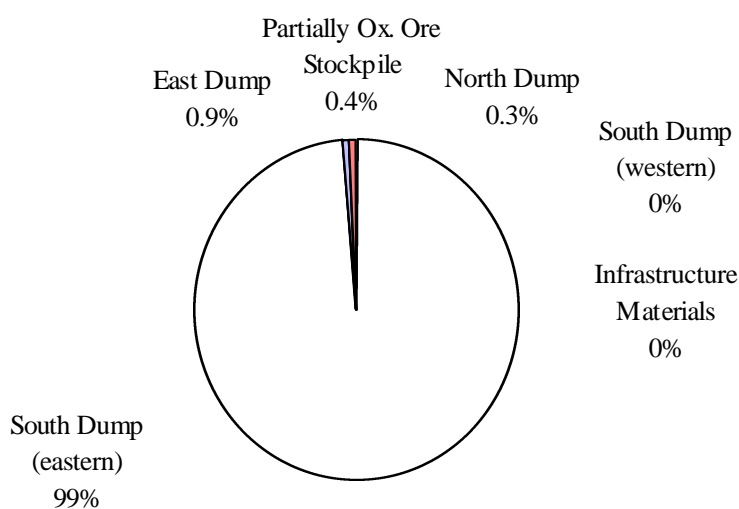


Figura IV-4 Cargas Relativa de Zinc Disuelto en los Botaderos



Los cálculos del cambio en la química de aguas fueron realizados empleando un simple modelo de carga en término de masa (con frecuencia denominado modelo de dilución). Tal como lo indica el nombre, éste es un modelo conservador en la medida que se basa solamente en la mezcla y la dilución. En esta etapa de las evaluaciones, no se asume ningún beneficio de las reacciones geoquímicas que pueda atenuar y mejorar la calidad de agua -reacciones de neutralización, precipitación química y degradación natural. Si bien se reconoce que estos mecanismos se producen en diferentes grados, ninguno ha sido probado directamente para este proyecto. Así pues, el enfoque de modelaje de dilución es de alguna forma conservador pero es razonable como base para el diseño, hasta contar con información de campo para calibrar el modelo.

Existen dos componentes para el modelo de carga de masa, a saber :

- ☒ el balance hídrico sobre el que se basan los caudales; y
- ☒ las concentraciones químicas y/o cargas sobre las cuales se calcula la carga (contaminante) química.

La estructura del modelo se trata en la siguiente sección. La información inicial y los supuestos para el modelo se trataron anteriormente y se resumen de la siguiente manera:

- ☒ el Botadero Sur y el Botadero Norte están ubicados en la cuenca colectora de la Quebrada Canrash;
- ☒ el Botadero Este y el depósito de relaves están ubicadas en la cuenca hidrográfica de la Quebrada Ayash;
- ☒ existe drenaje desde la roca de mina, incluyendo las pilas de almacenamiento y las pilas de roca de desmonte, hacia el agua subterránea y superficial;
- ☒ el drenaje superficial de la sección oriental del Botadero Sur es captado y tratado;
- ☒ la química de aguas estimada para estas pilas de rocas se basa en la extrapolación de la información de las pruebas de laboratorio y planificación de la mina;
- ☒ existe una descarga controlada hacia el agua superficial del efluente del depósito de relaves basada en la hidrología en el ambiente receptor y la química de aguas en la instalación de almacenamiento de relaves;

- ☒ existe control del pH de la descarga de relaves hacia el depósito para minimizar la disolución y solubilidad de metales;
- ☒ existe un sistema de recolección de filtración de agua subterránea en la base de la presa de relaves;
- ☒ el agua es bombeada del tajo abierto a la planta o los relaves; no es descargada directamente;
- ☒ la esorrentía de la planta es recolectada y enviada por una tubería al depósito de relaves; y
- ☒ el agua de proceso es descargada al depósito de relaves incluyendo tanto el agua de relaves como el filtrado de los concentrados de zinc y cobre, con la composición química presentada anteriormente.

Gran parte del agua del emplazamiento que es potencialmente afectado por las operaciones mineras es bombeado al depósito de relaves o posiblemente un circuito de tratamiento, en vez de ser descargado directamente al ambiente receptor.

IV.9.2 Estructura del Modelo

La calidad de agua se modela con un simple modelo de dilución en hoja de cálculos que combina el balance hídrico para el emplazamiento con la química de aguas estimada de cada uno de los componentes de la mina. El enfoque para el modelaje en esta etapa es relativamente conservador en tanto se asume que:

- ☒ la calidad de agua se basa en la mezcla de las cargas de los diferentes parámetros modelados;
- ☒ no se asume mitigación de la mezcla de los diferentes cursos de agua; es decir, no existe eliminación de metales o acidez/alcalinidad debido a la modificación del pH o a las reacciones de atenuación ; y
- ☒ no existe supuesto de atenuación del caudal o de los metales en el ambiente receptor.

El modelo de calidad de agua es una planilla en Excel compuesto de 16 hojas de trabajo enlazadas. Cada hoja de trabajo calcula el balance hídrico y la calidad de agua en un componente específico del área de la mina, como el Botadero de Desmonte Sur, Quebrada Antamina, el depósito de relaves. Los caudales promedio mensuales fueron calculados en base a los estimados de caudal unitario mensual de la Sección 4.1.8. Los aportes de agua subterránea a los caudales se basaron en los estimados descritos

en el Anexo M-III. Las cargas de contaminantes fueron derivadas tal como se indicó en este Anexo.

El modelo del sistema de recolección de filtración de agua subterránea está diseñado en la base de la presa de relaves. Se asume que la filtración del depósito de relaves aumenta con la elevación de la laguna durante toda la vida de la mina, de 60 L/s en los primeros años del proyecto, a 1050L/s en el año 22. Durante este período, se estima que el volumen del agua subterránea derivada de otras fuentes de infiltración disponibles para ser bombeada desde la base de la presa se mantiene estable en 200 L/s. El sistema de recolección de filtración está diseñado para devolver a la laguna un volumen equivalente a aquel que sale del sistema debido a las filtraciones para evitar la pérdida del volumen neto de agua en el depósito de relaves. Dado que el volumen de la filtración contaminada aumenta mientras el volumen de agua subterránea fresca permanece fijo a lo largo de la vida de la mina, existe mayor dilución en los primeros años que en los últimos años. Por lo tanto, hay mayor proporción de filtración contaminada bombeada de regreso hacia la laguna en los últimos años de vida del proyecto.

En el área del Botadero Sur, la carga modelada del botadero es dividida entre la escorrentía, que se asume es recolectada y tratada, y el componente de recarga del agua subterránea, que se asume emerge como caudal de base a AN-70 (estación de predicción de calidad de agua). La tasa de infiltración en el Botadero Sur ha sido calculada como 9.6 L/s/km². De la precipitación media anual de 1,550 mm, 47% se calcula como escorrentía, y 20% como filtración, con la pérdida de balance para la evapotranspiración. La escorrentía mensual calculada es proporcional a la precipitación mensual, mientras que la tasa de filtración es estable en todo el año; por lo tanto, durante la temporada seca, existe un mayor caudal de base en AN-70 que la precipitación.

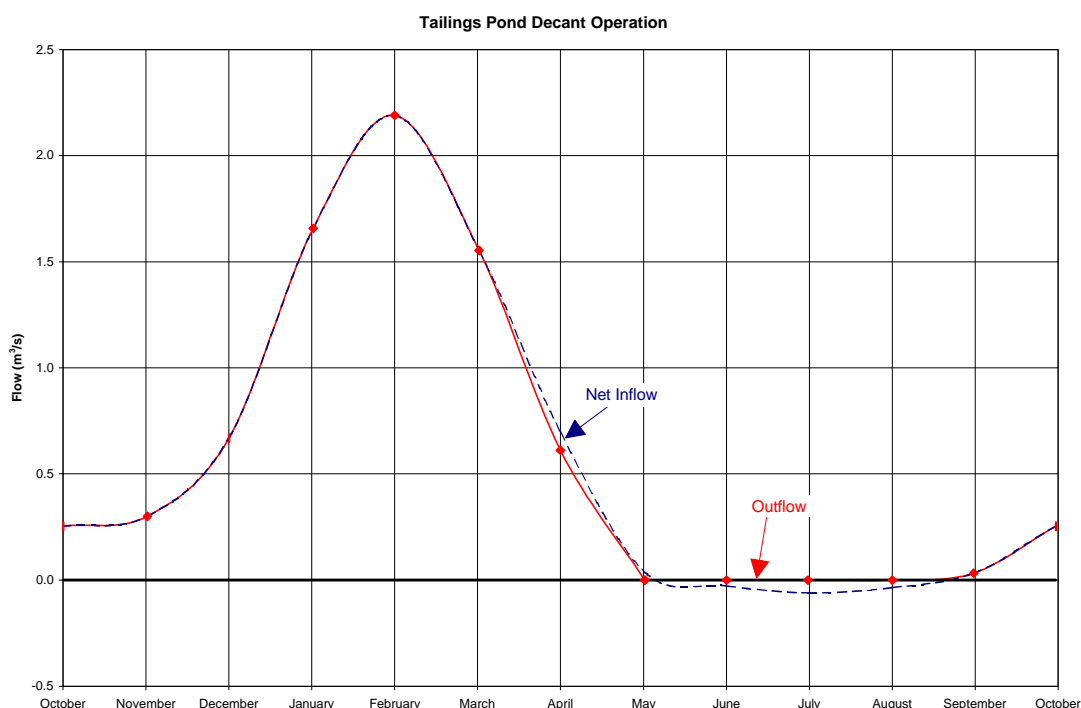
La Tabla IV-9 muestra que los componentes del caudal afluente al depósito de relaves y el efluente de decantación para un año promedio. La Figura IV-5 ilustra la operación de decantación del depósito de relaves durante un año promedio. De setiembre a marzo el caudal afluente es igual al caudal efluente. En abril y mayo, existe un caudal afluente neto positivo, y de junio a agosto, el caudal afluente neto es negativo. De esta forma, el depósito opera de manera que se almacena el agua suficiente en abril y mayo para compensar un potencial déficit de agua en la temporada seca. Más aún, las descargas de agua de decantación son reducidas en la temporada seca para reducir los efectos negativos potenciales aguas abajo.

Tabla IV-9 Influjos de los Componentes de la Presa de Relaves y Rebose de Decantación, Año Operacional Promedio

	Volumen (millón m ³)
Influjos Naturales	13.0

Botadero	5.4
Concentradora	58.0
Mina	4.6
Filtración Recirculada	9.5
TOTAL	90.5
Decantación	18.8

Figura IV-5 Influjo Neto de la Poza de Relaves



IV.10 Resultados

Las dificultades inherentes a la medición y predicción del caudal físico y las características (geo)químicas de los sistemas naturales complejos son bastante conocidas. La información de campo no es continua en el tiempo, como no es instantánea la generación y transporte de contaminantes. La información de pruebas de laboratorio puede ser extrapolada a las condiciones de campo basadas en el conocimiento actual de la geología del emplazamiento y el plan de minado que, se reconoce, será perfeccionado conforme avance la explotación. Además, la intemperización de la roca de mina en el tiempo comprende un rango completo de reacciones geoquímicas e interacciones que también cambian en el tiempo. En todos los casos, por lo tanto, las predicciones químicas y de caudales se basan en procedimientos de estimación, y pruebas rigurosas y prácticas que son coherentes con la ingeniería y las buenas prácticas científicas. Se usaron análisis de sensibilidad para revisar los supuestos y estimados usados en todo el proceso.

Por lo tanto, se pone énfasis en que las predicciones de la química de las aguas representan los mejores estimados que pueden obtenerse actualmente, considerando la información disponible y el estado de las prácticas en la industria. Sin embargo, también se debe reconocer que predecir la química de agua de todo el emplazamiento por muchos años no es una ciencia exacta, especialmente en lo que respecta al nivel de concentración necesaria para la evaluación del impacto ambiental. Lo que es crítico, sin embargo, es que estas predicciones del modelo han sido usadas para identificar las principales fuentes potenciales de efectos negativos, los requerimientos de ingeniería adecuada y de medidas de monitoreo, y las medidas alternativas de diseño para minimizar el impacto ambiental potencial de la explotación de la mina. De las predicciones de la carga del botadero de desmonte y la química de agua del proceso, se seleccionaron los parámetros claves para un modelaje de calidad de agua detallado. Estos parámetros incluyen aquellos para los que hay criterios o lineamientos sobre efluentes o agua receptora, y cualquier parámetro adicional útil para evaluar los efectos aguas abajo.

IV.11 Previo a la explotación de la Mina

Los promedios de la química de agua de la línea de base empleada para la temporada de lluvias y la temporada seca se resumen en las Tablas 4.1.9-1 a 4.1.9-3 en la Sección 4.1.9, Calidad de Agua. Se espera que la mineralización natural en las instalaciones mineras existentes en Antamina, Rosita de Oro, y Contonga contribuya a los niveles contaminantes en el área. En la cuenca de la Quebrada de Antamina, se consideran que las campañas de muestreo realizadas en agosto de 1996 y setiembre de 1997 proporcionaban la única información representativa de las condiciones de la línea de base.

IV.12 Química de Agua del Efluente de Relaves

La química de agua que decantará del depósito de relaves es una combinación del agua de proceso de relaves, el agua natural y la escorrentía proveniente de la planta y las áreas a tajo abierto. Se evaluaron una serie de parámetros incluyendo las concentraciones de metales disueltos, metales totales, sólidos suspendidos, especies de sulfuro, nutrientes, reactivos y alcalinidad/acidez. Debido a la naturaleza del mineral comparativamente limpia, y el circuito de procesamiento convencional, simple, la mayoría de los parámetros se encuentran en concentraciones muy bajas y con frecuencia por debajo de los límites de detección analíticos prácticos. Los relaves son también relativamente gruesos, y, por lo tanto, las concentraciones de sólidos suspendidos en el agua de proceso son bajas. Por lo tanto, las concentraciones de metales totales son muy similares a las concentraciones de metales disueltos.

El modelaje de la calidad de agua fue realizado para proporcionar estimados mensuales. Así, en todo el año, se espera que la química de aguas en el depósito de

relaves esté dentro del rango resumido en la Tabla IV-10. Se reconoce que puede haber períodos de varios días en que la química de agua excede estos valores estimados, como resultado de eventuales problemas de operación o los cambios inesperados en la química del proceso o mineral para uno o más parámetros. Periódicamente, por lo tanto, estos valores pueden acercarse a los criterios de efluentes. Es importante enfatizar dos puntos en este análisis del impacto ambiental del depósito de relaves:

- ▣ la química de aguas de relaves estimada es la calidad de agua que se espera como resultado de la operación normal, tal como se representa por los programas de prueba geoquímica y metalúrgica ; y,
- ▣ el sistema de manejo de agua y el depósito de relaves son suficientemente flexibles de manera que el agua sólo será descargada del depósito de relaves si la calidad cumple o supera los criterios de efluentes.

Tabla IV-10 Calidad de Agua del Efluente Mensual Típico Predicho durante la Fase de Operación

Parámetro	Unidades	Proporción		
pH	unid. de pH	7	to	9
Total de Sólidos Suspendidos	mg/L	<10	to	25
Petróleo & Grasa	mg/L	<10	--	--
Cianuro				
CN total	mg/L	0.01	to	0.03
CN libre	mg/L	<0.01		
Arsenico	mg/L	0.002	to	0.004
Cadmio	mg/L	<0.0002	--	--
Cobre	mg/L	0.01	to	0.03
Cromo	mg/L	<0.001	--	--
Hierro	mg/L	<0.1	---	---
Plomo	mg/L	<0.002	to	0.004
Mercurio	mg/L	<0.0002	--	--
Níquel	mg/L	<0.0005	to	0.001
Zinc	mg/L	0.05	to	0.10

La química de agua estimada se expresa en términos de metales disueltos, en cumplimiento con los Criterios para Efluentes Líquidos en el Perú. Durante la operación, con bajo nivel total de sólidos suspendidos, las concentraciones de metales totales serán esencialmente las mismas que los valores disueltos estimados para los relaves sometidos a prueba. También se debe observar que los valores presentados en la Tabla IV-10 son independientes para cada parámetro. El valor máximo para un

parámetro no necesariamente significa que todos los demás parámetros estén a su valor máximo.

Después del cierre, la calidad de agua del depósito de relaves se acercará a la química de aguas de la línea de base conforme el agua natural de la cuenca colectora reemplace al agua de la laguna. Los cálculos de filtración en los relaves indicaron que al agua de relaves sería totalmente reemplazada con el agua dulce aproximadamente cada cinco años, en condiciones promedio. La ubicación de los puntos de predicción aguas abajo y las variaciones en las concentraciones aguas abajo de cobre y zinc se muestran en el Mapa IV-1 y Mapa IV-2.

Las estaciones de predicción de calidad de agua fueron denominadas AN-70, 71, 72, 73, 74. Estas corresponden a las estaciones de monitoreo que se indican en la Tabla IV-11.

Tabla IV-11 Estaciones de Predicción de Calidad de Agua y las Estaciones de Monitoreo Correspondientes

Estación de Predicción	Estación de Monitoreo Correspondiente
AN 70	AN - 24
AN 71	AN - 41
AN 72	AN - 42
AN 73	Ninguna
AN 74	AN - 48

El Mapa IV-1 muestra concentraciones de cobre estimadas aguas abajo en toda la vida de la mina. Las concentraciones previas a la explotación son extraídas de información real, cuando es posible. Cuando la información de la línea de base no existe, los valores previos a la explotación son los estimados por el modelo de calidad de agua para las condiciones previas a la explotación. Las concentraciones de cobre para la fase de operación están definidos a partir de los datos modelados para el año 10 de la vida de la mina. Para las condiciones de cierre, los botaderos de desmonte son diseñados en el modelo como en el año 22, pero se supone que no estará la pila de mineral intemperizado. Además, se supone que se eliminarán todas las derivaciones. Para la etapa post-cierre, se supone que el nivel de agua en el área del depósito de relaves será de 4,180 m., y que el tratamiento del Botadero Sur continuará. El Mapa IV-2 muestra las concentraciones de zinc estimadas aguas bajo para las mismas condiciones indicadas más arriba.

IV.13 Año 5

La química de agua del modelo en las estaciones de predicción seleccionadas para el cobre, cianuro, plomo, molibdeno, y zinc se tabulan en la Tabla IV-12. Los resultados presentados son concentraciones en mg/L promediadas en el año 5 de operación. No

se prevé que la química de agua de relaves varíe de manera significativa durante la vida de la mina. La química del drenaje y el volumen de drenaje de los botaderos de desmonte variarán con el tiempo. Tal como se indica en la Tabla IV-8, los botaderos de desmontes se mantendrán a lo largo de la vida de la mina. Ello conllevará a aumentar la carga con el tiempo, básicamente como resultado del tonelaje total de la roca. A pesar que la química de agua cambiará con la aceleración de los procesos de oxidación, la roca de desmonte es relativamente lenta en reaccionar y no se prevé que ocurran condiciones netas ácidas durante la operación ni tampoco a largo plazo una vez que se concluya el cierre.

No se espera que las concentraciones de plomo disminuyan de manera significativa en la Quebrada Ayash aguas abajo del depósito de relaves porque la mayoría de la carga de plomo del modelo es anterior a las operaciones mineras de Antamina. La concentración de plomo es ligeramente elevada en el río Puchca, porque transporta carga diluida de la Quebrada Canrash.

Tabla IV-12 Modelaje de la Química del Agua Receptora al Año 5

Estación	Cobre (mg/L)	Cianuro (mg/L)	Plomo (mg/L)	Molibdeno (mg/L)	Zinc (mg/L)
AN-11	.010	.010	.002	.051	.032
AN-26	.009	.010	.002	.046	.030
AN-30	.009	.010	.002	.045	.029
AN-73	.008	.008	.002	.038	.024
AN-74	.002	.002	.0004	.011	.007
Río Puchca	.0007	.0008	.0006	.003	.004
Río Marañón	.0001	.0001	.0001	.0005	.0005
AN-70	.003	.005	.018	.013	.037
AN-71	.002	.003	.009	.006	.024
AN-72	.002	.003	.008	.006	.021
Río Mosna	.0003	.0004	.0009	.0008	.003

En los primeros años de desarrollo del botadero, el agua infiltrada quedará retenida en la roca, por efecto de su humedecimiento, por lo que el flujo a través de la pila de roca se verá restringido. Una vez que el contenido de humedad sea suficiente para permitir lograr el flujo, la cantidad del drenaje aumentará a los niveles estimados empleados aquí.

Además de los cambios en las cargas en el año modelado, se espera que las concentraciones en aguas receptoras aguas abajo varíen durante cada año en respuesta a las fluctuaciones estacionales de precipitación. La Figura IV-6 muestra el cambio estimado en las concentraciones de zinc a lo largo de la Quebrada Ayash durante el modelo del año 5.

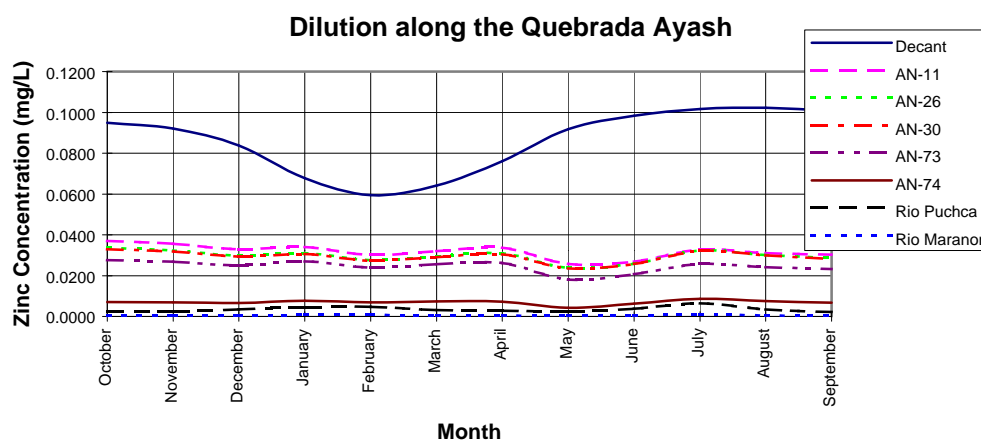
IV.14 Año 10

La química de agua durante el año 10 de operación se muestra en la Tabla IV-13. Comparado con el año 5 del modelo, las concentraciones en Ayash y aguas abajo son ligeramente elevadas. A pesar que el Botadero Este es casi dos veces más grande que en el año 5, el aporte al sistema Ayash del Botadero Este es menor comparado con el aporte del depósito de relaves. Las concentraciones en Canrash y aguas abajo son similares al año 5 para el cobre y cianuro, pero son elevadas con respecto al plomo, molibdeno y zinc. En el año 10, el Botadero Norte empieza a aportar contaminantes, y el Botadero Sur es dos veces mayor que en el año 5.

Tabla IV-13 Modelaje de la Química del Agua Receptora al Año 10

Estación	Cobre (mg/L)	Cianuroe (mg/L)	Plomo (mg/L)	Molibdeno (mg/L)	Zinc (mg/L)
AN-11	.011	.011	.002	.056	.035
AN-26	.010	.011	.002	.051	.033
AN-30	.01	.011	.002	.050	.032
AN-73	.008	.009	.002	.042	.027
AN-74	.002	.002	.0004	.012	.008
Río Puchca	.0008	.001	.001	.004	.004
Río Marañón	.0001	.0001	.0002	.0006	.001
AN-70	.004	.005	.051	.023	.061
AN-71	.003	.003	.024	.011	.036
AN-72	.002	.003	.020	.009	.030
Río Mosna	.0003	.0004	.002	.001	.004

Figura IV-6 Variación de la Química del Agua Receptora en el Modelo de 5 Años



IV.15 Año 22

La química de agua estimada al término de la vida de la mina, año 22 en el plan de minado propuesto, se muestra en la Tabla IV-14. Las concentraciones en las aguas receptoras continúan aumentando, pero el sistema Ayash indica un menor aumento estimado en las concentraciones. Ello se debe al mayor volumen del agua subterránea que debe ser bombeada para recircular el mayor volumen de filtración estimada en el año 22, que conllevará al aumento de la dilución. Los resultados del modelo utilizado muestran la química de agua antes de cualquier rehabilitación de botaderos de desmontes y con una continua recolección del agua del tajo.

Tabla IV-14 Modelaje de la Química del Agua Receptora al Año 22

Estación	Cobre (mg/L)	Cianuro (mg/L)	Plomo (mg/L)	Molibdeno (mg/L)	Zinc (mg/L)
AN-11	.012	.012	.002	.059	.036
AN-26	.011	.011	.002	.054	.034
AN-30	.010	.011	.002	.053	.034
AN-73	.009	.009	.002	.044	.028
AN-74	.003	.003	.0005	.013	.008
Río Puchca	.0009	.001	.0040	.005	.006
Río Marañón	.0001	.0001	.0006	.001	.001
AN-70	.006	.005	.173	.055	.129
AN-71	.004	.003	.079	.026	.0667
AN-72	.003	.003	.066	.021	.056
Río Mosna	.0004	.0004	.008	.003	.007

IV.16 Etapa posterior al cierre

La predicción de la química de agua post-cierre se basa en la implementación exitosa de las medidas de cierre propuestas en la documentación del EIA, a saber:

- ☒ tratamiento de agua a largo plazo para el drenaje de la parte oriental del Botadero Sur ;
- ☒ tratamiento a corto plazo de la descarga del tajo;
- ☒ rehabilitación superficial de los botaderos de desmonte;
- ☒ recuperación general del emplazamiento; e
- ☒ inundación de los relaves sin liberación de metales a largo plazo.

La planta de tratamiento de agua propuesta es una planta de tratamiento convencional de lodos de alta densidad (HDS). Para los fines del modelaje de calidad de agua, se estimó un rango de química de aguas para el efluente tratado en base a la experiencia con estas plantas en las minas de metales comunes. Esta tecnología del tratamiento de aguas es tecnología convencional que ha sido implementada en las minas de metal a nivel mundial, y por lo tanto, el rango del tratamiento puede ser estimado con una confianza razonable. Se estima que las concentraciones de cobre total en el efluente sería del orden de 0.05 a 0.1 mg/L con concentraciones disueltas tan bajas como 0.01 mg/L Cu. Se estima que las concentraciones totales de zinc en el efluente oscilarían entre 0.1 y 0.3 mg/L con concentraciones de zinc disueltas tan bajas como 0.05 mg/L. El modelaje de tratamiento de agua post-cierre se basó en el rango más conservador de las concentraciones de metales totales, antes que las concentraciones de metales disueltos.

La química de agua post-cierre promedio anual estimada para el cobre y el zinc se indica en la Tabla IV-15. Al cierre, las aguas receptoras tienen concentraciones sólo ligeramente elevadas con respecto a las condiciones previas a la explotación. Los cambios en la calidad de agua receptora en estaciones de predicción seleccionadas se indican en el Mapa IV-1 para el cobre, y Mapa IV-2 para el zinc para las condiciones previas a la explotación, operaciones, cierre y post-cierre.

Tabla IV-15 Modelaje de la Química del Agua Receptora después del Cierre

Estación	Cobre (mg/L)	Zinc (mg/L)
AN-11	.0012	.0189
AN-26	.0013	.0183
AN-30	.0013	.0183
AN-73	.0011	.0158
AN-74	.0004	.0054
Río Puchca	.0003	.0030
Río Marañón	.0001	.0005
AN-70	.007 - .009	.120 - .129
AN-71	.004 - .005	.062 - .067
AN-72	.003 - .004	.052 - .056
Río Mosna	.0005 - .0006	.006 - .007