

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

“CONTROL, SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE MATERIALES EXTRAÍDOS DE UNA MINA PARA ANALIZAR LA PREDICCIÓN DEL POTENCIAL DRENAJE ÁCIDO”

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

ELABORADO POR

DIANA ARACELLE HONORES DÍAZ

 [0009-0003-3757-9693](https://orcid.org/0009-0003-3757-9693)

ASESOR

Dr. Lic. JORGE LUIS BREÑA ORÉ

 [000-0001-6450-7052](https://orcid.org/000-0001-6450-7052)

TOMO I DE I

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Honores Díaz [1]
Referencia/Reference	[1] D. Honores Díaz, "Control, seguimiento y evaluación de materiales extraídos de una mina para analizar la predicción del potencial drenaje ácido" [Trabajo de suficiencia profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Honores, 2024)
Referencia/Reference	Honores, D. (2024). Control, seguimiento y evaluación de materiales extraídos de una mina para analizar la predicción del potencial drenaje ácido" [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

DEDICATORIA

Se lo dedico a mis padres, por haber sido mi motor todos estos años, gracias a ellos he conseguido cumplir mis metas trazadas durante estos años. Con sus enseñanzas y ejemplo aprendí a ser perseverante, fuerte y resiliente. con amor a Manuel Jesús Honores Ulloa (un beso al cielo papito) y Norla Díaz Fuentes, gracias por todo el amor, sacrificio y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, por haber sido mi motor todos estos años, por el apoyo a mi formación profesional y personal.

Agradezco a todos mis docentes que formaron parte de mi aprendizaje durante el proceso de estudiante.

RESUMEN

La unidad minera Cerro Corona opera en la región de Cajamarca, provincia de Hualgayoc y cuenta con 16 años de operación. Tiene un propósito de “generar valor que perdure más allá de la minería”, priorizando el cuidado ambiental y de las personas ha realizado estudios geoquímicos desde el inicio de la operación con el objetivo de evaluar la potencialidad generadora de drenaje ácido de los materiales extraídos del tajo y residuos resultantes del proceso metalúrgico (relaves), para el presente trabajo se estudió la serie 300 de diorita la cual es una muestra sulfurada (hasta 6 % S²⁻) altamente PAG, extraídas en 8 zonas diferentes del tajo, inicialmente se analizó el comportamiento ácido base (ABA) y la concentración de metales en la muestras, sometidas a 4 tratamientos para simular su comportamiento geoquímico, la primera es una muestra control y los otros tres con neutralizadores (carbonato de calcio, cal y lechada de cal) añadidas en capas o mezcladas en diferentes proporciones por un método experimental. El objetivo es determinar cuál es el mejor tratamiento para inhibir el drenaje ácido, exponiendo los materiales en barriles a condiciones ambientales locales como: presión promedio de 0.64 atm, temperaturas mínimas en promedio de 3°C y máxima de 16°C, exposición a lluvias en promedio 1300 mm/año; resultando lixiviados los cuales se analiza trimestralmente, se estudia el comportamiento en el tiempo de pH, conductividad y metales presentes; determinando que los procedimientos cuentan con material alcalinizante como reactivo limitante.

Gold Fields proporciona la información para el desarrollo de esta investigación. En Cerro Corona se ejecutan investigaciones aplicando tecnologías limpias para minimizar posibles impactos ambientales y crear escenarios de solución, generando un ambiente sano y propicio para la vida.

Palabras claves: Cierre de Mina, Diorita PAG, Prueba de barriles y lixiviado.

ABSTRACT

The Cerro Corona mining unit operates in the Cajamarca region, Hualgayoc province, and has been in operation for 16 years. Its purpose is to "generate value that lasts beyond mining", prioritizing environmental and people care. Geochemical studies have carried out since the beginning of the operation with the aim of evaluating the potential for generating acid drainage of the materials extracted from the pit and waste resulting from the metallurgical process (tailings). For the present work, the 300 series of diorite was studied, which is a sulfided sample (up to 6% S-2) highly PAG, extracted in 8 different areas of the pit. Initially, the acid-base behavior (ABA) and the concentration of metals in the samples were analyzed, subjected to 4 treatments to simulate their geochemical behavior, the first is a control sample and the other three with neutralizers (calcium carbonate, lime and lime milk) added in layers or mixed in different proportions by an experimental method. The objective is to determine the best treatment to inhibit acid drainage, exposing the materials in barrels to local environmental conditions such as: average pressure of 0.64 atm, minimum average temperatures of 3°C and maximum of 16°C, exposure to average rainfall of 1300 mm/year; resulting in leachates which are analyzed quarterly, the behavior over time of pH, conductivity and metals present is studied; determining that the procedures have alkalizing material as a limiting reagent.

Gold Fields provides the information for the development of this research. At Cerro Corona, research is carried out using clean technologies to minimize possible environmental impacts and create solution scenarios, generating a healthy environment conducive to life.

Keywords: Mine Closure, Diorite PAG, Barrel and leachate testing.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
CAPÍTULO I DATOS GENERALES DE LA EMPRESA.....	17
1.1. Actividad principal.....	18
1.2. Sector industrial.....	22
1.3. Línea de productos	22
1.4. Filosofía administrativa	23
1.5. Cultura organizacional	27
1.6. Estructura Funcional	27
1.7. Normativa empresarial.....	32
1.8. Principios de calidad	33
1.9. Sistemas de seguridad industrial	34
1.10. Gestión de impactos ambientales	34
CAPÍTULO II CARGOS Y FUNCIONES	36
2.1. Contexto laboral	36
2.2. Descripción de cargos y funciones	38
2.2.1. Ingeniero junior de pruebas geoquímicas.....	39
2.2.2. Ingeniero de medio ambiente	42
2.2.3. Supervisor de medio ambiente y relaves.....	45
2.3. Responsabilidades según las normativas de la empresa.....	49
2.4. Personal a cargo y sus responsabilidades	50
2.5. Función ejecutiva y/o administrativa	53
2.6. Cronograma de actividades	54
CAPITULO III DESARROLLO DE LA ACTIVIDADES TÉCNICA Y APLICACIÓN	
PROFESIONAL	58
3.1. Contexto laboral	58

3.1.1.	Labores y tareas ejecutadas.....	58
3.1.2.	Conocimientos técnicos.....	59
3.1.3.	Actividades complementarias	61
3.2.	Actividad técnica.....	65
3.2.1.	Descripción de la realidad problemática	65
3.2.2.	Definición del problema general y secundarios.....	66
3.2.3.	Justificación e importancia	67
3.2.4.	Antecedentes nacionales e internacionales	68
3.2.5.	Objetivo General y Específicos.....	70
3.3.	Marco conceptual y teórico de los conocimientos técnicos requeridos.	71
3.3.1.	Geología local	71
3.3.2.	Geología estructural	72
3.3.3.	Distribución geoquímica	74
3.3.4.	Pruebas geoquímicas.....	75
3.3.5.	Drenaje ácido de mina (AMD)	76
3.3.6.	Drenaje ácido de roca (DAR).....	76
3.3.7.	Factores controladores de la generación de acidez.....	76
3.4.	Propuesta y contribuciones de su formación profesional	77
3.4.1.	Objetivo y justificación del uso de las técnicas propuestas.....	77
3.4.2.	Cálculos y determinaciones de indicadores de gestión para evaluar y monitorear la propuesta.....	78
3.4.3.	Análisis e Interpretación de resultados y aportes técnicos de la propuesta de solución.....	89
3.4.4.	Evaluaciones y decisiones tomadas	118
3.4.5.	Informes, reportes, instructivos, fichas técnicas y formatos presentados como resultados de la actividad realizada	119
CAPITULO IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS E IMPLICANCIAS.....		123
4.1.	Contribución al desarrollo de la empresa.....	123

4.2. Impacto de la propuesta (Económico, tecnológico, ambiental).....	124
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127
5.1. Conclusiones	127
5.2. Recomendaciones	129
CAPITULO VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Mapa ubicación de las operaciones de Gold Fields</i>	17
Figura 2	<i>Operaciones en 5 países de la empresa</i>	18
Figura 3	<i>Flujograma del proceso productivo de la unidad minera</i>	19
Figura 4	<i>Unidad minera Cerro Corona – Imagen Satelital</i>	20
Figura 5	<i>Mapa de ubicación política de Cerro Corona</i>	21
Figura 6	<i>Organigrama de vicepresidentes y gerentes</i>	30
Figura 7	<i>Organigrama de la gerencia de Medio Ambiente, Aguas y Relaves</i>	31
Figura 8	<i>Monitoreo de agua</i>	44
Figura 9	<i>Autoevaluación corporativa de la implementación del GISTM</i>	47
Figura 10	<i>Columna estratigráfica de las unidades geológicas</i>	72
Figura 11	<i>Modelos de unidades geológicas</i>	73
Figura 12	<i>Ocurrencias de los tipos de pirita</i>	74
Figura 13	<i>Adición de Cal y Lechada de Cal</i>	80
Figura 14	<i>Adición de Carbonato de Calcio</i>	81
Figura 15	<i>Clasificación en series de las pruebas geoquímicas</i>	83
Figura 16	<i>Zona de pruebas geoquímicas</i>	87
Figura 17	<i>Monitoreo de pruebas geoquímicas</i>	88
Figura 18	<i>Concentración de Azufre</i>	92
Figura 19	<i>Concentración de Arsénico</i>	93
Figura 20	<i>Concentración de Cadmio</i>	93
Figura 21	<i>Concentración de Cobre</i>	94
Figura 22	<i>Concentración de Manganeso</i>	94
Figura 23	<i>Concentración de Molibdeno</i>	95
Figura 24	<i>Concentración de Plomo</i>	95
Figura 25	<i>Concentración de Selenio</i>	96
Figura 26	<i>Concentración de Zinc</i>	96
Figura 27	<i>Evolución del pH en la serie 300</i>	100
Figura 28	<i>Conductividad Eléctrica en la serie 300 (Procedimiento A)</i>	101
Figura 29	<i>Acidez serie 300 (Procedimiento A)</i>	102
Figura 30	<i>Potencial redox en la serie 300 (Procedimiento A)</i>	103
Figura 31	<i>Alcalinidad en la serie 300 (Procedimiento A)</i>	103
Figura 32	<i>SO₄⁻² para la serie 300 (Procedimiento A)</i>	104
Figura 33	<i>Aluminio para la serie 300 (Procedimiento A)</i>	105
Figura 34	<i>Hierro para la serie 300 (Procedimiento A)</i>	106
Figura 35	<i>Magnesio para la serie 300 (Procedimiento A)</i>	107

Figura 36	<i>Calcio para la serie 300 (Procedimiento A)</i>	107
Figura 37	<i>Arsénico para la serie 300 (Procedimiento A)</i>	108
Figura 38	<i>Cobre para la serie 300 (Procedimiento A)</i>	109
Figura 39	<i>pH para la serie 300 (Procedimiento B)</i>	110
Figura 40	<i>Acidez para la serie 300 (Procedimiento B)</i>	111
Figura 41	<i>CE para la serie 300 (Procedimiento B)</i>	112
Figura 42	<i>SO₄⁻² para la serie 300 (Procedimiento B)</i>	113
Figura 43	<i>Aluminio para la serie 300 (Procedimiento B)</i>	114
Figura 44	<i>Hierro para la serie 300 (Procedimiento B)</i>	115
Figura 45	<i>Magnesio para la serie 300 (Procedimiento B)</i>	115
Figura 46	<i>Cobre para la serie 300 (Procedimiento B)</i>	116
Figura 47	<i>Calcio para la serie 300 (Procedimiento B)</i>	117
Figura 48	<i>Arsenico para la serie 300 (Procedimiento B)</i>	117
Figura 49	<i>Programa de pruebas geoquímicas</i>	120
Figura 50	<i>Registro de datos de caracterización geoquímica del barril B1002</i>	121
Figura 51	<i>Reporte de análisis geoquímico de caliza</i>	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Coordenadas del Eje Central de la Unidad Minera</i>	21
Tabla 2	<i>Reservas y recursos minerales al 31 de diciembre de 2021</i>	22
Tabla 3	<i>Valores corporativos de la empresa</i>	25
Tabla 4	<i>Responsabilidad ética de las diversas áreas</i>	33
Tabla 5	<i>Cargos asignados</i>	39
Tabla 6	<i>Descripción las funciones administrativas y específicas</i>	44
Tabla 7	<i>Proyectos para la sostenibilidad</i>	48
Tabla 8	<i>Actividades realizadas por el personal</i>	52
Tabla 9	<i>Proyectos como ingeniero junior de pruebas geoquímicas</i>	55
Tabla 10	<i>Proyectos como ingeniero de medio ambiente</i>	56
Tabla 11	<i>Funciones y responsabilidades actualmente</i>	57
Tabla 12	<i>Descripción de conocimientos técnicos</i>	60
Tabla 13	<i>Dosificación de CaO según el pH en pasta</i>	82
Tabla 14	<i>Dosificación de CaCO₃ según % de azufre total</i>	82
Tabla 15	<i>Subseries de las pruebas geoquímica</i>	84
Tabla 16	<i>Clasificación de colores de los barriles</i>	86
Tabla 17	<i>Técnicas para el tratamiento de datos</i>	89
Tabla 18	<i>Concentraciones de metales</i>	90
Tabla 19	<i>Tratamientos utilizados para los barriles</i>	97
Tabla 20	<i>Datos de la serie 300</i>	99
Tabla 21	<i>Contribución al desarrollo de la empresa</i>	124
Tabla 22	<i>Impacto económico</i>	125
Tabla 23	<i>Impacto tecnológico</i>	125
Tabla 24	<i>Impacto ambiental</i>	126

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	<i>Informe de pruebas geoquímicas en el primer semestre de 2023</i>	132
Anexo 2	<i>Informe de pruebas geoquímicas segundo semestre de 2023</i>	133
Anexo 3	<i>Informe de pruebas geoquímicas 2020</i>	134
Anexo 4	<i>Plataforma de SSYMA</i>	135
Anexo 5	<i>Ganadores concurso Concytec</i>	136
Anexo 6	<i>Concurso creatividad empresarial</i>	137
Anexo 7	<i>Tratamiento de tierra impregnada con hidrocarburos</i>	138
Anexo 8	<i>Uso de madera para elaboración de Tecnosoles</i>	139

ABREVIATURAS

JSE	: Bolsa de Valores de Johannesburgo
NYSE	: Bolsa de Valores de Nueva York
AID	: Área de Influencia Directa
Tn	: Toneladas métricas
Ø	: Promedio
ABA	: Contenido ácido - base
AR	: Drenaje ácido de roca
AMD	: Drenaje ácido de mina
ML	: Lixiviación de metales
AP	: Potencial de acidificación (Kg CaCO ₃ /t)
<DL	: Inferior al límite de detección
LMP	: Límite máximo permisibles
EA	: Análisis elemental
ECA	: Estándares Nacional de Calidad Ambiental para Agua
H⁺	: Ion hidronio
FeS₂	: Pirita
NMD	: Drenaje neutro de mina
L	: Litros
Kg	: Kilogramos
Cu	: Cobre
Fe	: Hierro
Mn	: Manganeseo
SO₄	: Sulfato
CaO	: Óxido de Calcio
Fe³⁺	: Ion férrico
Fe²⁺	: Ion ferroso
Fe (OH)³	: Hidróxido de hierro III
Ca (OH)₂	: Hidróxido de calcio
SO₄²⁻	: Ion Sulfato
HCO₃⁻	: Ion Bicarbonato
CaCO₃	: Carbonato de calcio
Ca²⁺	: Ion calcio
Al III	: Ion Aluminio
H₂SO₄	: Ácido Sulfúrico

Mg²⁺	: Magnesio
Wt%	: Porcentaje de peso
pH	: Potencial de Hidrógeno
ORP	: Potencial de oxidación – reducción
°C	: Grados Celsius
V	: Vanadio
Ti	: Titanio
Ag	: Plata
Cd	: Cadmio
Hg	: Mercurio
Pb	: Plomo
Sb	: Antimonio
Zn	: Zinc
Mo	: Molibdeno
S	: Azufre
Au	: Oro
CCA	: Compuestos de connotación ambiental
Ma	: Millones de años
GEI	: Gases de efecto invernadero
SGA	: Sistema de gestión ambiental
Mpro	: Monitor Pro
UTM	: Universal Transverse Mercator
WGS 84	: World Geodetic System 1984
ESG	: Environmental, Social and Governance
ISO 50001	: Sistemas de Gestión del Consumo Energético
ISO 14001	: Sistemas de Gestión Ambiental
ISO 14064-1	: Sistemas de gestión de gases de efecto invernadero
ISO 45001	: Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo
SSYMA	: Sistema de Gestión de Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente
ITS	: Informes técnico sustentatorio
RST	: Rougher Scavenger Tailings
CST	: Cleaner Scavenger Talings
PCM	: Plan de cierre de mina
GISTM	: Estándar Global de Gestión de Relaves para Industria Minera

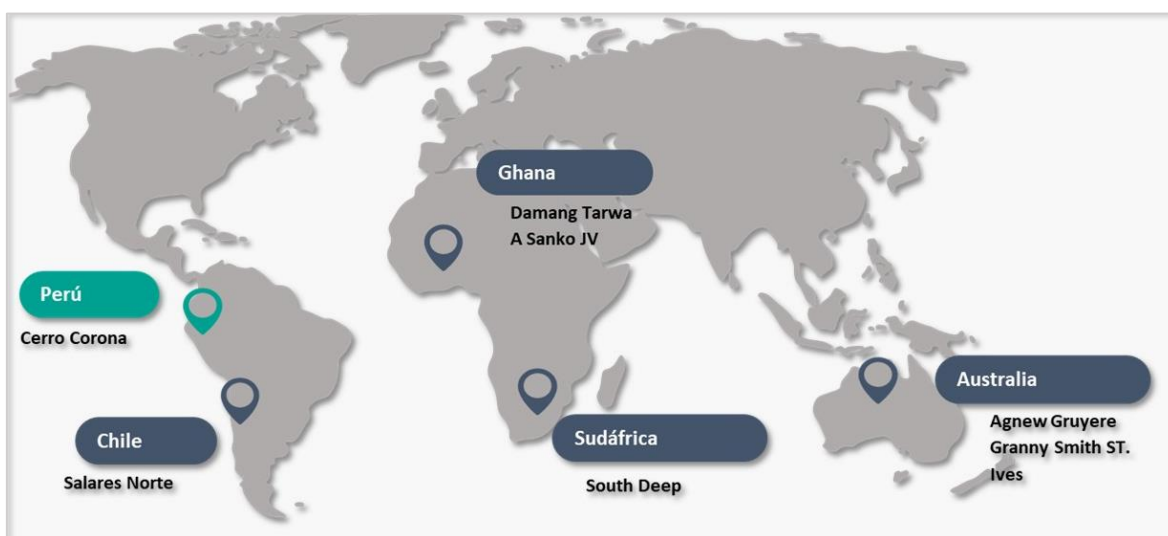
ICMM	: Consejo Internacional de Minería y Metales
PMA	: Plan de Manejo Ambiental
PGA	: Plan de gestión ambiental
EIA	: Evaluación de impacto ambiental
ICA	: Informe de cumplimiento ambiental
HCT	: Celdas Húmedas
HEA	: Hoja de entrada de servicios
IPERC	: Identificación de peligros, evaluación y control de riesgos
BIOL	: Materia orgánica fermentada líquida
BOKASHI	: Materia orgánica fermentada sólida.
CONCYTEC	: Concejo Nacional de Ciencia, tecnología e innovación tecnológica
UPC	: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas
EO-RS	: Empresa Operadora de residuos sólidos
ASTM	: American Society Testing and Materials
MINEM	: Ministerio de Energía y Minas
PAG	: Potencialmente generadora de acidez
IGTRB	: Independent Geotechnical Tailing Review Board
INACAL	: Instituto Nacional de Calidad
CDA	: La sociedad minera de Canadá
IPERC	: Identificación de peligros y evaluación de riesgos y controles
MSDS	: Hoja de datos de seguridad del material

CAPÍTULO I DATOS GENERALES DE LA EMPRESA

La empresa global Gold Fields, productora de oro diversificada, desarrolla una minería de tajo abierto y subterráneo en sus diferentes operaciones. Actualmente se encuentra en el puesto siete como empresa productora de oro del mundo. Como se observa en la Figura 1, Gold Fields es una compañía de clase mundial, con sede y operaciones como base Sudáfrica. La corporación cuenta con más de 130 años de experiencia. Las acciones de la empresa son cotizadas en la Bolsa de Valores de Johannesburgo (JSE) como también en la Bolsa de Valores de Nueva York (NYSE). Los diferentes colaboradores tienen una cultura de vivir los valores de los Gold Fields y un liderazgo global desarrollando una minería sostenible bajo un compromiso del desarrollo de los valores: Seguridad, Integridad, Respeto, Responsabilidad, Innovación y Cumplimiento. Comprometidos con los principios de minería responsable y con entregar valor sostenible a todas las partes interesadas, incluyendo a colaboradores, contratistas, proveedores y comunidades locales (Gold Fields, Reporte Integrado , 2021).

Figura 1

Mapa ubicación de las operaciones de Gold Fields



Nota. Adaptado del Reporte-Integrado anual, (p.12), por Gold Fields, 2021.

Como se observa en la Figura 2, la empresa opera en 5 países e incluye unidades en la región de Las Américas.

Figura 2

Operaciones en 5 países de la empresa



Nota. Adaptado del *Reporte-Integrado anual*, (p.12), por Gold Fields, 2021.

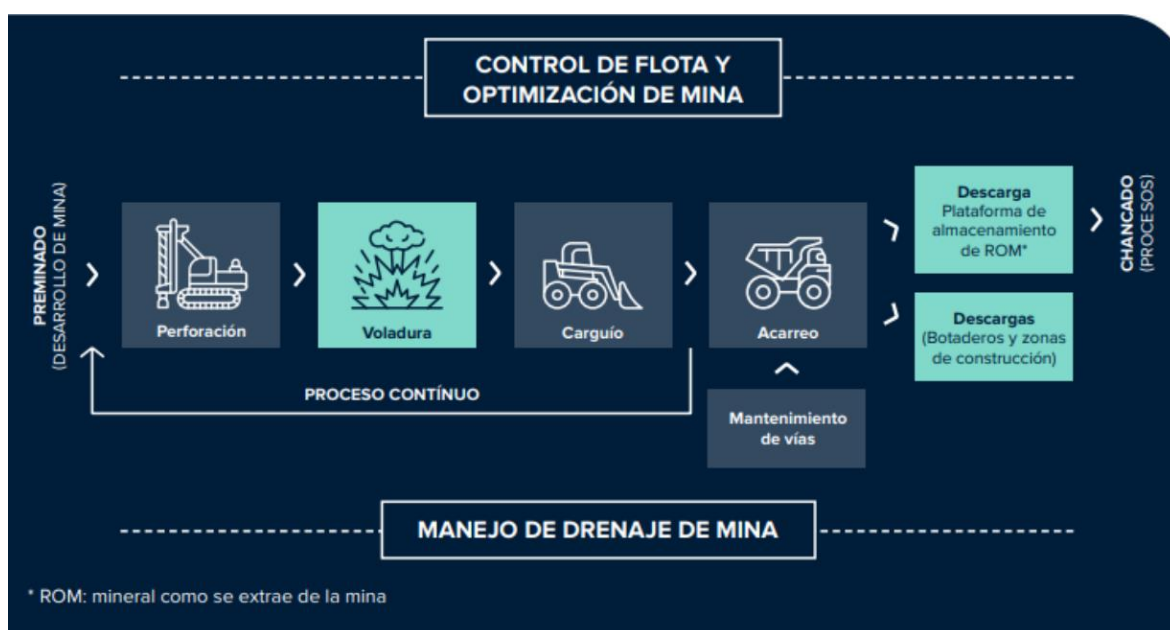
1.1. Actividad principal

Gold Fields opera en Perú en la unidad minera Cerro Corona, donde realiza actividades de exploración, perforación, voladura, acarreo de mineral mediante volquetes, chancado y el transporte del mineral por fajas transportadoras hasta el área del procesamiento por el método metalúrgico de flotación, donde se obtiene un producto final de concentrado de cobre con contenido de oro.

En la Figura 3 se detalla las etapas del proceso productivo del minado del mineral, se puede apreciar desde la etapa de perforación hasta la descarga en la planta de proceso, donde se obtiene el concentrado de cobre con oro, el cual es traslado hasta el puerto Salaverry para su comercialización a los diferentes países para luego ser fundidos o procesados según requieran los clientes. (Herrera G. , 2020).

Figura 3

Flujograma del proceso productivo de la unidad minera



Nota. Adaptado del *Reporte Integrado anual*, (p.20), por Gold Fields, 2023.

Ubicación de la mina Cerro Corona

Cerro Corona se ubica geográficamente a 10.8 kilómetros al noroeste de la Provincia de Hualgayoc, a 30.7 kilómetros al suroeste del distrito de Bambamarca y a 83.9 kilómetros de la capital de la región Cajamarca.

Políticamente, se encuentra ubicado en el departamento de Cajamarca, la que está en la provincia de Hualgayoc, distrito de Hualgayoc, ubicada en la Comunidad Campesina de El Tingo. También abarca el Anexo Predio La Jalca y los caseríos Coymolache Alto, Coymolache, Pilancones y La Cuadratura, como se detalla en la Figura 5 la cual presenta la ubicación de Cerro Corona.

Geográficamente, la unidad se localiza en una zona montañosa, aproximadamente a 3,800 metros sobre el nivel del mar, la cual está ubicada en la vertiente oriental de la cordillera occidental de los Andes Peruanos, hacia la vertiente

continental del Atlántico. Se encuentra entre los 3 600 y 4 000 metros de altitud, donde convergen las cuencas de los ríos Tingo / La Quebrada o Tingo / Maygasbamba, y Hualgayoc / Arascorgue (Mendoza, 2023).

En la Figura 4 se muestra la imagen satelital de la unidad minera, donde se observa el tajo y sus componentes.

La Unidad minera ha identificado sus áreas tanto de Influencia Directa (AID) en la cual está la comunidad campesina de El Tingo, los caseríos de Coymolache y Pílancones, el distrito de Hualgayoc. En la Figura 4 se puede observar la ubicación de Cerro Corona mediante una imagen satelital donde se aprecian todos sus componentes.

Figura 4

Unidad minera Cerro Corona – Imagen Satelital



Nota. Adaptado de Lugar de Unidad Minera Cerro Corona [Fotografía], por Google Earth, 2023, Explora Google, <https://www.google.com/intl/es/earth/about/versions/>.

En la tabla 1 muestra las coordenadas de la ubicación de la mina, registradas en UTM según el Datum WGS84, Zona 17 Sur.

Tabla 1

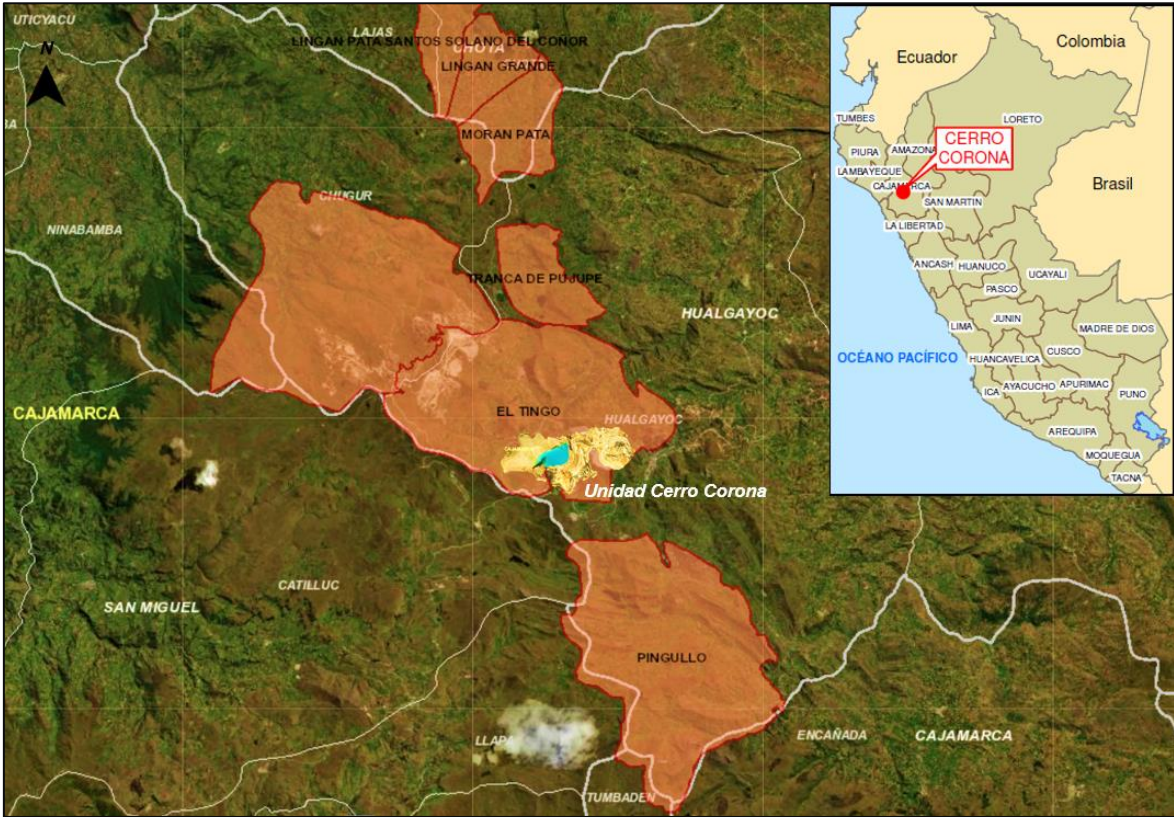
Coordenadas del Eje Central de la Unidad Minera

Unidad Minera Cerro Corona	
ESTE	NORTE
761393	9251657

Nota. Alcance de ubicación con coordenadas geográficas

Figura 5

Mapa de ubicación política de Cerro Corona



Nota. Imagen del plano que ubica a la unidad minera.

1.2. Sector industrial

La empresa en estudio pertenece a la industria minera, la cual se opera a tajo abierto (open pit). Se extraen y tratan minerales con contenidos de sulfuros de cobre con contenido oro. Cuenta con dieciséis años de operación en Perú procesando mineral desde el 27 de julio de 2008. Su concentrado se exporta a través de vía marítima hacia fundiciones de Asia y Europa (Padilla & Diaz, 2023).

1.3. Línea de productos

La empresa cuenta con una producción equivalente de oro anual total de 2,30 millones de onzas, con reservas minerales de concentración de oro, probadas en un total de 46,1 millones de onzas, recursos de oro medidos e indicados de 31,1 millones de onzas (excluidas las reservas minerales) y recursos minerales de oro inferidos de 11,2 millones de onzas (también excluidas las reservas minerales). La mina opera con una composición de 43% cobre – 57% de oro en Cerro Corona (Gold Fields, Reporte Integrado , 2022).

En la tabla 2 se resumen las reservas probadas de 457 Cu/Mlb y las reservas probables, con una certeza de explotación rentable de 17 Cu/Mlb. Estas cifras fueron registradas en diciembre del 2021, durante la evaluación a largo plazo del proyecto.

Tabla 2

Reservas y recursos minerales al 31 de diciembre de 2021

Cu	Reservas probadas			Reservas probables		
	Tn/Mt	Ley /%Cu	Cu/Mlb	Tn/Mt	Ley /%Cu	Cu/Mlb
Tajo abierto (99.53%	48,7	0,38	408,1	2,2	0,35	16,9
Superficie (99.53%)	7,1	0,31	48,8			
Total	55,8		457	2,2		17

Nota. Adaptado de *Divulgaciones corporativas* (p. 42), por Gold Fields, 2021.

Durante el año 2021, se llevaron a cabo diferentes tipos de estudios con técnicos enfocados en la identificación de recursos y reservas con el fin de asegurar las operaciones a largo plazo en Cerro Corona. Estos estudios tienen como objetivo realizar seguimientos a la proyección de crecimiento y niveles de producción las cuales fueron proyectadas previamente (Gold Fields, Sistema Integrado de Gestión, 2022)

1.4. Filosofía administrativa

- **Propósito**

Ser una empresa aurífera líder en la minería responsable en el Perú, tener reconocimiento y respeto en el sector e identificar su compromiso en realizar una minería sostenible, respetando al medio ambiente y contar con una excelencia operacional. Busca perdurar más allá de la operación minera, dejando un legado en las zonas aledañas a los lugares donde desarrollan sus operaciones.

- **Visión**

Gold Fields busca ser una empresa que desarrolla operaciones mineras a nivel mundial, que en el sector se reconoce por generar un valor en su desarrollo operacional de manera muy superior a las demás empresas mineras y que es sostenible en el tiempo, dejando un legado positivo a las zonas aledañas y para los diferentes grupos de interés, que trascienda más allá de la vida útil de la minería y perdure en el tiempo. (Gold Fields, Reporte Integrado , 2021).

Gold Fields se compromete con la optimizar sus diferentes procesos, la implementación de prácticas socioambientales excelentes y el logro de una rentabilidad en crecimiento que se mantenga en el tiempo. Además, la empresa prioriza el desarrollo del mejor talento humano disponible y fomenta relaciones basadas en la confianza y el beneficio mutuo con las comunidades locales (Gold Fields, Reporte Integrado , 2022).

- **Valores**

Los valores fundamentales que guían a la empresa son la seguridad, la integridad y el respeto; son principios sólidos en toda la organización. Además, la empresa ha ampliado el significado de “responsabilidad” en la inclusión de temas ambientales, sociales y de gobierno (ESG), por otro lado, el concepto de “innovación” ha avanzado con el tiempo. Los cambios más significativos han sido en el valor del “cumplimiento”, que ahora se denomina “cumplimiento colaborativo” destacando el trabajo en equipo lo que permite obtener lograr resultados sobresalientes. En los plazos y presupuestos establecidos, la empresa se enorgullece de su labor y la mejora en la calidad de trabajo mediante las diversas contribuciones de sus miembros. Los valores orientan la ejecución de la estrategia.

En la Tabla 3 se observa los valores que la minera promueve, muestran su política corporativa como su cultura organizacional. Estos valores son impartidos dentro de la operación y son reconocidos por los colaboradores que los practican, siendo premiados semestralmente mediante nominaciones entre sus compañeros.

Tabla 3

Valores corporativos de la empresa

Valores corporativos	
Seguridad	Se busca ser productivo, pero considerando la: “Si no podemos operar de manera segura, no operamos”, dando al trabajador la facultad de poder detener una labor si no se siente seguro de realizarla de manera segura.
Responsabilidad	Se busca siempre actuar de responsablemente y preocupada por el medio ambiente y los grupos de interés, donde se incluyen los colaboradores, las comunidades y los accionistas.
Honestidad	Busca siempre actuar con justicia, integridad, honestidad y transparencia.
Respeto	Busca siempre el trato de interactuar entre los colaboradores con confianza, respeto y dignidad.
Innovación	Se alienta en todo momento a la innovación y el espíritu emprendedor para desarrollar las actividades y procesos de forma óptima y con mejor productividad.
Cumplimiento	Busca que todos realicen lo que se comprometen.

Nota. Adaptado de la *Memoria Anual y Reporte de Sostenibilidad* (p.23), por Gold Field, 2021 de la empresa (Gold Fields, Reporte Integrado , 2022).

- **Políticas**

La empresa tiene una serie de políticas que regulan sus operaciones y actividades, diseñadas para asegurar que opere de manera segura, ética y responsable. Cuenta con un sistema integrado de gestión de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente certificado bajo los estándares ISO 14001 e ISO 45001 (Díaz, 2023).

La Política Integrada de la empresa está dividida en cuatro partes. La primera describe las principales actividades. La segunda parte consiste en enfocarse en el objetivo general de Gold Fields como compañía dentro del marco de la Política. En el ámbito ambiental, este objetivo tiene su esencia en la “tener una gestión con responsabilidad con los recursos naturales protegiendo en todo momento al medio ambiente para las generaciones actuales y futuras”. La parte tres de la Política tiene

compromisos o directrices adoptadas para alcanzar los objetivos establecidos. Y se derivan ocho compromisos en esta sección. La cuarta y última parte de la Política implica la suscripción formal de la misma por parte de la alta dirección de la organización, que incluye al vicepresidente ejecutivo de las Américas y vicepresidente de Operaciones (García, 2023). Políticas que incluyen dentro de la empresa:

- **Política de gestión del agua**

Esta fue suscrita en septiembre de 2018. Refleja como la organización se compromete a realizar una gestión del agua de forma responsable y sostenible, por medio de compromisos para alcanzar dichos objetivos.

- **Política sobre cambio climático**

Fue suscrita en diciembre de año 2017. Destacando su compromiso de la organización en identificar y evaluar aquellos riesgos asociados al cambio climático desarrollando diferentes actividades y planificando acciones para su mitigación.

- **Política de Gestión de energía y carbono**

Gold Fields desde abril del 2021 busca realizar actividades que promuevan la mejora continua para el uso de energías eficientes que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), continuamente realiza trabajos responsables cuidando los recursos energéticos y así cuidar al medio ambiente en presente y futuro.

- **Política de seguridad y salud ocupacional**

Gold Fields tiene el objetivo de salvaguardar la salud e integridad de los trabajadores bajo el lema principal de: “si no podemos operar de manera segura, no operamos”, logrando un equilibrio entre el liderazgo en la integridad de los trabajadores y la seguridad de estos, teniendo comportamientos seguros cumpliendo en todo momento con los protocolos, lineamientos, procedimientos y controles de la empresa.

1.5. Cultura organizacional

La empresa tiene un propósito, una visión y valores que inspiran a sus colaboradores a cumplir con el compromiso de dejar un legado en los recursos humanos, el activo de capital y la optimización del recurso mineral. Se enfoca en impulsar la educación, el cuidado y la sostenibilidad con eficiencia e innovación para el país. Como una empresa diversa, conformada por colaboradores de diversos países y continentes que son parte de la organización, se destaca la importancia de mantener un equipo inclusivo, conectado y capaz de generar un gran impacto significativo (Gold Fields, 2022)

- **Sostenibilidad social**

Para la empresa, la seguridad de sus colaboradores es lo más importante dentro y fuera de las operaciones. Asimismo, valoran una sociedad estable que cuente con los recursos que hagan posible el progreso personal y colectivo hacia el bien común.

- **Sostenibilidad ambiental**

El agua se trata de manera sostenible mediante un proceso de recirculación que facilita la reutilización y el cual disminuye el uso de agua en las operaciones. Esto se logra protegiendo el uso racional y sostenible de recursos.

- **Sostenibilidad económica**

Se lleva a cabo una gestión integral de la producción, distribución y consumo de bienes y servicios, con el objetivo de contribuir al desarrollo de la región como del país (Gold Fields, 2024)

1.6. Estructura Funcional

Gold Fields en Perú tiene una estructura funcional organizada típicamente en áreas clave para la operación minera, constituida por:

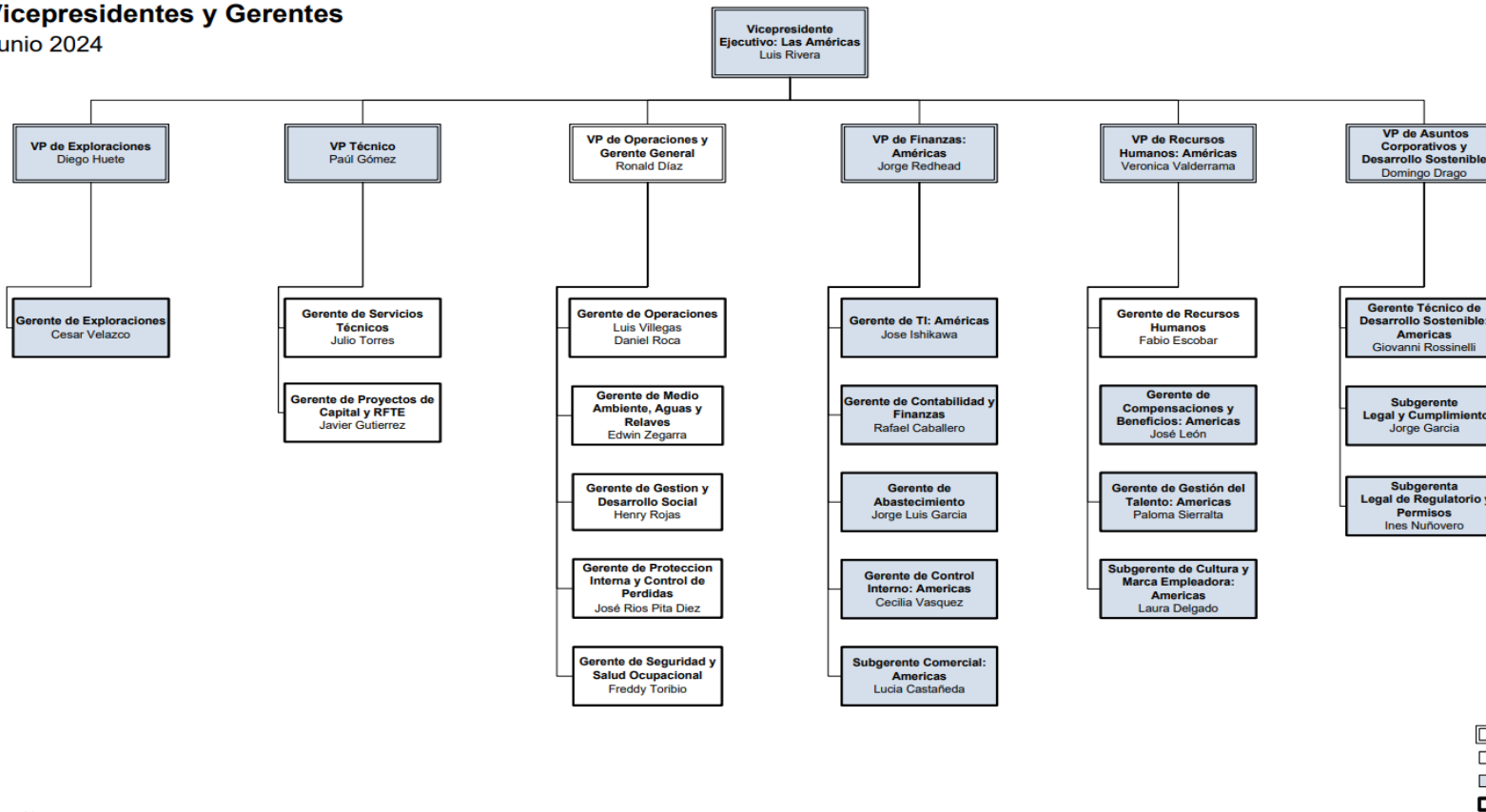
- **Gerencia General:** vicepresidentes y gerentes, encargados de la supervisión general de todas las operaciones en Perú, incluyendo estrategias, cumplimiento normativo y gestión de riesgos. Este proceso se detalla en la Figura 6 del organigrama de dirección (Gold Fields, 2024).
- **EVP Las Américas:** El vicepresidente tiene la responsabilidad de liderar las operaciones de Perú y Chile, tomando decisiones importantes en cada operación y asegurándose de cumplir con los objetivos establecidos para cada año en ambas operaciones.
- **VP de Exploración:** Encargada de la evaluación y exploración de nuevos yacimientos, así como del mantenimiento de los recursos mineros existentes.
- **Gerencia de Operaciones:** Responsable de planificar y ejecutar las actividades mineras diarias, asegurando la seguridad, cumplir eficientemente con los objetivos trazados.
- **Operaciones Mina:** Se encarga de la gestión relacionada a la perforación voladura y acarreo de mineral y desmonte en la unidad minera, haciéndose cargo de planificar o ejecutar las actividades requeridas para mantener las instalaciones relacionadas a las actividades en condiciones óptimas.
- **Operaciones Procesos:** responsable del procesamiento de minerales mediante métodos como la molienda, flotación y otros procesos para la obtención del concentrado en la unidad minera.
- **Gerencia de Medio Ambiente, Aguas y Relaves:** Encargada de cumplir con los compromisos ambientales, gestión de agua y relaves, así como de implementar prácticas sostenibles y programas de responsabilidad social corporativa, donde el bachiller forma parte de este equipo de trabajo como se nombra en la Figura 7.
- **Gerencia de Protección Interna y Protección Humana:** Encargada de garantizar la seguridad del patrimonio de la unidad minera y de sus colaboradores, implementando controles para asegurar la operación de manera tranquila y están preparados para brindar soporte ante una emergencia.

- **Gerencia de Gestión y Desarrollo Social:** Es el área responsable de gestionar cualquier comunicación con la comunidad, pudiendo generar acuerdos, actividades apoyos que se requieran dentro del área de influencia siempre con el fin de fomentar el desarrollo local y mejorar la empleabilidad de los residentes locales.
- **Gerencia de Servicios Técnicos:** Es la responsable de gestionar todos los aspectos relacionados con los servicios técnicos en la unidad como planeamiento mina, geología, control del yacimiento, reservas, geotecnia y otras funciones similares.
- **Gerencia de Proyectos Capital:** Es la responsable principal del desarrollo de la presa de relaves, la cual se construye por etapas según la necesidad de la operación y de proyectos auxiliares como: nuevas plantas, remodelaciones, vías y otros proyectos.
- **VP de Finanzas:** Encargada de la gestión financiera de la empresa administrando los recursos de forma rentable y administrando los presupuestos, reportes financieros y cumplimiento fiscal.
- **Gerencia de Abastecimiento:** Encargada de la gestión de los recursos de la unidad, como del control de combustible, almacenes y administración de residuos.
- **Gerencia Legal y Compliance:** Esta estructura funcional asegura cumplir con todos los aspectos legales y con normativas nacionales e internacionales que le corresponde.
- **Recursos humanos:** Encargada de la gestión humana, las condiciones de los trabajadores, proporcionándoles las condiciones adecuadas y promoviendo su bienestar.

Figura 6

Organigrama de vicepresidentes y gerentes

Gold Fields
Vicepresidentes y Gerentes
 Junio 2024

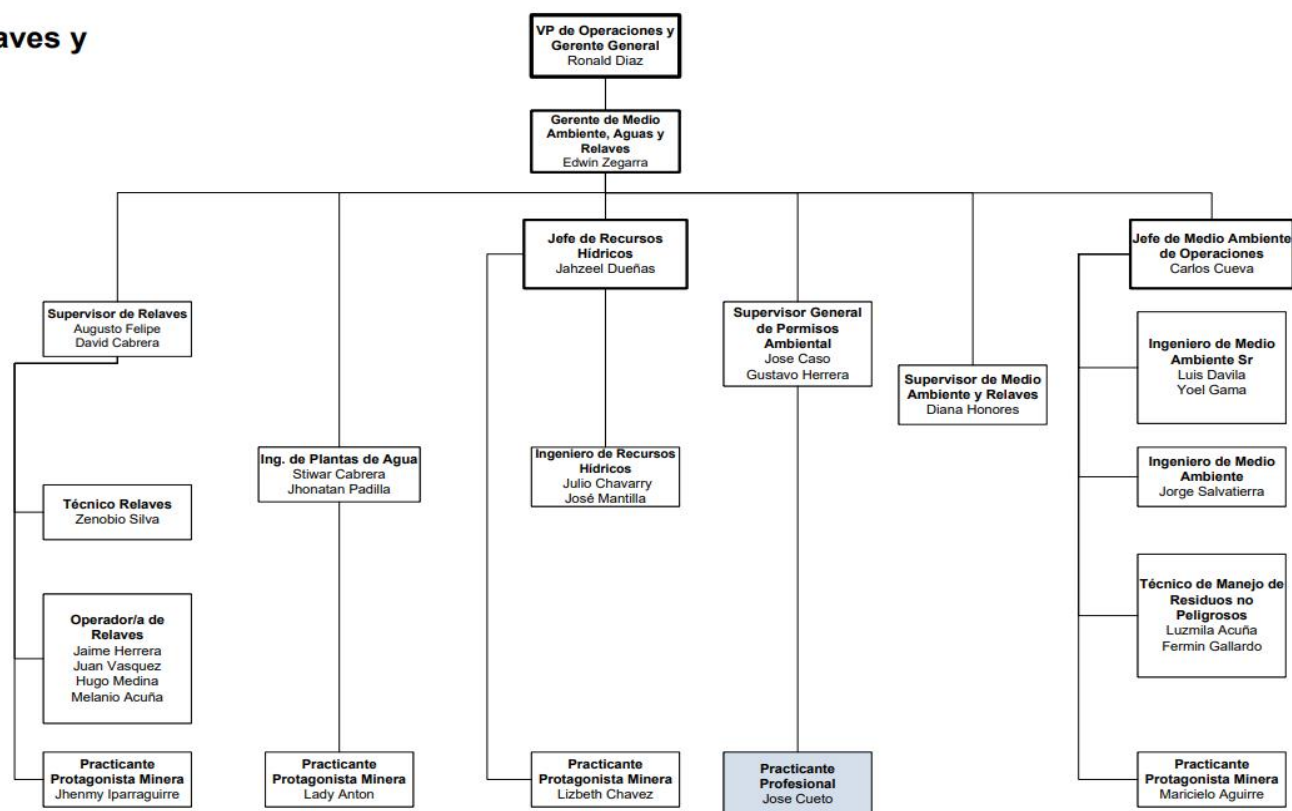


Nota. Adaptado del organigrama corporativo (p.1), por Gold Fields, 2024.

Figura 7

Organigrama de la gerencia de Medio Ambiente, Aguas y Relaves

Gold Fields
**Vp Op. / Aguas, Relaves y
 Medio Ambiente**
 Junio 2024



Nota. Adaptado del organigrama corporativo (p.7), por Gold Fields, 2024.

1.7. Normativa empresarial

La normatividad empresarial de Gold Fields está gestionada bajo un conjunto de regulaciones y procedimientos los cuales regulan las operaciones y actividades de la empresa. Está diseñada para asegurar que la empresa opere con estándares de calidad, de manera segura, ética y responsable.

Se compone de varios elementos clave, entre ellos se encuentran las políticas:

Políticas: Gold Fields cuenta con diversas políticas que define las expectativas de compromisos, comportamiento para la empresa y sus empleados.

Regulaciones: Gold Fields se encuentra sujeta a una serie de normativas gubernamentales, tanto nacionales como internacionales. Y tienen como objetivo proteger a sus colaboradores, al medio ambiente, a los stakeholders y clientes.

Procedimientos: Establecen las pautas para la ejecución de tareas específicas las cuales son administradas por el SSYMA y son actualizadas con una frecuencia anual. Estos procedimientos tienen como objetivo salvaguardar la operación de la unidad de manera segura y eficiente (García & Díaz, Gestión de riesgos de derechos humanos, 2023).

La empresa cuenta con el reconocimiento de la responsabilidad ética y conductual a partir del código de conducta al que deben adherirse los trabajadores y aliados estratégicos empresas de suministro que laborarán o brindarán servicio a la empresa. En la tabla 4 detallamos diferentes ítems sobre compromiso para el cumplimiento empresarial.

Tabla 4*Responsabilidad ética de las diversas áreas*

Compromiso Ético	
i. Responsabilidad frente a los colegas.	Se reconoce que los colaboradores constituyen el núcleo del negocio.
ii. Responsabilidad frente a grupos de interés	Es fundamental tener un conversaciones abiertas y respetuosas con el fin de escuchar y discutir diferentes temas de interés.
iii. Trabajo con contratistas	Al contratar a terceros, forman parte de las operaciones. Por lo tanto, deben cumplir con el código de conducta y normativas que le apliquen, así como las políticas de la empresa.
iv. Gestión de salud y seguridad ambiental.	Minimizar posibles impactos al medio ambiente, seguridad o salud, identificando las fuentes de ocurrencia para inhibirlas.
v. Derechos humanos.	Basados en salvaguardar los principios de la Declaración de Derechos Humanos, respetando los derechos de los trabajadores y grupos de interés.

Nota. Adaptada Reporte integrado (p.28), por Gold Fields, 2021

1.8. Principios de calidad

La empresa se rige a cumplir con normativas estrictas en calidad, medio ambiente y seguridad. Bajo el nombre de Sistema integrado de gestión de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente (SSYMA), las cuales son gestionadas por medio de certificaciones que se rigen cumpliendo procedimientos y estándares establecidos por la unidad minera (García & Díaz, Gestión de riesgos de derechos humanos, 2023).

- Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el trabajo: ISO 45001
- Sistema de Gestión Ambiental: ISO 14001
- Sistema de Gestión de Energía: ISO 50001:2018
- Distintivo de Empresa Socialmente Responsable.
- Premio primer puesto en la evaluación empresarial de “Buenas Prácticas Laborales” las cuales son impulsadas por el Ministerio de Trabajo.

- Reconocimiento Kallpa por emisiones eléctricas renovables 2021, 2022 y 2023.
- Obtención de una y dos estrellas en Huella de Carbono Perú.
- MERCO (Monitor Empresarial de Reputación Corporativa): Tercera empresa minera con mejor reputación en el Perú.
- Primer lugar en el reconocimiento 2023 de BEST INTERNSHIP EXPERIENCES.

1.9. Sistemas de seguridad industrial

El Sistema Integrado de gestión SSYMA se ha implementado teniendo como modelo las diferentes normas internacionales como ISO 45001:2018 (Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo), ISO 14001:2015 (Sistemas de Gestión Ambiental) e ISO 50001 (Sistemas de Gestión de la Energía). (Gold Fields, Sistema Integrado de Gestión, 2022).

1.10. Gestión de impactos ambientales

Gold Fields posee certificaciones internacionales que destacan su compromiso con el cuidado ambiental. Entre ellas se encuentran las normas internacionales: ISO 14001:2015 para Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) e ISO 50001:2018 para Sistemas de Gestión de la Energía. Además, la empresa cuenta con la certificación de la validación y reducción del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) conforme a la norma ISO 14064-1:2018, realizando medición de huella de carbono de diferentes proyectos (Honores & Cueva, Proyecto tratamiento de tierras impregnadas con hidrocarburos, 2017).

La empresa implementa programas diseñados para asegurar el cuidado ambiental detallados en las diferentes normativas. El cual está enfocado en áreas como el cuidado del agua, gestión de residuos, prevención de incidentes ambientales, de seguridad, generación de valor ambiental, social y económico mediante proyectos de impacto (Gold Fields, Reporte Integrado , 2022).

Como parte de los compromisos ambientales y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la empresa ha implementado proyectos de forestación en áreas no intervenidas (Gold Fields, Reporte Integrado , 2021).

CAPÍTULO II CARGOS Y FUNCIONES

2.1. Contexto laboral

El área de medio ambiente está integrada por un equipo de profesionales capacitados que desarrollan diferentes actividades como parte de sus funciones laborales. Esta área se divide en dos ramas principales, las cuales son: permisos y operaciones ambientales.

La primera área se encarga de gestionar los permisos ambientales necesarios para la operación, tales como el estudio de impacto ambiental de la empresa y sus modificaciones. En este primer semestre del año 2024, se encuentran en proceso de solicitud de la novena modificatoria del estudio de impacto ambiental, informes técnicos sustentatorios (ITS), plan de cierre de mina (PCM) entre otros según la necesidad de la operación. También gestionan permisos operacionales como la aprobación de la construcción de la presa de relaves y el plan de minado. Estas solicitudes requieren la elaboración de expedientes técnicos por especialidades como hidrología, sismicidad, geoquímica y otros, según lo requiera cada permiso. Por ello, se realizan coordinaciones permanentes con las áreas involucradas, consultores externos, abogados y autoridades respectivas.

En el desarrollo de cada solicitud de los permisos, se elaboran expedientes técnicos, estudios, planos y otros documentos que deben ser revisados y enviados a la autoridad correspondiente. Posteriormente, se debe responder a las observaciones que la autoridad realice en el plazo establecido para el levantamiento de estas y coordinar con las áreas involucradas según sea necesario. Este seguimiento se lleva a cabo hasta obtener los permisos requeridos, asegurando el cumplir con las diferentes normativas vigentes aplicables.

Además, el área se encarga de notificar a las autoridades con los informes requeridos de divulgación, como monitoreos ambientales, declaraciones de residuos y otras solicitudes específicas de las autoridades.

El área de operaciones de medio ambiente se divide en las siguientes actividades:

- ✓ **Supervisión ambiental:** Esta área se encarga de garantizar que se cumplan todos los compromisos y normativas establecidas y adquiridas por la empresa. Se realiza inspecciones en campo, verificación a puntos críticos, supervisión de monitoreos arqueológicos y los reportes de salida de residuos. Durante auditorías apoyan a las diferentes áreas siendo el soporte en temas ambientales, revisión documentos y otros.
- ✓ **Monitoreo Ambiental:** El equipo de monitoreo planifica, ejecuta y analiza los resultados de los monitoreos realizados a las estaciones de control externo. Estos monitoreos son realizados según los compromisos ambientales o seguimientos internos y se reportan periódicamente conforme a la normativa vigente. Asegurando controles de calidad durante el proceso correspondientes a los monitoreos según su cronograma. Los monitoreos se realizan con el apoyo de una empresa contratista, la cual está a cargo de realizar la toma de muestra según los cronogramas que el supervisor imparte, asegurando tener el material requerido para ello y los etiquetados correctos por punto de análisis. Se aplica controles de calidad durante el proceso, con muestras duplicados, viajeras o blancos para que el supervisor valide los resultados obtenidos por el laboratorio certificado por INACAL, del análisis de los resultados se realizan informes de monitoreo y reportes según requerimiento también se suben la información a la base de datos para tener un mejor control de la información.
- ✓ **Pruebas geoquímicas:** Esta área se encarga de implementar proyectos de mejora continua y generación de impacto ambiental positivo durante la

operación. Los proyectos incluyen la compactación de residuos sólidos no peligrosos, tratamiento de tierras impregnadas con hidrocarburos, proyecto de coberturas para cierre de mina llamado Tecnosoles, uso de biol para inhibir el polvo en las vías o tratamiento de residuos orgánicos. Además, administra como proyecto principal la zona de “Barrel Farm” es son un conjunto de pruebas con 151 barriles que contienen diferentes materiales extraídos de la unidad minera. Estos datos son utilizados para la simulación de un cierre de mina con inhibición de drenaje ácido, utilizando fuentes de álcalis por barril o material expuesto. Para ello, los datos obtenidos de las diferentes estaciones pueden predecir el comportamiento de los materiales en el tiempo, ya que estas han sido expuestas al medio ambiente de la zona en condiciones de altura, lluvias y diferentes temperaturas simulando el comportamiento de los materiales apilados en un cierre de mina futuro y en el tiempo. Para el seguimiento se realizan monitoreos trimestrales a los lixiviados de los barriles y se analizan parámetros como acidez, metales, sulfatos, alcalinidad, pH, conductividad, ORP, entre otros, estos ayudan a determinar el comportamiento de los materiales en un futuro, expuesto al medio ambiente con y sin tratamiento.

Las tres áreas trabajan de manera conjunta y coordinada asegurando cumplir con las normativas, el monitoreo constante que se realiza en la operación y la implementación de buenas prácticas que fomenten un impacto ambiental positivo en la comunidad local.

2.2. Descripción de cargos y funciones

Como parte del desarrollo profesional de bachiller de ingeniería química, He desempeñado funciones en los puestos de ingeniera junior de pruebas geoquímicas, ingeniera de medio ambiente y supervisora de medio ambiente y relaves. En el transcurso de los años, he asumido mayores responsabilidades y gestionado activamente con las

diversas áreas de la unidad minera, así como con la sede corporativa de la empresa para implementar estándares y desarrollar procedimientos, auditorias, entre otros.

Tabla 5

Cargos asignados

Puesto laboral	Fecha
Ingeniera junior de pruebas geoquímicas	Diciembre de 2015 a febrero de 2019
Ingeniera de medio ambiente	Febrero de 2019 a diciembre de 2022
Supervisora de medio ambiente	Enero de 2023 a la fecha

Nota. Descripción de cargos asumidos

En la tabla 5 se observa que durante el periodo 2015 a 2024, he ocupado diferentes puestos laborales, donde he desarrollado en diferentes campos profesionales dentro de la institución laboral.

2.2.1. Ingeniero junior de pruebas geoquímicas

El puesto de ingeniero junior de pruebas geoquímicas tiene como función principal el seguimiento al proyecto del barrel farm, asegurando las condiciones de los barriles según los materiales estudiados, seguimiento de los análisis de los lixiviados realizados, realización de informe de análisis de resultados, análisis geoquímico a los materiales utilizados en la construcción de la presa de relaves anualmente, seguimiento y realización de proyectos de impacto ambiental positivo, monitoreo de manantiales y piezométricos relacionados a la presa de relaves y apoyo al monitoreo ambiental requerido en las diferentes matrices agua, aire, ruido, vibraciones, biológicos o acompañamiento a monitoreos participativos o inspecciones de la autoridad como OEFA, ANA, etc.

Las responsabilidades incluyen la programación de monitoreos, toma de muestras, toma de parámetros en campo, toma de muestras de agua y preservación

según matriz a analizar, control de calidad con muestras duplicados, viajeras, blancos, el monitoreo ambiental de suelo, ruidos, vibraciones, aire, entre otros según el desarrollo de las actividades operativas y cronogramas.

Se llevan a cabo diversas actividades y procedimientos relacionados con los análisis y monitoreos para el análisis geoquímico como el análisis ABA de los materiales utilizados en la presa de relaves (muestras anuales o según crecimiento de la presa por capas, la realización de informes de análisis de materiales utilizados en la presa de relaves para reportes a la autoridad (anual), planificación y ejecución de monitoreos de pruebas geoquímicas, elaboración de un cronograma anual de monitoreos piezométricos, aseguramiento de la disponibilidad de material y reactivos, gestión de muestras (realización de cadenas de custodia, entrega a laboratorio, aseguramiento que las muestras perecibles lleguen ante de las 24 horas, etc), realización de informes de resultados de los monitoreos realizados o por requerimiento de la operación, ejecución de proyectos de mejora continua liderando los proyectos desde su concepción, ejecución, análisis y operación.

Como parte del control de calidad de monitoreo, precisión en la toma de muestras y datos recopilados se realizan los siguientes procedimientos: Planificación de monitoreos con muestras blanco, duplicado y muestras viajeras; preparación de muestras patrones de hierro, cobre u otros para validar que los resultados coincidan con la concentración de las muestras patrones, análisis de los resultados emitidos por el laboratorio certificado por INACAL, análisis de trazabilidad de los resultados obtenidos por estación con su comportamiento histórico de las muestras, integración a la base de datos y análisis de tendencias; elaboración de reportes semestrales del “Barrel Farm”, análisis de resultados realizado por empresa consultora externa. Las responsabilidades con respecto a las funciones de gestión y soporte administrativo incluyen la administración de recursos del área asignada, elaboración de presupuestos anuales, seguimiento de gastos durante mes a mes, balance anual de ahorro, gestión de

solicitudes de servicios específicos, adquisición de equipos, sensores u otros recursos, actualización y generación de procedimientos, IPERC, IVAAS o documento de gestión relacionados a las tareas/proyectos desarrollados, coordinación con otras unidades mineras para realizar intercambio de conocimientos y experiencias, comunicación con comunidades o autoridades para la realización de trabajos o actividades como monitoreos participativos, proyectos u otros.

Las responsabilidades del puesto destacan el aseguramiento del cumplimiento normativo, la gestión de datos ambientales de alta calidad y la mejora continua. Esto incluye implementar nuevos barriles para contener material de diversas áreas de la mina, facilitando el desarrollo de pruebas para controlar el drenaje ácido y asegurar un cierre seguro de la mina al menor costo posible. Se garantiza la obtención y manejo de datos ambientales como la calidad de agua y suelo, para tomar decisiones efectivas en el manejo de recursos. El proceso incluye la preparación de Lime Slurry(lechada de cal) y agregar limestone (caliza) a los minerales almacenados en los barriles, así como la recolección y análisis de muestras de aguas producto del lixiviado de las pruebas geoquímicas. Se realizan toma de datos de campo y colorimétricos de las aguas, garantizando la calidad de los análisis y cumplimiento con el cronograma de monitoreo ambiental.

Se asegura la correcta operación y calibración de los equipos de campo utilizados en el monitoreo ambiental. Se supervisa el cumplimiento de estándares y políticas ambientales en áreas operativas, asegurando el cumplimiento de la Política, así como los controles operacionales establecidos. Estas funciones aseguran el manejo efectivo y responsable de las operaciones ambientales y operativas en el área, promoviendo prácticas sostenibles y el cumplimiento riguroso de normativas internas y externas.

2.2.2. Ingeniero de medio ambiente

En el puesto de ingeniero de medio ambiente he incluido actividades previamente descritas como ingeniero junior de pruebas geoquímicas, pero realizando apoyo y soporte en el área de supervisión ambiental según requerimiento de la operación. Las actividades de apoyo son realizar el seguimiento al programa de inspecciones de áreas operativas según corresponda su guardia, se tiene que identificar, planificar y ejecutar el programa de inspecciones, asegurando el cumplimiento de procedimientos y documentos de gestión en campo para evitar incidentes y daños al medio ambiente, la propiedad y las personas. Se trabaja en la seguimiento y mejora del desempeño ambiental de contratistas, donde se asigna supervisar y asesorar a las empresas contratistas para asegurar un desempeño ambiental óptimo en la organización y prevenir incidentes ambientales. Asegurar el cumplimiento de los compromisos ambientales establecidos en los instrumentos ambientales y permisos operacionales, asegurando el trabajo correcto y evitar sanciones que no corresponden. Se realiza apoyos en la planificación y ejecución de Programas Ambientales, identificación de aspectos ambientales significativos en la operación, análisis de niveles de incidente, etc. Se desarrolla programas como inspecciones, manejo de residuos, monitoreos y gestión de aguas residuales, etc. Se gestiona los incidentes ambientales y analiza los eventos ocurridos para minimizar su ocurrencia, participación en supervisiones en campo y auditorías que se requieran para la recertificación o corporativas. Apoyo y elaboración y ejecución del plan de monitoreo ambiental, gestionando la calidad de los datos obtenidos y asegurando que la información sea procesada eficientemente para la toma de decisiones, la realización de informes externos de monitoreo ambiental y cumplir con los compromisos asumidos. Como parte de la gestión ambiental se realiza el soporte en la supervisión de las autoridades como Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERMIN), Autoridad

Nacional del Agua (ANA), Autoridad Local del Agua (ALA) o monitoreos participativos realizados con las municipalidades o autoridades.

En la tabla 6 presenta una organización detallada de las responsabilidades administrativas realizadas en el área de medio ambiente, divididas en dos áreas funcionales.

Tabla 6

Descripción las funciones administrativas y específicas

Área funcional	Actividades
Gestión de recursos y planificación	Administración de los recursos del área asignada conforme al presupuesto anual designada al área. Planificación de tareas proyectadas y solicitud de servicios necesarios para el área. Solicitud de servicios o comprar, gestionando con las áreas respectivas hasta la orden de servicio o bien solicitado.
Creación y actualización de procedimientos	Elaboración y revisión anual de procedimientos operativos. Consideración de aspectos de seguridad y ambientales en la actualización de procedimientos. Inclusión de instrucciones específicas para actividades realizadas en el área, garantizando la correcta implementación de los protocolos establecidos.

Nota. Destaca la gestión de recursos y planificación asegurando la eficiencia operativa cumpliendo con los estándares ambientales y de seguridad.

Figura 8

Monitoreo de agua



Nota. Monitoreo de campo a descarga de agua autorizada.

En la Figura 8 se observa la realización del monitoreo ambiental en un punto de descarga autorizado, aplicando el procedimiento de toma de muestras de agua.

2.2.3. Supervisor de medio ambiente y relaves

En el área de supervisión de medio ambiente y relaves en Cerro Corona mis responsabilidades principales son liderar, planificar, supervisar y gestionar actividades relacionadas a la implementación del estándar corporativo de gestión de relaves y el estándar global de gestión de relaves para la industria minera (GISTM). Asegurando el cumplimiento de estándares nacionales e internacionales para el correcto funcionamiento de la presa de relaves y cumplir con las medidas de prevención, mitigación y control de impactos al ambiente o sociales en lo largo de la vida de la presa de relaves desde su concepción hasta su cierre. Como parte de las actividades fundamentales a desarrollar es asegurar el cumplimiento de los servicios solicitados los que pueden ser: realización de expedientes técnicos, visitas a campo, inspecciones, auditorías, revisión de información y para ello también se deben realizar actividades de gestionar contratos, licitaciones y pagos de servicio a los servicios solicitados, validando documentos o reportes por los responsables de las áreas correspondiente y realizar presentaciones o reportes que reflejen el progreso y cumplimiento de la implementación de los estándares o acciones relacionadas a la gestión de relaves.

Dentro de las actividades relacionadas a la gestión de relaves está en organizar y ejecutar auditorías internas y externas con la debida participación de las diferentes áreas relacionadas al proceso, realizar seguimiento continuo a la implementación de los estándares, administrando y revisando o realizando documentos que se requieren como: Procedimientos, matrices, presentaciones, reuniones, entre otros; estas actividades son multidisciplinarias ya que se requiere de un constante trabajo colaborativo y compromiso

de las diferentes áreas para el desarrollo de talleres, evaluaciones, simulacros, capacitaciones y otros.

Dentro de mis responsabilidades incluye un rol integral en la Gestión ambiental, incluyendo:

i. Actualización de documentos ambientales del sistema integrado de gestión de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente (SSYMA),

Asegurando la correcta descripción de procesos y la valoración de aspectos ambientales en los documentos del Sistema de Gestión. Realización de hojas de datos de seguridad del material en sus siglas en ingles MSDS en formatos de la empresa relacionado a la evaluación ambiental, tomando como referencia las hojas de seguridad proporcionadas por el fabricante al igual que las evaluaciones ambientales para los servicios nuevos en la empresa, asegurando que aquellos contratistas cumplan también con las políticas y estándares de la empresa.

ii. Participación en proyectos principales, contribuir a la cuantificación de la huella hídrica y de carbono con el objeto de obtener el certificado azul y la tercera estrella por la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y participación en las actividades de la gestión geoquímica de la operación.

iii. Implementación del Estándar Global de Gestión de Relaves para la industria minera en sus siglas en ingles GISTM, liderazgo en implementar el nuevo estándar global de gestión de relaves para la industria minera (GISTM), emitido por el Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM), desarrollar procedimientos, protocolos, gestionar elaboración de estudios técnicos, análisis de riesgos, modelos de fallas y asignación de responsabilidades para cumplir con el estándar, organizar reuniones anuales multidisciplinarias para evaluar desafíos y planes de gestión,

coordinación para realizar auditorías internas, capacitación del personal en la gestión de relaves, genera reportes de seguimiento y cumplimiento, incluyendo el reporte de divulgación anual.

- iv. **Auditorías internas y autoevaluaciones**, gestión de auditorías internas y de seguimiento para asegurar el cumplimiento del estándar corporativo del GISTM, realizar autoevaluaciones de cumplimiento y auditorías con consultoras internacionales y peruanas. Alcanzando un 94.5% de cumplimiento en la última autoevaluación interna realizada en abril del 2024.
- v. **Revisión de documentos SSYMA y MSDS**, revisión y apoyo en la revisión de documentos ambientales de las diferentes áreas, validando los documentos gestionados por el área SSYMA antes de ser aprobados y emitir su versión final, de igual forma se elabora las hojas MSDS en el formato de la empresa, teniendo como base las hojas emitidas por el fabricante y así generar formatos aprobados y vigentes.

Figura 9

Autoevaluación corporativa de la implementación del GISTM



Nota. Cierre de autoevaluación de cumplimiento del GISTM

En la Figura 9 se muestra el proceso final de cierre de autoevaluación de cumplimiento del nuevo estándar de gestión de relaves, estuvo conformada por la participación del corporativo, consultora internacional, gerentes del área y representantes de la empresa del ingeniero de registro.

Tabla 7

Proyectos para la sostenibilidad

Gestión de aspectos ambientales		
Proyectos	Indicadores	Actividades
Medición de la huella de carbono.	Cuantificar la huella de carbono en la operación.	En el 2022, se desarrolló un inventario de gases de efecto invernadero (GEI) desde el año 2021 a la fecha. La metodología y los resultados de este inventario fueron verificados por una empresa externa y posteriormente presentados en el portal Huella de Carbono Perú del Ministerio del Ambiente.
Optimización para la gestión de residuos sólidos	Reducir el impacto de estos residuos con el objetivo de enviar menos a las zonas de almacenamiento o a los acopios.	Implementación de una compactadora para disminuir los volúmenes de los residuos y los viajes de disposición final de ellos. Se implementó un sistema de tratamiento de residuos orgánicos para la generación de fertilizantes líquidos y sólidos dándole valor agregado a los residuos.
Gestión de información ambiental – Monitor pro	Se manejan a través a la red para obtener la información de manera remota. Permite información automática ambiental. Información unificada, reportes de manera histórica, donde se ha integrado la base de datos.	Durante el 2022, se implementó un sistema para la estandarización de información disponible de los monitoreos realizados en la unidad minera, las cuales se almacenan en un sistema llamado Monitor Pro y se realizan reportes o alertas según lo programado.

Nota. Proyectos desarrollados para la sostenibilidad ambiental

En la Tabla 7 se describen diferentes actividades ambientales, enfocadas en la gestión de proyectos de mejora continua para la optimización del proceso ambiental en la unidad minera.

2.3. Responsabilidades según las normativas de la empresa

Las responsabilidades están directamente alineadas con las normativas de la empresa, especialmente en áreas como medio ambiente y relaves. La organización está sujeta a una serie de documentos normativos que regulan sus operaciones. Dentro del área de medio ambiente y relaves se requiere trabajar bajo las normativas que le corresponden de acuerdo con las normativas ambientales nacionales, compromisos adquiridos en sus instrumentos que regulan a la unidad minera como: monitoreos, calidad de agua, aire, agua potable residual, cierre de mina, cumplimiento a la gestión de relaves como CDA, ICMM y GISTM.

El Plan de Manejo Ambiental (PMA) está diseñado para mitigar los impactos ambientales según el Decreto Supremo N° 040-2014-EM de Perú. Este decreto establece las directrices para la proteger y gestionar ambientalmente la actividad minera, abarcando aspectos críticos como el manejo de relaves, gestión de residuos, protección de recursos hídricos y control de emisiones. El PMA asegura que las operaciones se alineen con estos estándares, garantizando prácticas responsables y sostenibles.

Cerro Corona opera bajo un Sistema Integrado de Seguridad, Salud Ocupacional, Medio ambiente y Energía (SSYMA) certificado según las normas ISO 14001:2015 para Sistemas de Gestión Ambiental e ISO 50001:2018 para Sistemas de Gestión de la Energía. Este sistema también incluye un inventario de Gases de Efecto Invernadero validado conforme a la norma ISO 14064-1:2018. El SSYMA se aplica de manera integral a todos los colaboradores, contratistas y visitantes en las instalaciones

mineras de Cerro Corona, el puerto de Salaverry y las oficinas administrativas en Lima, asegurando un ambiente de trabajo seguro y respetuoso con el medio ambiente.

2.4. Personal a cargo y sus responsabilidades

Durante el desarrollo profesional he contado con diferentes equipos de trabajo que han desempeñado funciones relacionadas con la gestión ambiental y de relaves, apoyando en todo momento con cumplir los objetivos del área, asegurando actividades operativas cumpliendo con las normativas correspondientes. Implica la supervisión directa de un equipo de profesionales dedicados a diferentes áreas operativas como:

Gestión de proyectos de cierre de minas y medio ambiente

- Ejecución y seguimiento de proyectos relacionados a cierre de mina.
- Supervisión en campo y control de calidad del desarrollo de las actividades requeridas para la ejecución de proyectos.

Supervisión y consultoría en geoquímica

- Implementación, ejecución y seguimiento en el proyecto relacionado a geoquímica.
- Interacción con los consultores sobre el seguimiento y análisis de los resultados obtenidos del monitoreo geoquímico.

Análisis y monitoreo geoquímico

- Toma de muestras y parámetros de campo.
- Interpretación y comunicación de resultados de análisis de lixiviados y muestras en campo.
- Elaboración de informes y reportes con resultados obtenidos.

Gestión de monitoreo ambiental

- Asegurar que los equipos de monitoreo se encuentren en buen estado y calibrados.
- Envío de muestras tomadas en el monitoreo al laboratorio externo.
- Seguir con los procedimientos y toma de muestras según los protocolos.
- Cumplir con los programas de monitoreo establecidos por el supervisor.
- Cuantificar y asegurar el material disponible para los monitoreos establecidos.
- Rotulado adecuado y gestión de cadena de custodia de muestras.
- Registro correcto de datos de campo y emisión de informes.

Gestión de relaves

- Realización de informes técnicos solicitados por el supervisor.
- Realizar inspecciones, auditorías y visitas a campo según el alcance de trabajo solicitado por el supervisor.
- Emitir informes de resultados de la evaluación realizada en las visitas a la unidad minera.
- Cumplir con las normativas específicas relacionadas a la gestión de relaves.

En la tabla 8 se registran siete puntos importantes que la empresa minera considera que cada colaborador, junto a su equipo de trabajo, debe cumplir en relación a cada función establecida. De esta manera, se identifican áreas de mejora, se proporcionan datos precisos sobre inspecciones en campo, se programan reuniones donde se evalúa el avance de los objetivos establecidos y se monitorea la efectividad de los proyectos ambientales. Además, se establecen metas para trabajar en proyectos de innovación.

Tabla 8*Actividades realizadas por el personal*

Ítem	Actividad	Descripción
I	Reportabilidad	Se implementan estándares y controles de calidad para garantizar resultados precisos y confiables. Además, se establecen procedimientos normalizados de trabajo para todas las actividades, asegurando el cumplimiento de normativas ambientales, de salud y seguridad ocupacional.
II	Planeamiento	Se definen objetivos claros para el proyecto de geoquímica en barriles, tecnosoles y otros proyectos determinando su alcance y los parámetros de campo necesarios. Se evalúan los riesgos asociados al proyecto y se implementan medidas de mitigación adecuadas. Además, se ejecutan protocolos y procedimientos para la recolección, manejo y almacenamiento de datos geoquímicos.
III	Implementación	Se ejecutan planes geoquímicos que incluyen muestreo, preparación de barriles, adecuación del área y monitoreo. Se realizan análisis según procedimientos y pruebas establecidas, asegurando controles de calidad y manteniendo registros detallados de los análisis realizados.
IV	Reuniones	Se expone, revisa y valida el proyecto con las partes involucradas. Se discute el alcance del proyecto, se revisan los planes de avance y se asignan nuevas responsabilidades para asegurar la continuidad. Además, se analizan los resultados del proyecto, se interpretan los datos, se identifican posibles cambios y se señalan áreas de mejora.
V	Empresas Contratistas	Comunicar claramente las actividades que se requieren para llegar a los objetivos trazados dentro de su alcance de trabajo. Implementar controles de calidad para la verificación de la precisión de los resultados. Búsqueda de soluciones para cualquier problema o desafío que surja durante la continuidad de las pruebas geoquímicas.
VI	Monitoreo y control	Se comunica claramente el objetivo del proyecto y las actividades necesarias para alcanzarlo. Se implementan diferentes controles para validar los resultados obtenidos. Además, se busca activamente soluciones para resolver

		cualquier problema o desafío que pueda surgir durante la ejecución continua de las pruebas geoquímicas.
VII	Evaluación y documentación	Se evalúan los resultados del proyecto en informes técnicos elaborados por la empresa consultora, que incluyen detalles de las actividades realizadas, tratamientos aplicados y resultados obtenidos. Se realiza una revisión con el equipo de trabajo para garantizar la precisión de los resultados, y se archivan los datos, informes y documentos relevantes para referencias futuras.

Nota. Acciones realizadas para el cumplimiento de objetivos en los proyectos

2.5. Función ejecutiva y/o administrativa

Las funciones administrativas incluyen participar en la elaboración del presupuesto, solicitud de pedido de servicios requeridos para el área, compras, auditorias, reuniones siempre enfocadas en el objetivo del área y la empresa. Planificar y ejecutar el programa de capacitación de gestión de relaves, gestionar espacios para la realización de talleres y reuniones, asegurar la implementación eficaz de los controles operacionales cumpliendo con el sistema de gestión integrad, y garantizar el cumplimiento de las políticas y procedimientos correspondientes.

La administración de los recursos y presupuestos implica la elaboración anual de presupuestos para el área, así como el seguimiento detallado de las actividades programadas. Desde la solicitud de servicios hasta la coordinación con compras y contratos, se asegura la gestión eficiente de recursos.

En cuanto a la coordinación de gestión, se responsabiliza de la gestión continua, incluyendo la aprobación y actualización anual de documentos para asegurar el cumplimiento de estándares en diversas áreas de trabajo y de su área correspondiente con aprobación de procedimientos y documentos ambientales. También es encargado de gestionar la coordinación para el ingreso de personal nuevo para un trabajo determinado, desde las capacitaciones, cumplimientos de requisitos y obtención de

Fotochecks, asegurando que se cumplan todos los requisitos específicos de la unidad minera.

La supervisión y seguimiento en campo implica realizar diferentes inspecciones en campo programadas e inopinadas asegurando que se cumplan con los procedimientos y normativas. Además, se revisan informes técnicos requeridos, valorizaciones de servicios realizados y se gestiona las solicitudes de pago de servicios, asegurando un control efectivo sobre las actividades operativas.

La revisión y actualización de documentación SSYMA es clave para mantener la integridad de la gestión ambiental. Incluye la revisión anual de gestión SSYMA relacionada con pruebas geoquímicas, monitoreo ambiental y estándares de relaves, así como la actualización de documentos como procedimientos, IPERC, y Matriz Ambiental, entre otros.

Durante las auditorías y sustentación, se asegura la correcta información, presentando documentación trazable y proporcionando asesoramiento en temas ambientales a otras áreas durante las auditorías programadas. Finalmente, la gestión y seguimiento presupuestario anual implica la elaboración y monitoreo del presupuesto del área.

2.6. Cronograma de actividades

En la empresa, en el área de medio ambiente, abarca diversos trabajos y proyectos que contribuyen al desarrollo profesional, desde la posición de ingeniero junior de pruebas geoquímicas hasta supervisor de medio ambiente. A lo largo del desarrollo profesional, he guiado estrategias y acciones para promover la sostenibilidad y garantizar el cumplimiento regulatorio. Se lidera iniciativas para mitigar impactos ambientales, implementando programas de gestión de residuos, integración de prácticas innovadoras que promueven la generación de valor agregado siempre al

medio ambiente, colaborando activamente en la introducción de tecnologías limpias para la mejora continua en gestión ambiental.

En la Tabla 9, 10 y 11 se detallan en orden cronológica mis actividades donde se tiene que asegurar el correcto funcionamiento y calibración de los equipos de campo para el monitoreo ambiental y las pruebas geoquímicas, apoyar la preparación de informes trimestrales sobre el monitoreo de la calidad del agua y del aire, realizar actividades de monitoreo ambiental con base en cronogramas establecidos, realizar análisis de campo de muestras de agua y asegurar el control de calidad de los análisis de agua de los diferentes proyectos.

Tabla 9

Proyectos como ingeniero junior de pruebas geoquímicas

Puesto laboral: Ingeniero junior de pruebas geoquímicas	
Fechas ejecutadas	Responsabilidades/Proyectos
Diciembre del 2015 - Actualidad	Seguimiento al proyecto de pruebas geoquímicas denominada "Barrel Farm".
Noviembre del 2016 - julio del 2020	Mejora en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos.
Septiembre del 2017 -febrero del 2018	Proyecto de tratamiento de tierras impregnadas con hidrocarburos.

Nota. Cronología de actividades ejecutadas

Tabla 10*Proyectos como ingeniero de medio ambiente*

Puesto laboral: Ingeniero de medio ambiente	
Fechas ejecutadas	Actividades
Mayo 2017 – julio 2022	Desarrollo de Tecnosoles para cierre de minas: Simulación y optimización de coberturas ambientales
Mayo 2020 - actualidad	Cuantificación de la huella de carbono en operaciones y proyectos: Evaluación de emisiones de CO2 con consultoría externa.
Febrero 2019 – noviembre 2020	Cuantificación de la huella hídrica y certificación azul: Colaboración con consultora externa en unidad minera.
Septiembre 2021 – octubre 2023	Preparación de Proyectos: Estructuración según bases de Concytec y documentación de logros y resultados.
Julio 2021 – noviembre 2021	Se presentaron proyectos de gestión de agua y residuos sólidos en el concurso de la UPC.
Mayo 2021-actualidad	Implementación de compactadora para reducción de volumen de Residuos no peligrosos.
Septiembre de 2015- marzo 2022.	Monitoreo ambiental: Establecimiento de puntos de control internos y externos para optimización de recursos.
Julio 2021 -2022	Participación en Auditorías Internas y externas de SSYMA y apoyo en gestión ambiental

Nota. Actividades ejecutadas en el según cargo asignado.

Tabla 11*Funciones y responsabilidades actualmente*

Puesto Laboral: Supervisor de medio ambiente y relaves		
	Responsabilidades	Actividades
Enero 2023 Actualidad		Administrar la implementación del sistema de gestión de relaves.
		Coordinar con consultores el soporte y acciones derivadas respecto a la estabilidad, construcción, análisis de riesgos de la presa de relaves.
		Planificación, presentaciones y capacitación en el manual de operación y gestión de relaves.
		Liderazgo y participación en auditorías e inspecciones de campo de la gestión de relaves.
		Liderazgo en la implementación integral en la implementación del estándar corporativo de gestión de relaves de Gold Fields.
		Organización de inspecciones y verificaciones externas para la gestión de relaves
		Realización y ejecución de talleres para análisis de riesgos y gestión de relave.
		Liderazgo en la gestión de gastos y seguimiento presupuestario de la gestión de relaves.
		Verificación, actualización y revisión de documentos SSYMA para gestión ambiental.
		Liderazgo en ejecución de proyectos ambientales y gestión de certificaciones

Nota. Descripción de actividades realizadas según el cargo asignado

CAPITULO III DESARROLLO DE LA ACTIVIDADES TÉCNICA Y APLICACIÓN PROFESIONAL

3.1. Contexto laboral

3.1.1. Labores y tareas ejecutadas

El proyecto de pruebas geoquímicas se desarrolló con el apoyo de consultores especialistas externos quienes realizaron la planificación y análisis preliminares para determinar los puntos de muestreo estratégicos y garantizar la calidad del proceso de instalación de barriles. Se supervisó la ejecución de procesos y coordinaciones con un laboratorio acreditado para llevar a cabo análisis de la composición mineral y las características del material extraído. La responsabilidad cae directamente en el seguimiento del proyecto de Barrel Farm, el bachiller supervisa y monitorea los 144 barriles instalados que contienen diversos materiales extraídos del tajo, botaderos, los cuales están expuestos al medio ambiente a condiciones climatológicas propias de la zona, por lo cual se evalúa el comportamiento de los lixiviados expuestos a los diferentes tratamientos de inhibición de drenaje ácido y de su muestra en blanco, con el objeto de determinar la mejor solución para neutralizar los drenajes ácidos en un futuro cierre de minas. Trimestralmente se planifica, coordina, ejecuta y analiza los lixiviados obtenidos en las diferentes estaciones como época de lluvia y estiaje con un laboratorio externo certificado, de igual forma se busca asegurar la correcta toma de muestras en colaboración con el personal operativo cumpliendo los procedimientos y protocolos establecidos con control de calidad tomando muestras blancos, viajeras, duplicados y muestras de concentración determinada creada bajo patrones, asegurando la correcta preservación y etiquetación antes del envío al laboratorio. Esto es realizado bajo la gestión previa para contar con los materiales necesarios para el monitoreo, se realiza la elaboración de informes semestrales con apoyo de un consultor externo o por el análisis , según las tendencias de las estaciones por los parámetros analizados.

Además de estas responsabilidades directas, lidero el desarrollo de proyectos ambientales para el cierre de mina y la gestión ambiental. Desde la fase inicial hasta la ingeniería, construcción, seguimiento y elaboración de informes de progreso, colaboro estrechamente con consultores externos para registrar avances, resolver inquietudes y garantizar el cumplimiento de estándares ambientales corporativos.

También superviso el seguimiento de piezómetros críticos para la presa de relaves, asegurando la adhesión a compromisos ambientales y la calidad de los análisis realizados por laboratorios externos. Realizó inspecciones regulares en el campo para verificar el estado de las instalaciones según los protocolos de la empresa, programando monitoreos periódicos para evaluar el rendimiento a largo plazo de los sistemas y elaborar informes técnicos esenciales para el plan de cierre de mina.

3.1.2. Conocimientos técnicos

Los conocimientos técnicos en ingeniería química son de suma importancia, ya que permiten gestionar de manera efectiva los procesos y la disposición adecuada de los diferentes residuos generados por la unidad minera. Esto asegura cumplir con los compromisos y normativas ambientales para minimizar el impacto al medio ambiente durante las operaciones. Además, innovar en el desarrollo de tecnologías, procesos sostenibles y métodos que mejoren la calidad ambiental. Esto implica identificar oportunidades para optimizar la eficiencia energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, de esa manera se contribuye a maximizar el uso responsable de los recursos y el cumplimiento de normativas y regulaciones ambientales. El rol requiere experiencia en Ingeniería Ambiental o campos relacionados, conocimiento en manejo de recursos naturales, cierre de minas, estándares de calidad

ambiental e interacciones con autoridades gubernamentales, consultores y proveedores.

En la tabla 12 se detallan los conocimientos técnicos aplicados en las actividades realizadas, los cuales fortalecen la capacidad de entendimiento y determinación en las ideas propuestas, contribuyendo a la mejora continua de la empresa.

Tabla 12

Descripción de conocimientos técnicos

CONOCIMIENTO TÉCNICOS	OBJETIVO	ACTIVIDADES
Química	Conocimientos de identificación de análisis químicos, determinación de parámetros físicos, químicos y biológicos.	Proyecto de barrel farm, monitoreos de agua, suelo, ruido y vibraciones.
Costos y presupuesto	Asegurar el presupuesto del área y la correcta gestión de recursos.	Se realiza los presupuestos anuales y a largo plazo, asegurando los recursos requeridos, así como los gastos realizados asegurando en todo momento cumplir con lo proyectado sin exceder los montos determinados.
Economía de procesos químicos	Conocimientos en procesos químicos para determinar los costos asociados a un nuevo proyecto.	Realización de proyectos que requieren simulación y determinación de capacidades, modelamiento, costos y consideraciones requeridas según los objetivos determinados.
Ciencias ambientales	Conocimientos de cursos como ecología, química, física, ecología que tengan relación en el medio ambiente.	Proyectos de cierre de minas. Inhibición del drenaje ácido. Proyecto de hidrocarburos. Proyecto de residuos orgánicos.
Tecnologías ambientales	Identificar diferentes tecnologías para monitorear, mitigar y tratar los residuos u otras áreas involucradas.	Implementar el uso de nuevas tecnologías limpias y eficientes en la operación.

Gestión de recursos naturales	Estrategias claves para la gestión de los recursos naturales.	Medir y controlar las emisiones Supervisar la calidad del agua Evaluar y gestionar medidas de control
Legislación ambiental	Conocer las leyes y regulaciones ambientales establecidas por el estado y aplicarlas a nivel local.	Asegurar que se cumplan las normas, leyes y regulaciones ambientales locales. Aseguramiento de los compromisos y normativa ambiental en la operación minera.
Evaluación de impactos ambientales	Conocer cómo realizar evaluaciones de impacto ambiental para los proyectos de desarrollo en la unidad minera.	Planificar, diseñar y ejecutar proyectos en la restauración de las áreas afectadas por la unidad minera.
Gestión de residuos	Determinar los residuos y cómo realizar una gestión de manera sostenible.	Gestionar los desechos generados en la operación de la unidad minera. Disponer los residuos de manera adecuada y disminuir los posibles impactos.
Cambio climático	Conocer los cambios actuales y cómo aplicar prácticas sostenibles que puedan reducir el impacto en el medio ambiente.	Estudios para evaluar los impactos en los ecosistemas alrededor de la unidad minera. Fomentar el uso de energías renovables. Trabajar en nuevas tecnologías para reducir las emisiones de carbono.
Educación ambiental	Desarrollar habilidades para comunicar los problemas que se presentan y promover soluciones.	Capacitar a los diferentes colaboradores de la mina sobre prácticas ambientales y gestión de relaves.

Nota. Conocimientos técnicos aplicados para la ejecución de actividades

3.1.3. Actividades complementarias

La empresa minera dispone de diversas herramientas de mejora continua que fomentan el trabajo en equipo y la participación en proyectos de innovación y tecnología. El objetivo es involucrar a los colaboradores para que aporten sus ideas. Entre estas

herramientas se encuentra el programa “**Ingenio evoluciona**”, que se reconoce como el canal de innovación destinado a buscar ideas novedosas que estén alineadas a la estrategia de negocio y generen valor a la empresa.

Evaluación de diferentes tecnologías para la prevención de drenaje ácido de mina: tratamiento alcalino vs. tecnologías verdes.

El objetivo principal del proyecto es asegurar un cierre de mina responsable que salvaguarde el medio ambiente, y promueva el reconocimiento de la empresa en términos de responsabilidad social y ambiental. Esto se logrará mediante la búsqueda constante de tecnologías e innovaciones, a la vez se evaluaron diferentes tecnologías para prevenir y tratar el drenaje ácido de mina, de manera más efectiva y ambientalmente responsable que permita un cierre de mina seguro. El proyecto se basa en la comparación de la realización de un tratamiento alcalino convencional el cual es el tratamiento de pruebas geoquímicas en el barrel farm y el uso de tecnologías verdes para inhibir el drenaje ácido de mina el cual fue usar tecnosoles como cobertura en los barriles identificados, esto con el objeto de determinar el comportamiento de los materiales dispuestos en los barriles en diferentes condiciones de exposición, las dos con el mismo objetivo de inhibir el drenaje ácido de mina y lixiviado metálico.

Estos proyectos, liderados por ingenio, contribuyen a posicionar a la empresa como líder en innovación y responsabilidad ambiental en la industria minera. Además, fomenta la mejora de trabajo en equipo y difunde una cultura de mejora continua, alineada con los objetivos de desarrollo sostenible.

En el anexo 5 se presenta la resolución que Concytec emite reconociendo a Gold Fields acreedor del beneficio por investigación y se reconoce al Gerente General.

Concurso creatividad comercial

La Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) reconoce cada año la innovación más significativa, destacando el impacto que las organizaciones tienen en el desarrollo sostenible. Es por ello, que la participación en el concurso “Creatividad empresarial”, se convirtió en una iniciativa para promover ideas dentro del ámbito empresarial en la unidad minera. El área de medio ambiente consideró oportuno innovar en la búsqueda de soluciones sostenibles, enfocándose en aspectos relacionados con la gestión ambiental y la sostenibilidad, incluido el cuidado de los recursos naturales. Se presentó un modelo de sostenibilidad en la gestión del agua dentro de la operación. Este modelo se basa en un sistema integral de captación de aguas pluviales en toda la operación, las cuales son utilizadas en el proceso metalúrgico. Posteriormente, estas aguas son tratadas para ser utilizadas como agua de compensación y para el control operativo, beneficiando así al mantenimiento del caudal ecológico del río Tingo y al desarrollo social de las comunidades que dependen de este recurso. Este proyecto innovador ha determinado diversos impactos positivos, como la creación de valor ambiental y económico, la gestión y conservación del agua, la compensación a las comunidades durante épocas de escasez hídrica, la protección de hábitats y ecosistemas.

En el anexo 6 se presentan de manera resumida los elementos clave de la propuesta de innovación empresarial, presentando la realidad problemática, las diferentes soluciones propuestas dentro del proyecto y las siete dimensiones estratégicas, priorizando los valores ambientales, sociales y económicos. Se observa la ceremonia de reconocimiento a las empresas que se encuentran en la final del concurso.

Tratamiento de tierra impregnada con hidrocarburos

Se generó tierra impregnada con hidrocarburo a partir de un incidente en la unidad minera, lo cual generó aproximadamente 120 toneladas de material que debían

ser dispuestos, se realizó un proyecto para tratar la tierra impregnada con hidrocarburos usando Biol (Materia orgánica fermentada líquida) aireación complementariamente, se lograron reducir en un 87% la concentración de hidrocarburos en la fracción F2 y cumplir con los estándares de calidad ambiental (ECA) para el suelo, el material fue dispuesto en un botadero minero y ya no dispuesto como material peligros, logrando reducir el impacto inicial generado. De igual forma el proyecto genero un ahorro económico debido a que ya no se necesitó contar a una EO-RS, para disponer el material si no se logró implementar este proceso en la operación.

Este proyecto de biorremediación utilizando Biol demostró ser una solución efectiva y sostenible para el tratamiento del suelo contaminado con hidrocarburos. Además de representar un ahorro económico para la empresa, esta idea innovadora y ambiental es fundamental para avanzar hacia una gestión más sostenible.

En el anexo 7 se describe la realidad problemática y el impacto positivo logrado mediante su implementación, como los resultados obtenidos durante el seguimiento del proyecto. A través de este proyecto se promueven buenas prácticas, así como la reducción de la huella de carbono y de esa manera se contribuye al cumplimiento con las regulaciones ambientales.

Uso de madera para elaboración de tecnosoles

Para la elaboración de tecnosoles se requirió el uso de madera como parte de sus insumos, por ello se, optó por utilizar las parihuelas existentes obtenidas producto de la operación en lugar de adquirir nueva madera, esto con el objetivo de generar un valor agregado a los residuos generados. Esta idea no solo contribuyó a la preservación de los bosques y a la disminución de la deforestación, sino que también representó un ahorro significativo en los costos de materia prima. Las parihuelas se reutilizaron dentro del proceso de elaboración de tecnosoles, promoviendo un cambio hacia la idea de que los residuos pueden convertirse en recursos.

Este proyecto presentado en ingenio ha impulsado una visión más sostenible, en el manejo de los materiales.

En el anexo 8 se detalla la problemática, la solución y los principales impactos de la idea propuesta. Destacando la reutilización, la reducción de residuos generando un impacto positivo a la gestión de la empresa. De esta manera, se contribuye con ideas más sostenibles en la unidad minera.

3.2. Actividad técnica

3.2.1. Descripción de la realidad problemática

En el Perú, la minería es una de las actividades más importantes, debido a su extenso potencial mineralógico. Según el Boletín Estadístico Minero del Ministerio de Energía y Minas, la producción de cobre aumentó un 19,8% en el 2023, mientras que la de zinc creció un 5,2% y la de molibdeno un 2,8%. La extracción de estos metales en operaciones implica la adecuación de diversos componentes, los cuales deben ser cerrados adecuadamente. Según el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), el cumplimiento de la Ley N° 31347 que regula el cierre de minas, estudios especializados por (Wachenfeld, 2018), destaca que la minería puede controlar impactos ambientales. Recomienda gestionar los de “impactos del sector” por medio del manejo de regulaciones, como medida preventiva para asegurar que la actividad minera cumpla con estándares de conducta esperados. También sugiere anticipar el cierre y el poscierre, implementando las medidas que sean de necesidad para el cumplimiento. Por lo tanto, es fundamental que la unidad minera Cerro Corona pueda planificar un enfoque que se centra en adaptar su estrategia de cierre, utilizando la información disponible para tomar decisiones validadas bajo sustento de información real. Ya que en este yacimiento se extraen principalmente sulfuros y otros tipos de materiales que son compuestos propios de la zona, al ya no estar en su forma natural, estar expuestos al medio ambiente y en contacto con el agua generan procesos dinámicos de reacciones

de biogeoquímica, químicos y físicos, debido a la interacción de agentes externos como el agua meteórica y el oxígeno. Estas interacciones naturales provocan oxidación, lixiviación y movilización de metales, generando acidez y constituyendo un potencial riesgo ambiental en las áreas de almacenamiento de desmonte. Para prevenir estos posibles sucesos, Cerro Corona ha desarrollado y continúa investigando en diversas alternativas para tratar los drenajes ácidos futuros y minimizar su potencial impacto ambiental en un post cierre. Desde el inicio de la construcción de la mina, se han llevado a cabo pruebas y análisis continuos de datos provenientes de las pruebas geoquímicas, tomados en campo para monitorear y registrar la evolución de estos procesos. Una de las estrategias implementadas en Cerro Corona es la simulación del comportamiento a largo plazo de los diferentes materiales extraídos del tajo, botades y relaves expuestos al medio ambiente y condiciones climáticas de la zona. El objetivo de Cerro Corona es tener un cierre de mina sostenible el cual tenga una estabilidad química, biológica, hidrológica, estabilidad y geoquímica del lugar devolviendo a si las zonas usadas en su operación al medio ambiente en condiciones más parecidas a las encontradas,

3.2.2. Definición del problema general y secundarios

La falta de conocimiento sobre la reacción de los materiales extraídos en las operaciones mineras al exponerse al ambiente puede generar diferentes impactos a futuro. Los minerales que tienen en su composición sulfuros metálicos como la pirita pueden reaccionar con los agentes geológicos externos y formar ácido sulfúrico o drenaje ácido de mina (DAM), este proceso puede liberar metales pesados que presenten riesgo ambiental.

Los diferentes materiales pueden contener metales pesados en su composición como el plomo, zinc, el cobre, arsénico, entre otros. Estos metales, al estar expuestos con agua de lluvia u otros líquidos, lixivian metales pesados.

La exposición a metales pesados u otros contaminantes generados por los materiales extraídos pueden causar daños a la salud o medio ambiente después del cierre de operaciones de la mina.

Es por ello que se realizan estudios desde el inicio de la operación minera para realizar ensayos de inhibición de drenaje ácido de mina, diseño de un cierre de mina de menor impacto o de diseñar la forma de disponer el desmonte en los botaderos. Estos estudios incluyen un estudio detallado del comportamiento de los materiales estudiados y ayudan a predecir su comportamiento en el futuro.

3.2.3. Justificación e importancia

Al tener información real del sitio y a condiciones normales, se tendrá una mejor planificación del cierre de mina, al proporcionarse una base de datos histórica sobre el comportamiento y la evolución de los materiales en el tiempo, permite actuar a futuro de manera informada. A través de diversos estudios se fundamenta un manejo adecuado de los posibles impactos ambientales y se trabaja en su mitigación. Entre estos estudios se incluyen las pruebas geoquímicas, las cuales identifican parámetros que deben considerarse en el plan de manejo de desmonte y del recurso hídrico. Estas pruebas permiten identificar qué materiales pueden causar drenaje ácido con mayor lixiviación de metales (AMD/ML). El objetivo es planificar adecuadamente el cierre de mina y determinar aquellos factores potenciales que determinan la gestión ambiental en la operación. Esto constituye significativamente al mundo minero ya que se genera un valor agregado positivo al contar con información real generada por más de 15 años, los estudios realizados son trazables y medibles porque han sido generados en el tiempo con materiales in situ, esta información proporciona datos verídicos que al unirse con herramientas o softwares pueden predecir el comportamiento de la operación hasta un cierre de mina, utilizándose esta actividad como ejemplo para otras operaciones quienes podrían utilizar la información en la ejecución de nuevos proyectos.

3.2.4. Antecedentes nacionales e internacionales

Antecedentes internacionales

La investigación realizada por (Vega, 2021), titulada “Evaluación de metodología para el escalamiento de pruebas de laboratorio para la predicción del potencial de generación de drenaje minero ácido en depósitos estériles”. Se analizan las fuentes potenciales de generación de drenaje ácido de mina por la concentración de sulfuros, los cuales al oxidarse generan acidez y movilización de metales y sulfatos debido a la lixiviación generada. La investigación utilizó datos recopilados entre los años 2014 y 2019 mediante la metodología razón campo/celda, identificando 1224 factores de escala. Se pudieron simular diferentes concentraciones con ajustes de pH, cobre (Cu) y sulfato (SO_4) valores fueron tomados en campo, los cuales permitieron tener tendencias aceptables en el terreno debido a la representación de la información obtenida.

En la publicación de (Murillo & Díaz, 2020), realizó el análisis mineralógico y el muestreo geoquímico de la relavera CEMM-1 en el distrito de Catac, Perú. Los estudios realizados revelaron que la relavera contaba con elementos pesados anómalos como vanadio (V), titanio (T) o molibdeno (Mo). Además, se identificaron sulfuros como la covelina argentífera. Con esta información, se determinó que los elementos tóxicos dentro del relave representan el 43,44%, clasificándolo como elementos penalizantes debido a su potencial impacto ambiental negativo.

En el análisis realizado por (Herrera L. , 2018), sobre la Geoquímica de Superficie de Depósitos de Relaves en Chile, se investigaron diversos tipos de muestras obtenidas de diferentes puntos y se registró lo siguiente: 914 datos de muestras de cubetas, 359 datos de muestras de muros, 262 datos de sedimentos abajo del depósito, 4 datos de depósito de relaves filtrado, 1 dato de relave en pasta, 3 datos de pulpa obtenido de la planta de flotación.

Los resultados del estudio identificaron la presencia de 235 depósitos activos, 1.232 depósitos inactivos y 76 depósitos abandonados. Se encontraron 12 elementos mayores presentes en los minerales formadores de la roca, con el nombre de óxidos, con la presencia de un contenido porcentual de azufre (S), así como 30 elementos frecuentes en trazas (menor a 1%) y 14 tierras raras elementales.

Antecedentes nacionales

En la investigación de (Robles, 2019), titulada “Evaluación de la estabilidad geoquímica de relaves sulfurados de Quiulacocha mediante el uso de cobertura biológica en medios no saturados con riego de efluentes doméstico a escala piloto”, el objetivo principal es evaluar la estabilidad geoquímica de relaves sulfurados y el potencial de impactos ambientales asociados a la estabilidad geoquímica. A partir de modelos geoquímicos, lograron predecir la estabilidad a largo plazo de los relaves y el potencial para generar drenaje ácido. Determinando que la aplicación de un método geoquímico específico permitirá mejorar la calidad del lixiviado, evitando la generación de ácido. Porque en el lixiviado existen metales que experimentaron una precipitación violenta debido a que existen bacterias de sulfato reductoras en los efluentes utilizados en el riego.

En el estudio realizado por (Chuchon, 2015), denominada Geoquímica de la compañía Minera Atacocha S.A.A. Incluyó estudios de caracterización geoquímica la cual evalúa la potencialidad para generar drenaje ácido del material característico, encontrado en el desmonte acumulado. Los materiales analizados fueron sometidos a una serie de ensayos analíticos, específicamente pruebas estáticas, que indicaron baja potencialidad para generar acidez debido a su baja concentración de sulfuros presentes. Además, se determinó una alta potencialidad para neutralizar de 11,12 y un pH de 8.80 para el material estudiado y se determinó que la zona de estudio tiene la capacidad de realizar un cierre adecuado que mantenga el ambiente estable geoquímicamente.

Según menciona (Manrique & Agurto, 2022), en su investigación llevada a cabo por el Ingemmet en colaboración con BGR, denominada Caracterización geoquímica y mineralógica de relaves mineros en La Ciénaga, La Libertad. Los resultados de los estudios indicaron que los depósitos analizados (5 relaveras) presentan una concentración ascendente de oro, con un valor promedio de 1.31 ± 0.27 ppm Au. Además del oro, se identificaron elementos como Arsénico (As), Plomo (Pb), Plata (Ag), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Azufre (S), Antimonio (Sb) y Zinc (Zn). Estos niveles van desde superficies lixiviadas hasta niveles altos y anómalos en profundidad. Se concluye que los relaves de La Ciénaga poseen características geoquímicas y mineralógicas que indican un potencial para la recuperación de oro. La pirita y arsenopirita se identifican como los portadores de oro principales en la fuente de este estudio, sugiriendo oportunidades para exploraciones futuras orientadas a la recuperación de los metales.

3.2.5. Objetivo General y Específicos

General

El objetivo del informe de trabajo por suficiencia profesional es describir las actividades en la investigación realizada en el proyecto de Barrel Farm y evaluar el comportamiento geoquímico de la serie 300 – Diorita PAG, en condiciones propias de la zona.

Específicos

- Evaluar el estudio geoquímico realizado en las pruebas de barril en el proyecto Cerro Corona y las características geoquímicas de los materiales extraídos del tajo, botaderos, calizas o relaves obtenidos de la operación minera.

- Simular el estudio de lixiviación a largo plazo y confirmar las características inciertas o determinadas de las pruebas estáticas en pruebas cinéticas para evaluar si persisten o cambian en el futuro.
- Determinar el comportamiento de las características geoquímicas y físicas de la serie más agresiva.

3.3. Marco conceptual y teórico de los conocimientos técnicos requeridos

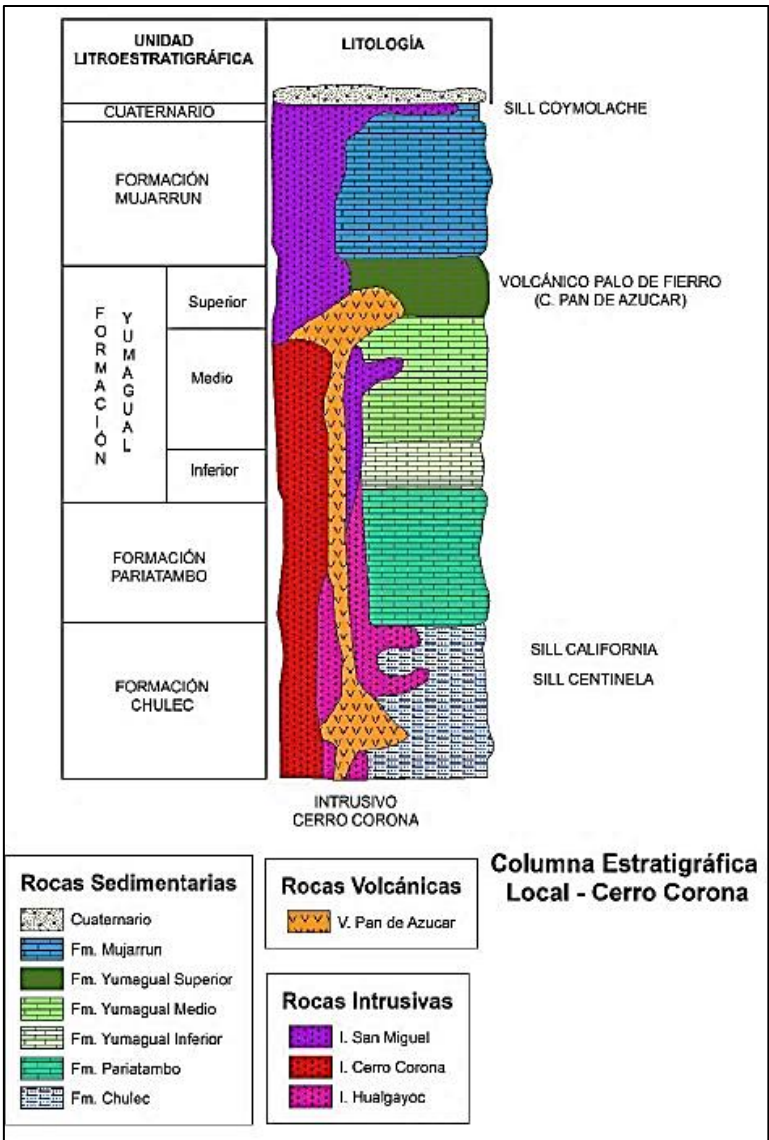
3.3.1. Geología local

El yacimiento minero Cerro Corona se caracteriza como un “cluster” de pórfido de Cu-Au, asociado a la actividad magmática calco-alkalina ocurrida entre los 15 millones de años a 13.5 millones de años. Se han identificado rocas del Cretáceo (hasta el periodo Albiano), las cuales consisten principalmente en areniscas, cuarcitas, calizas y limolitas calcáreas del Grupo Goyllarisquizga y rocas específicamente de las Formaciones Inca, Chúlec, Yumagual y Pariatambo. Además, se registraron cuerpos intrusivos como los domos de cerro Jesús, cerro San José, cerro Hualgayoc y el stock de cerro Corona. Las intrusiones dioríticas de cerro Jesús y cerro José datan de 10,5 – 14,3 millones de años atrás, mientras que la roca intrusiva riódacítica en cerro Hualgayoc es más reciente, con aproximadamente 7,9 millones de años de antigüedad, las rocas volcánicas de la formación Huambos, se encuentran en discordancia angular sobre las rocas volcánicas del Grupo Calipuy.

Las unidades geológicas proporcionan el contexto estratigráfico y litológico, como se muestra en la Figura 10, en el cual se emplaza el yacimiento de Cerro Corona, influenciando en la mineralización y el espacio geológico del depósito tipo pórfido de Cu-Au, (Jave, 2019).

Figura 10

Columna estratigráfica de las unidades geológicas



Nota. Adaptado de *calidad de la caliza en la unidad minera estudiada* (p.15), por Improyec Consulting, 2020.

3.3.2. Geología estructural

Los afloramientos locales están controlados por sinclinales y monoclinales con orientaciones de N 40° - 60° O y vergencias al Sur (NE de Hualgayoc). Se han identificado tres principales sistemas estructurales en la zona.

Fallas regionales, sinestras e inversas con orientaciones N 30° - 60° O

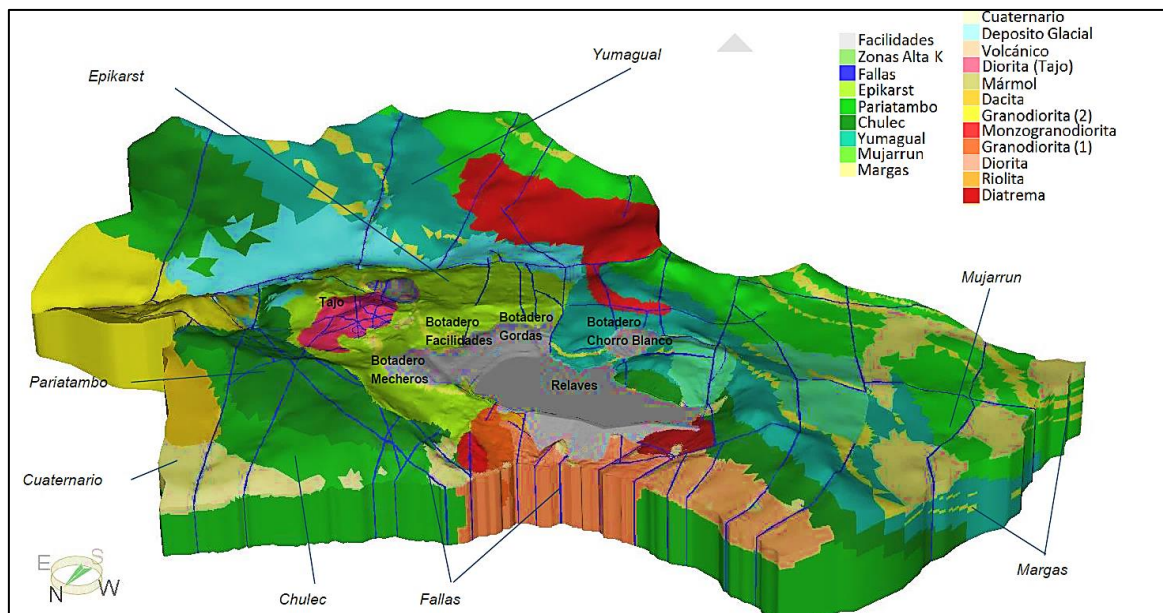
Sistema de fallas kilométricas, dextrales con orientación NE-SO

Estos dos sistemas estructurales controlan el emplazamiento de los sistemas complejos y polifásicos de pórfidos de Cu – Au de Cerro Corona (14,4 Ma), Cerro Jesús, Las Gordas (14.3 Ma). Además, el sistema de régimen transtensivo, contemporáneo a la apertura/reapertura de las fallas secundarias de orientación E-O, de carácter sinistral y dextral (Baumgartner y otros, 2016).

En la Figura 11 se puede observar el modelo geológico de la unidad minera, donde se observa el detalle de los materiales que componen al yacimiento, descripción de los componentes como de las falla o karts de la zona.

Figura 11

Modelos de unidades geológicas



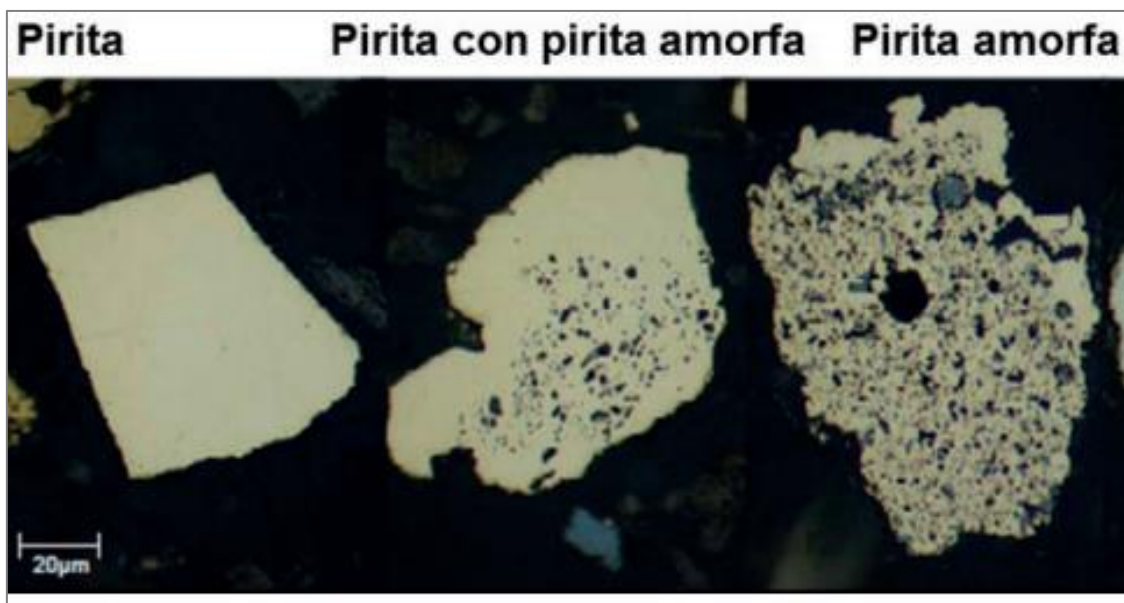
Nota. Adaptado de *Calidad de la caliza de la mina estudiada* (p.68), por Improyec Consulting, 2020.Mineralogía

El tipo de alteración, así como la distribución espacial y el contenido de cobre y oro, fueron criterios de selección para asegurar la representatividad de la ocurrencia de las alteraciones en el depósito. Se han de determinar dos tipos de pirita: pirita común y pirita amorfa. La pirita amorfa presenta oquedades y parece ser el resultado de una recristalización con contenidos de hasta 1.7 % de cobre y hasta 0.1 % Arsénico. (Baumgartner y otros, 2016).

En la Figura 12 se observa la ocurrencia de los tipos de pirita que puede ser por textura porosa y la pirita tipo amorfa

Figura 12

Ocurrencias de los tipos de pirita



Nota. Adaptado de Cerro Corona: evolución de los modelos geológicos, vectorización geofísica y sus implicancias para el incremento de recursos mi - Revista Minería

3.3.3. Distribución geoquímica

En la unidad minera a estudiar tiene cuatro zonas de mineralización los cuales son: supéreno, mixto, óxidos e hipógeno. El hipógeno actualmente es minado y contiene

una mena principal de calcopirita con contenido de bornita menor (Sarmiento y otros, 2021).

El hipógeno experimenta oxidación producto de estar expuesto a la intemperie, lo genera 2 tipos de mineralización supérgena, las cuales se presentan en capas de oro libre en la parte superior y infrayacente que contiene calcocita y covelita lo que se genera por removilización y enriquecimiento del cobre, las capas son paralelas y tiene un espesor máximo de 40 metros. Entre ellos se encuentra una capa intermedia difusa conocida como “mixto”, que funciona como una zona de transición entre dos capas (Jave, 2019).

3.3.4. Pruebas geoquímicas

Los ensayos de las muestras extraídas de la unidad son pruebas cinéticas representativas que pueden ser lineal, puntual, integral o global. Son fragmentadas y expuestas a la intemperie y producto de las precipitaciones de las lluvias genera un proceso de lixiviación, donde se produce una extracción sólida – líquido interno que disuelve uno o más componentes del sólido (Skousen, 2014).

En Cerro Corona se llevó a cabo un proceso con el apoyo de una consultora especializada, se analizaron las diferentes zonas de la unidad minera para seleccionar aquellas zonas estratégicas para la operación, se tomaron muestras representativas las que fueron trituradas y colocadas en barriles de plástico, considerando por cada muestra 200 kg de material extraído, por cada zona muestreada se realizaron 4 ensayos, las que fueron expuestas naturalmente y tratadas con compuestos alcalinos como cal y carbonato de calcio en diferentes concentraciones. Este proceso, facilitado por las condiciones ambientales y las lluvias, genera aguas lixiviadas que pueden ser de carácter ácido y básico. Estas aguas fueron analizadas para determinar parámetros químicos significativos como pH, ORP (potencial de óxido – reducción), metales, acidez y otros. (Jave, 2019).

3.3.5. Drenaje ácido de mina (AMD)

Se caracteriza por un pH bajo que resulta en un entorno ácido y en altas concentraciones de metales. La oxidación de minerales ricos en sulfuros, como la pirita (FeS_2), es la principal causa del AMD, este proceso ocurre de manera natural, especialmente en grandes afloramientos de minerales sulfurosos que están expuestos a la meteorización y hay acceso a agua superficial y/o precipitación intensa (Herrera G. , 2020).

3.3.6. Drenaje ácido de roca (DAR)

Se da producto de la oxidación de roca, especialmente sulfuros, considerando diversos entornos, no solo en ambientes mineros. La oxidación de la pirita, pirrotita, marcansita, al estar expuestos al oxígeno y agua, sigue la reacción: Sulfuro mineral + Oxígeno + Agua = Sulfato + Acidez+ Metal. Este proceso resulta en la producción de acidez con contenido alto de ácido sulfúrico y contiene metales en contenido principal de: hierro, manganeso y aluminio. (Zamora & Meza, 2022).

3.3.7. Factores controladores de la generación de acidez

Los principales factores en los depósitos minerales son:

Minerales de sulfuros reactivos: Son los sulfuros de hierro, un ejemplo es la pirita FeS_2 , abundantes en los pórfidos cupríferos. Otros minerales de hierro también presentes, aunque en menor cantidad, pueden afectar la calidad del drenaje debido a su potencial de reacción más rápida, acelerando el proceso de generación de acidez (Herrera L. , 2018).

Microambiente: La distribución y contenido de los sulfuros varían entre diferentes materiales. La generación de acidez es favorecida por altos contenidos de pirita, exposición de aire adecuada y agua. A diferencia de materiales con menores

concentraciones de pirita o saturados en agua, tienden a generar menos acidez (Julca, 2020).

Agentes Oxidantes: El pH requiere oxígeno en determinados rangos para la oxidación de sulfuros con contenido de hierro y formación del ión de hierro +3, La presencia de oxígeno atmosférico o soluciones del ión de hierro +3 facilita la oxidación de sulfuros, aumentando la acidez del drenaje. (Julca, 2020).

pH: La pirita se oxida lentamente con un pH en el rango de 4 a 7 o sin presencia de oxígeno, el Fe^{3+} se encuentra limitado debido a la poca solubilidad del $\text{Fe}(\text{OH})_3$. En sistemas cada vez más ácidos, el ion férrico es cada vez más soluble, oxidando rápidamente a la pirita a valores de pH bajos (Herrera G. , 2020).

Temperatura: La velocidad de oxidación química y biológica es limitada a pequeñas temperaturas incluso menores que a condiciones ambientales, la velocidad de oxidación disminuye a una temperatura menor a 4°C, la generación de drenaje minero ácido aumenta con el incremento de la temperatura (Mallén & Chávez, 2023).

Bacterias: EL control más importante en la generación del drenaje ácido es la oxidación bacteriana del ion ferroso a férrico. Ya que existen varias bacterias que se desarrollan (como la *Sulfobacillus acidophilus*) que a pH inferiores a 4,5 son capaces de aumentar la velocidad de la oxidación de la pirita, oxidando el ion ferroso a férrico (Manrique & Agurto, 2022).

3.4. Propuesta y contribuciones de su formación profesional

3.4.1. Objetivo y justificación del uso de las técnicas propuestas

Se consideran los siguientes objetivos:

- Determinar los parámetros principales, físicas y geoquímicos en las distintas muestras de barriles.

- Evaluación de la efectividad de diferentes fuentes de alcalinidad para reducir la acidez.
- Identificar parámetros críticos como el pH, acidez, metales y la reacción que tienen con la adición de fuentes de alcalinidad.
- Análisis de los factores que controlan los procesos geoquímicos de los relaves RST (Rougher Scavenger Tailings) y CST (Cleaner Scavenger Tailings) y su evaluación de su potencial de acidez.
- Predicción del comportamiento ambiental de materiales específicos expuestos al medio ambiente.
- Analizar la lixiviación secuencial de barriles apilados.
- Utilización de la base de datos para el diseño de cierre de minas.
- Mejora en la predicción del comportamiento de los materiales.

Las primeras técnicas propuestas fueron para establecer diversos criterios de manejo de materiales en la unidad minera.

3.4.2. Cálculos y determinaciones de indicadores de gestión para evaluar y monitorear la propuesta

Se desarrolla un programa de investigación geoquímica para pruebas cinéticas in situ que evalúan diversos tipos de materiales, como desmonte, mineral y relaves.

Pruebas estáticas y cinéticas

Se realizaron las pruebas geoquímicas de barriles bajo condiciones climáticas locales, para especificar las predicciones de drenaje ácido, neutro y lixiviación de metales basado en las pruebas estáticas y cinéticas, realizando diferentes cálculos en las tasas de consumo: de sulfuros, basado en el SO_4^{2-} lixiviado de los barriles; y de neutralizantes (Kuramoto & Glave, 2022)

Pruebas estáticas: Este tipo de pruebas proporciona una evaluación rápida de la reactividad de material, como las características químicas del material. Permitiendo predecir el proceso de formación de drenaje ácido (Honores, Programa de pruebas geoquímicas, 2023).

Pruebas cinéticas: Este tipo de prueba proporciona una evaluación más efectiva en los procesos a largo plazo. El más utilizado es de celdas húmedas (HCT), para relaves, que consiste en la lixiviación continua mediante ciclos de exposición: 3 días aire seco, 3 días aire húmedo, y la aplicación de agua desionizada de manera directa en el séptimo día, durante por lo menos 20 semanas, según como indica el (protocolo ASTM 5744-07). (García & Díaz, Gestión de riesgos de derechos humanos, 2023).

Aditivos para tratamientos

Carbonato de calcio

Se añade al agua o al suelo ácido y reacciona con los ácidos presentes, como el ácido sulfúrico, formando bicarbonato de calcio (HCO_3^-) y agua. La reacción también resulta cuando el pH del medio ambiente se eleva, ya que el bicarbonato de calcio es una base débil (De La Cruz Lima, 2019).

Lechada de cal

Este compuesto es utilizado como neutralizante, para que el pH de los metales pesados se regularice y ya no puedan disolverse. Ya que hay ciertos metales pesados según su composición química como el zinc (Zn), el hierro (Fe) y el cobre (Cu) precipitan a un pH aproximado de 9,5. Otros metales pesados como el cadmio (Cd) y el níquel (Ni) necesitan un pH más alto de 10,5 a 11 para precipitar en los hidróxidos formados. (Maree et al., 2013).

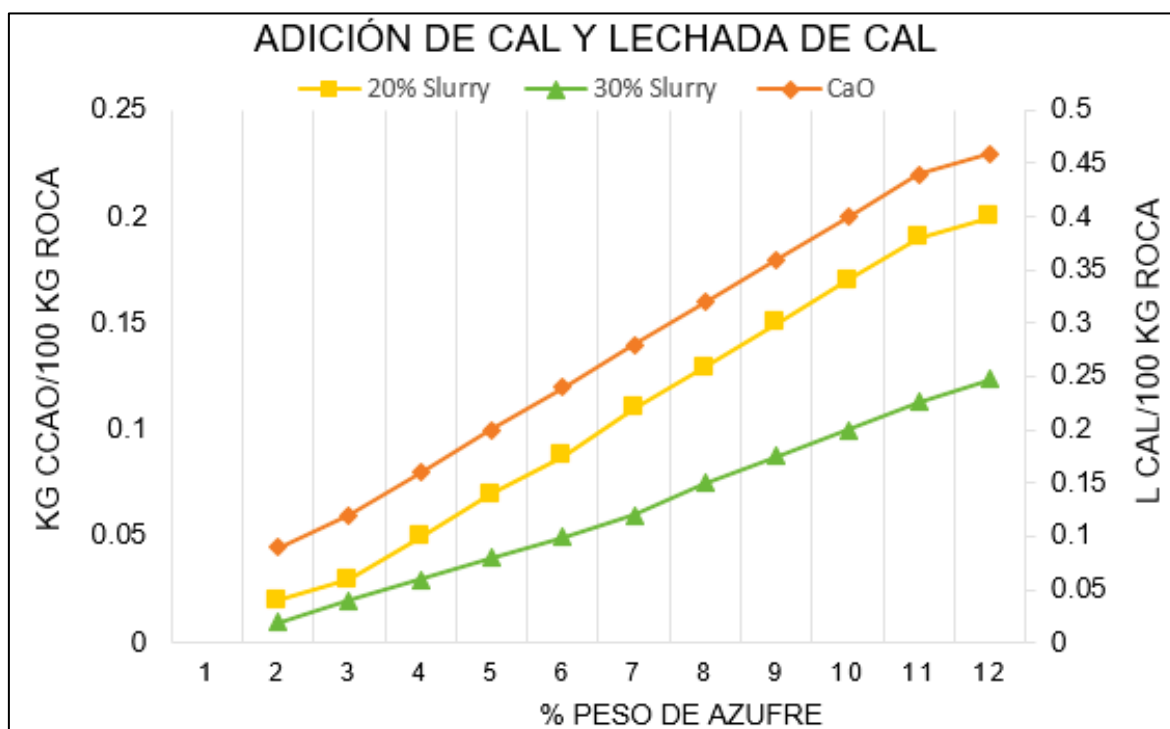
Tratamientos

Procedimiento A

Este procedimiento se inicia añadiendo a las muestras dos reactivos neutralizantes uno que es el carbonato de calcio y el segundo reactivo es la lechada de cal. Las cantidades están en relación a las indicaciones plasmadas en el gráfico de la Figura 13 y Figura 14 que indica las cantidades que se debe adicionar para neutralizar la acidez. (Honores, 2023)

Figura 13

Adición de Cal y Lechada de Cal



Nota. El gráfico representa la correlación de adición de Cal y Lechada de cal.

A continuación, se detalla la ecuación con la que se calcula el volumen de la lechada de cal que se añadirá a cada barril (Inproyen Consulting, 2019).

$$Y = \frac{0.437(\text{wt}\%S)\text{Slurry}}{100\text{kgRock}}$$

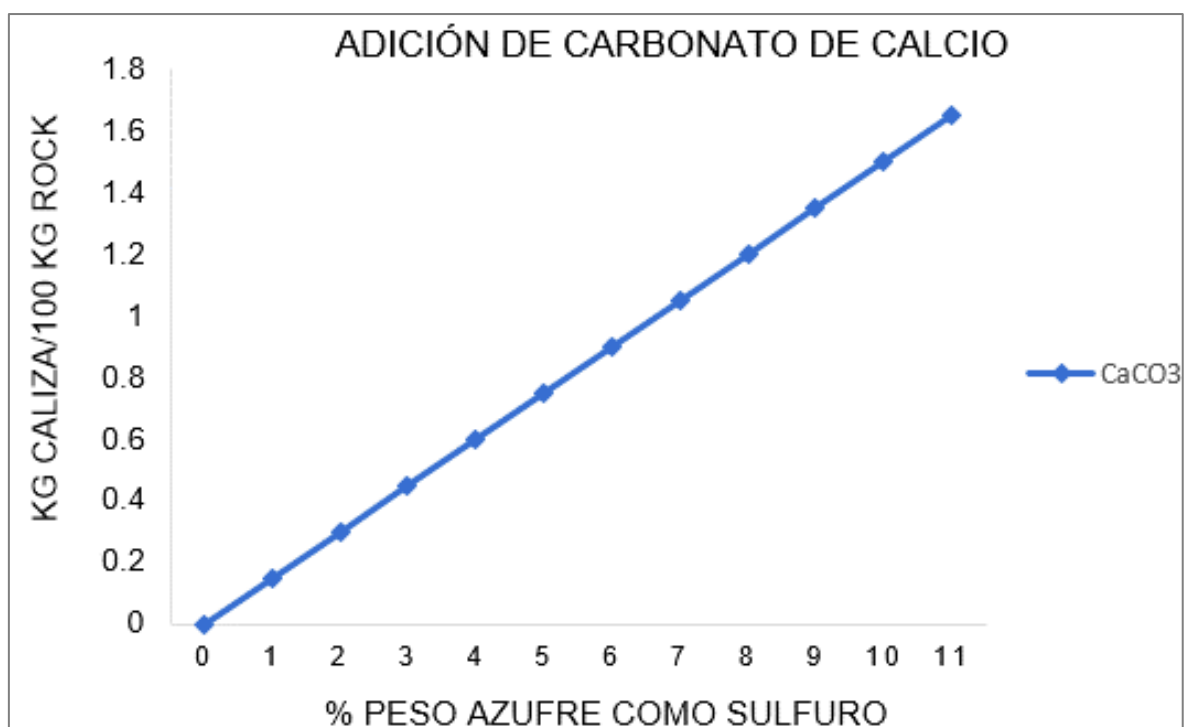
Ejemplo:

Se tiene un material con 3.72 S (wt%) y una masa de 198 kg.

$$\frac{0.437 \times 3.72 \times 198 \text{ kg roca}}{100 \text{ kg roca}} = 3.22 \text{ L lechada de cal.}$$

Figura 14

Adición de Carbonato de Calcio



Nota. El gráfico representa la correlación de adición de Carbonato de calcio.

$$* y = \frac{0.16(\text{wt}\%S)\text{kgCaCO}_3}{100\text{kgRoca}} *$$

Procedimiento B

Con respecto al tratamiento B se basan en los procedimientos realizados por Shannon Shaw tomado del informe plasmado denominado (MESH Environmental

Inc.) las cantidades añadidas deben ser de acuerdo como se indica en la Tabla 13 y 14, que va en relación a la cantidad de cal y el pH (Honores, 2023)

Tabla 13

Dosificación de CaO según el pH en pasta.

pH en pasta	Cal (CaO)/t	Cal (CaO) /barril (se asume 200kg de roca por barril)
<3.	7.1 kg/t	14.2
3-4	7.1kg/t	1.42
4-5	0.71kg/t	0.142
>5	0.071kg/t	0.0142

Nota. Comparación de la dosificación de CaO en base al pH.

Tabla 14

Dosificación de CaCO₃ según % de azufre total

Para la producción de acidez	
Caliza (CaCO ₃) en kg/t = 5.9654xTotal S (%)	Barril E (capas) y F (mezcla).
Caliza (CaCO ₃) en kg/t = 62.5xTotal S (%)	Barril G.

Nota. Comparación de la dosificación de CaCO₃ en base al azufre.

Muestra

Materiales extraídos de: superficie del PIT, depósitos de desmonte y de la planta de Procesos (relaves)

Series y subseries geoquímicas

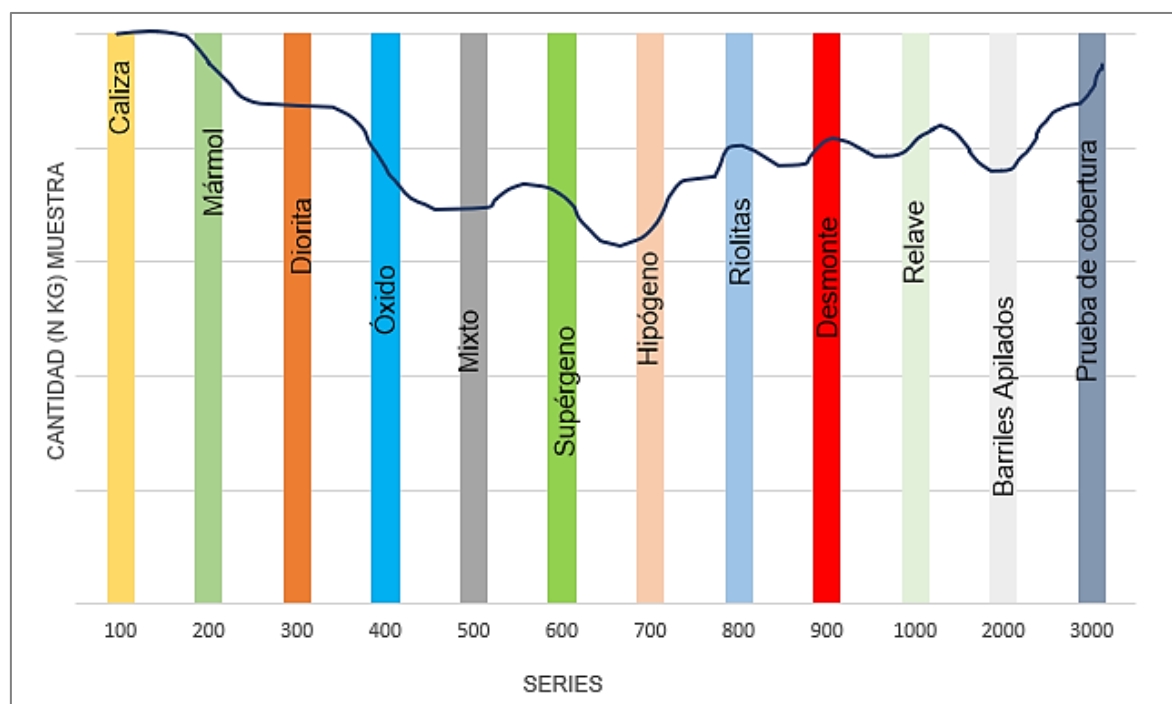
Las muestras se clasificaron en 12 series, como se puede diferenciar en la Figura 15, con la finalidad de conocer la interacción de los materiales y su reacción a la exposición ambiental.

Los barriles de las series desde (100 a 900), presentan en su composición materiales de un solo tipo de litología; sin embargo, la serie 2000 se constituyó a partir

de la unión de 02 barriles existentes, uno apilado encima del otro, esto se realizó en base a un previo análisis geoquímico con la finalidad de comprender la interacción de dos tipos de materiales. La serie 3000 lo conforma material de desmonte, como las dioritas mezcladas con arcilla proveniente del pit lo cuales tienen presencia de azufre.

Figura 15

Clasificación en series de las pruebas geoquímicas



Nota. El gráfico representa las series identificadas según el tipo de material.

Para cada serie se realizó diferentes procedimientos como:

A partir de las series se clasifico en subseries para que se realice a los barriles diferentes tratamiento, en la Tabla 15 se muestra la clasificación desde la serie 100 hasta la 3000.

Tabla 15*Subseries de las pruebas geoquímica*

PRUEBAS GEOQUÍMICAS	
Identificación y análisis por series	
Series	Subseries
100: Caliza con Sulfuros	Las subseries se dividieron de acuerdo a los tratamientos establecidos, siendo un total de siete (A; B; C; D; E; F; G)
200: Mármol	
300: Diorita PAG	
400: Óxidos	
500: Mixto	
600: Supérgeno	
700: Hipógemo	
800: Riolitas	
900: Desmonte del WSF	
1000: Relave RST y CST	
2000: Barriles apilados (Stacked Barrels)	
3000: Pruebas de cobertura	

Nota. Se describe la identificación de pruebas geoquímicas en base a las series y tratamientos.

Instalación de barriles

Se inicia mezclando el mineral con la cantidad de cal y de carbonato de calcio y luego se añaden al barril, previamente los barriles fueron rotulados incluyendo información de laboratorio (Honores, 2023).

A continuación, se detalla los pasos y métodos aplicados para la ejecución del proyecto.

Método N.º 1: Prueba sin circulación de oxígeno

- Uso de baldes de 120 L
- Realizar un agujero a 2 cm de la base del barril

Cada agujero debe tener acoples de PVC (½").

- Conectar con una manguera reforzada de 3/4" al acople de PVC, la manguera de 3/4" debe tener longitud de 1m.
- Acoplar a la punta de la madera, a la tapa de baldes de plásticos de 50L, los que recolectaran el lixiviado de cada barril.
- Sellar el agujero de la tapa con silicona para evitar filtraciones que puedan alterar la muestra de lixiviado.
- Colocar 5 cm de grava de cuarzo de tamaño 1/2" en la parte interna de cada barril, formando una capa de la base.
- Sobre la capa de grava, colocar una cubierta de geotextil. Esta capa actúa como filtro dentro del barril, asegurándose que el lixiviado pase a través de la grava y el geotextil antes de ser recolectado por la manguera. (Honores, Programa de Pruebas Geoquímicas, 2023)

Método N° 2: Pruebas con circulación de Oxígeno

- Preparar cuatro barriles con los pasos descritos anteriormente.
- Disponer de tubos de plástico con las longitudes siguientes: 97 cm, 80 cm y 59 cm.
- Perforar los tubos a lo largo de toda su longitud para permitir que al interior del barril circule el O₂ y CO₂ del ambiente. (Honores, 2023)

Homogenización del mineral

Por cada tipo de material geológico se recolectaron dos toneladas, las cuales se cuartearon. Luego se trituro el material hasta alcanzar diámetros menores a 4" y se homogeneizo. De cada parte cuarteada se extrajeron 50 kg de material para llenar cada barril (Honores, 2023)

Conformación

A partir de cada tratamiento seleccionado (A, B, C, D, E, F o G), los barriles fueron llenados con los materiales correspondientes y se aplicaron los diferentes álcalis. En la Tabla 16 se detalla el tipo de tratamiento añadido, asignando un color distintivo a cada barril para identificar los procedimientos correspondientes. (Honores, 2023)

Procedimiento A

Tabla 16

Clasificación de colores de los barriles

Barril rojo (A)	Mineral sin adición de reactivo.
Barril naranja (B)	Mineral con adición de Carbonato de Calcio (CaCO_3)
Barril verde (C)	Mineral con adición de lechada de cal.
Barril azul (D)	Mineral con adición de 50% (CaCO_3) y 50% Lechada de cal.

Nota. Se describe los tratamientos realizados y estos separados de acuerdo con el color del barril.

- Barril A: Se añadieron los 4 sacos de mineral, cada uno de aproximadamente 50kg.
- Barril B: cada 50 kg de material añadido, se agrega carbonato de calcio el cual fue previamente calculado y se repite 3 veces más el proceso.
- Barril C: Se repite el procedimiento anterior, pero se considera la adición de cal como lechada.
- Barril D: En este barril se adiciona en cada capa carbonato de calcio y lechada de cal, repitiendo el procedimiento del barril B. (Honores, 2023)

Procedimiento B

La cantidad de CaO y CaCO_3 se determina mediante cálculos basados en el porcentaje total de azufre del mineral.

En la Figura 16 se pueden observar los barriles en el campo, los cuales se diferencian por color y fueron tratados de acuerdo con los métodos mencionados a continuación.

- Barril A: Se agregó la muestra pura sin dosificar CaO ni CaCO_3 .
- Barril E: Cada 50kg de material se agrega CaO y CaCO_3 por capas, según lo calculado anteriormente y en cada capa se agrega un cuarto del peso del reactivo calculado.
- Barril F: Se dosificó el CaO y CaCO_3 homogenizando con el material en el piso y posteriormente se llena el barril.
- Barril G: Se dosificó según el barril anterior.

Figura 16

Zona de pruebas geoquímicas



Nota. Adaptado de Lugar de ejecución de pruebas

Para el mejor análisis de los procesos, los materiales clasificaron de acuerdo con la generación de Drenaje Ácido como Potencial (PAG), inciertas o No PAG, estas clasificaciones se basaron en las pruebas estáticas (ABA de dic. 2007 – feb. 2008) y las

cinéticas (barriles desde enero 2007), donde se calculó la tasa de consumo de sulfuros, mediante la lixiviación de SO_4^{2-} en los barriles. La capacidad neutralizante se evaluó con Ca^{2+} y Mg^{2+} provenientes de carbonatos, comparando la alcalinidad acumulativa que reacciona con los sulfatos liberados.

Al iniciar las pruebas los lixiviados se analizaron semanalmente a partir de enero de 2008, con excepción de la serie 900 que se incorporó en 2009 y la serie 3000 en 2012. Posteriormente, se realizó un monitoreo mensual a trimestral.

En la Figura 17 se muestra el proceso de monitoreo trimestral, utilizando un multiparámetro que permite medir los datos de pH, CEI, ORP y T.

Figura 17

Monitoreo de pruebas geoquímicas



Nota. Monitoreo trimestral a la zona de Pruebas Geoquímicas

Una vez recolectados los datos de campo, se realizaba el procesamiento geoquímico para el tratamiento de los datos donde se emplearon técnicas específicas las cuales se detallada en la Tabla 17, las cuales garantizan el cumplimiento de los tratamientos establecidos.

Tabla 17*Técnicas para el tratamiento de datos*

Tratamiento de datos	
Técnicas	Acciones y consideraciones
Filtrado, análisis y visualización de datos	Cálculo del promedio mensual y trimestral de los parámetros monitoreados en cada barril
	Concentraciones menores al LD iguales a LD/2
	Filtrado de datos según el tipo de muestra y material de mezcla.
	Homogenización del formato de fecha
	Homogenización de nombre de barriles
	Cálculo de agotamiento de sulfuros y neutralizantes en el tiempo junto con la representación gráfica por serie y material (barril)
	Carga de datos operacionales

Nota. Adaptado del entregable 3 *Lixiviados y geoquímica de pruebas de barriles, clasificación de los materiales según pruebas estáticas y cinéticas* (p.22), por Inproyen Consulting S.A.C, 2021.

3.4.3. Análisis e Interpretación de resultados y aportes técnicos de la propuesta de solución

Análisis tras digestión ácida

El análisis elemental se realizó para nueve elementos químicos entre diciembre de 2007 y febrero de 2008 con el objetivo de conocer la presencia de azufre y metales en concentraciones relativas al promedio de la corteza terrestre que superaban 5 veces la abundancia promedio.

Se realizó un análisis bajo condiciones ambientales controladas (redox, pH, T, Conductividad, etc.). Utilizando técnicas de digestión por ácido fluorhídrico, ácido perclórico, ácido nítrico, ácido clorhídrico y seguido el análisis de todos los metales lixiviados potencialmente relevantes, incluyendo trazas, mediante ICP – MS.

Tabla 18

Concentraciones de metales

Ppm	Ser	S	As	Cd	Cu	Mn	Mo	Pb	Se	Zn
Promedio		0,07	2	0,18	60	50000	0,16	16	0,09	70
Ø x 5		0,35	10	0,9	300	250000	0,8	80	0,45	350
BT-101	100				656,6	1537				
BT-102					6020	6946				
BT-103					281,9	750				
BT-104					186,1	1448				
BT-201	200	3500	72	0,32	21	901	3,8	5	0,25	110
BT-202		5300	108	1,36	104	1193	4,7	5,7	0,25	320
BT-203		5200	169	0,43	34	1541	2,23	12	0,25	140
BT-204		4300	532	1,23	45	895	1,38	18,8	0,25	280
BT-301	300	-	16	0,26	1025	86	5,85	18,3	4	70
BT-302		15800	4	0,41	326	516	10,7	11,1	0,25	138
BT-303		40200	5	0,14	895	87	5	9,9	3	47
BT-304		50	2	0,15	335,5	196	46,9	29,6	0,25	98
BT-305	400	30500	1	1,19	691,6	219	5,49	26,1	2	239
BT-306		37500	5	1,15	585,7	239	7,27	27,2	3	285
BT-307		34900	3	0,86	642,7	238	6,36	27,4	3	287
BT-308		37000	3	1,41	682,8	255	7,26	32,5	2	305
BT-401	500	100	4	0,04	386,1	35	7,9	30,3	3	12
BT-402		50	17	0,16	583,1	109	7,39	38,5	3	41
BT-501		45000	35	0,15	5571	38	9,62	28,5	4	119
BT-502		27500	73	0,57	2232	450	7,38	27,1	0,25	204
1-Clase B-9	600	17000	427	1,17	54,4	1395	7,14	83,1	1	819
2-Clase B-9		2700	10	0,11	571,3	36	5,68	63,7	2	33
4-Clase B-9		5700	8	0,41	2534	1345	20	30,7	2	94
5-Clase B-9		3000	2	0,61	509,5	467	10,6	10,3	0,25	135
6-Clase B-9	700	10000	127	0,89	59,3	1472	13,5	34,9	0,25	189
7-Clase B-9		3800	36	0,07	322,6	45	5,16	40,5	1	18
8-Clase B-9		500	81	1,43	70	890	1,75	37,	0,25	262

Nota. Adapta del entregable 3 Lixiviados y geoquímica de pruebas de barriles,

clasificación de los materiales según pruebas estáticas y cinéticas (p.54), por Inproyen

Consulting S.A.C, 2021.

El prefijo BT: código de cada barril.

Ø: Contenido promedio de la corteza terrestre

n: Concentración superior al promedio de la corteza terrestre por 5.

Se analizaron las series 200 (Mármol), 300 (Diorita PAG), 400 (Óxidos), y 500 (Mixto), las cuales presentan altas concentraciones de Cu, Cd, As y Se, superiores a cinco veces el promedio de la corteza terrestre (>5 Ø)

El **mármol** (barril 201 – 204), muestra un contenido moderado de azufre (0.4 % S). Este contenido influye en la meteorización del mármol, como se puede observar en la Figura 18, que se genera drenaje neutro con baja concentración de metaloides y metales pesados. Este fenómeno se debe a que los iones permanecen disueltos durante un periodo moderado y se precipitan lentamente junto con la $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

El mármol también presenta concentraciones elevadas de arsénico, como se observa en la Figura 19, el cual se oxida de As (III) a As (V) al estar en la superficie entra en contacto con el oxígeno atmosférico. Este proceso da lugar a la oxianión arsenato (HAs-O_4^{2-}), el cual tiene alta solubilidad a pH neutro.

La **diorita** de los barriles 301 al 308 presenta un alto contenido de sulfuros, con contenidos que varían entre 1.6% – 6.1% según el EA y ABA, como se muestra en la Figura 18. Sin embargo, el barril 304 muestra una concentración mínima de azufre, inferior al 0.01% según EA y 0.03% según ABA. En la Figura 23, se observan mayores concentraciones de molibdeno (Mo), mientras en la Figura 21, se observa que el cobre (Cu) supera significativamente los valores de referencia en los barriles 305, 306 y 308, con elevadas concentraciones de selenio (Se) también se identifican en estos mismos barriles. Además, el barril 301 muestra altos niveles de cadmio (Cd) y arsénico (As), como se evidencia en la Figura 19 y Figura 20, donde los contenidos de manganeso (Mn) son muy bajos.

Estos resultados sugieren que la diorita, siendo potencialmente generadora de acidez (PAG), debido a su alta sulfuración, podría estar mezclada con rocas carbonatadas que tienen la capacidad de neutralizar el ácido producido por la oxidación de los sulfuros. Esto indica que podría formarse un drenaje neutro, con alta concentración del oxianión seleniato (SeO_4^{2-}) el cual es altamente soluble a pH neutro.

Los **óxidos** de los barriles 401 y 402 muestran trazas de sulfuros detectadas justo en el límite de detección, lo que indica una oxidación mínima de los sulfuros. Según

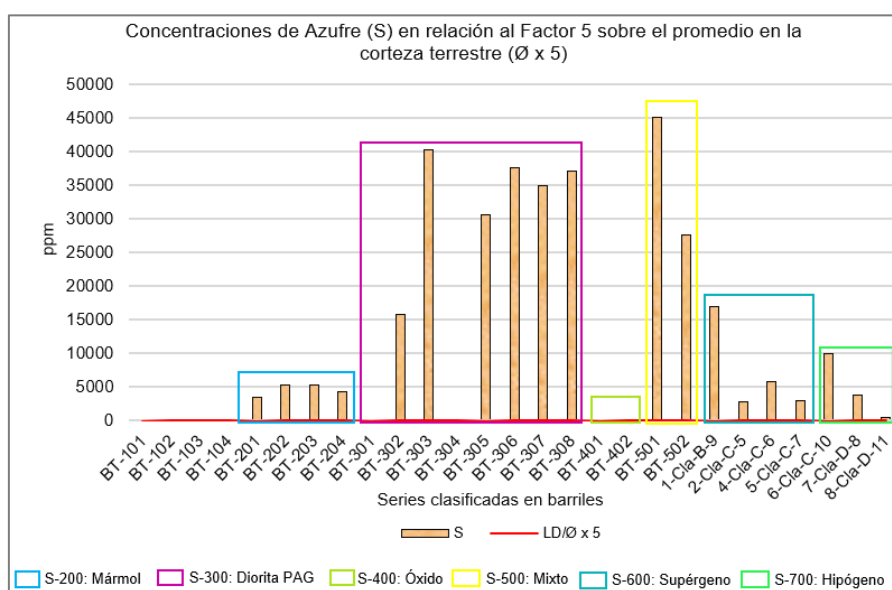
se observa en las figuras 19, 21 y 25, estos barriles presentan concentraciones elevadas de cobre, selenio y además arsénico.

La serie de **mixtos** altamente potencialmente generadores de acidez (PAG) presentan un contenido de azufre que varían entre 4.5% S y 2.8 % S según se observa en la Figura 18. Además, las Figuras 19, 21 y 25 muestran valores elevados de arsénico, cobre y selenio, identificándose como los principales minerales que contribuyen al drenaje ácido.

La serie de mixtos, supérgeños e hipógeños, muestra un contenido de azufre altamente variable, que oscila entre 0.05% y 1.9 % según en los datos. Los minerales predominantes con elevadas concentraciones son el arsénico (As), selenio (Se) y cobre (Cu). En particular, el barril 601 presenta el mayor contenido de azufre, con valores entre el 1.7% y 1.9%. Estos minerales, especialmente el arsénico (As), selenio (Se), zinc (Zn) y cadmio (Cd), son altamente solubles incluso a pH neutro.

Figura 18

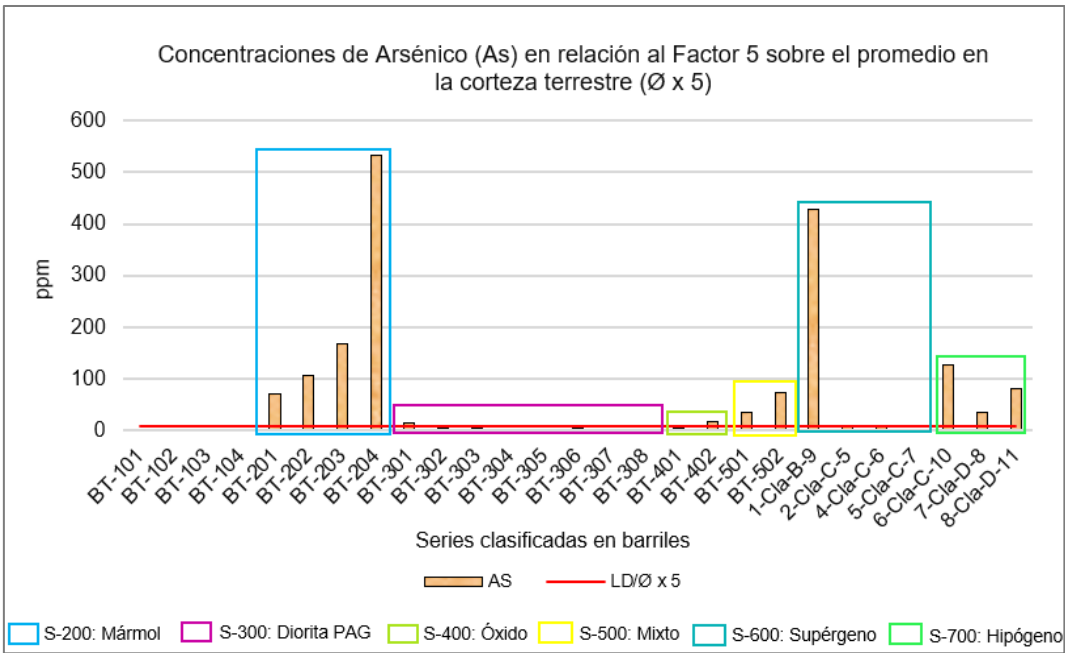
Concentración de Azufre



Nota: Concentraciones elevadas en la serie 300 – diorita, la serie 500 – mixto y en la serie 600 – supérgeño.

Figura 19

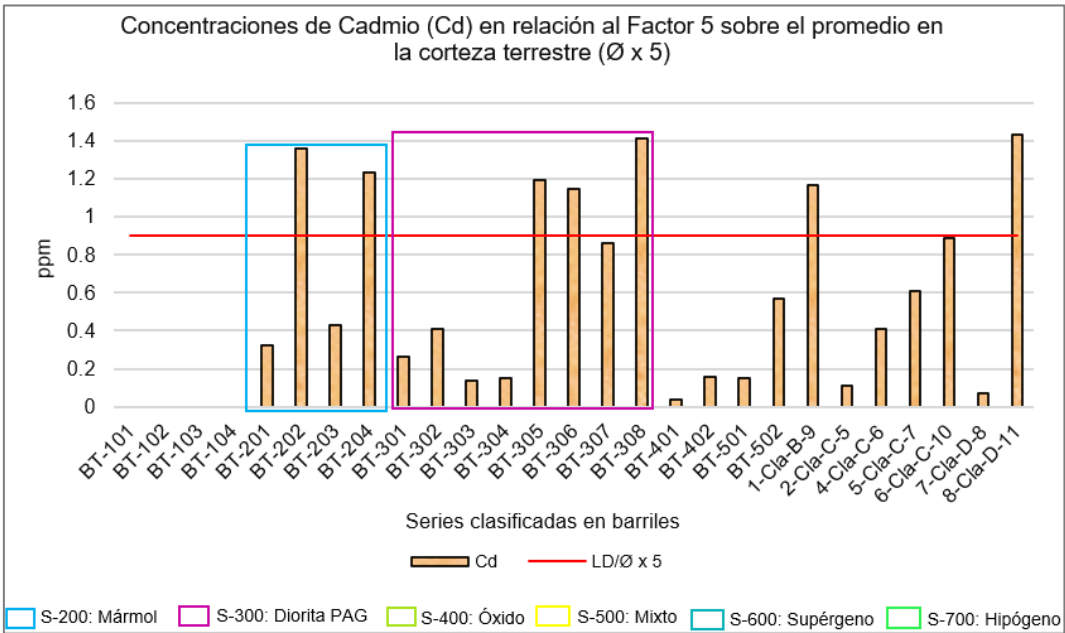
Concentración de Arsénico



Nota: Concentraciones elevadas en la serie 200 – mármol y la serie 600 – supérgeno.

Figura 20

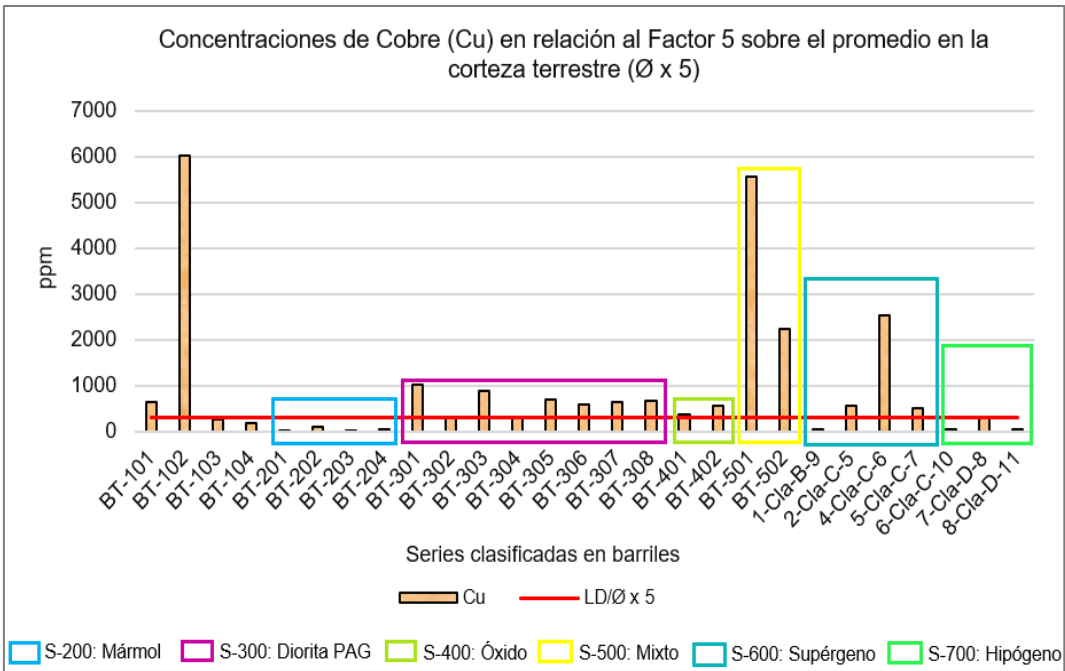
Concentración de Cadmio



Nota: Concentraciones elevadas en la serie 200 – mármol y la serie 300 – diorita.

Figura 21

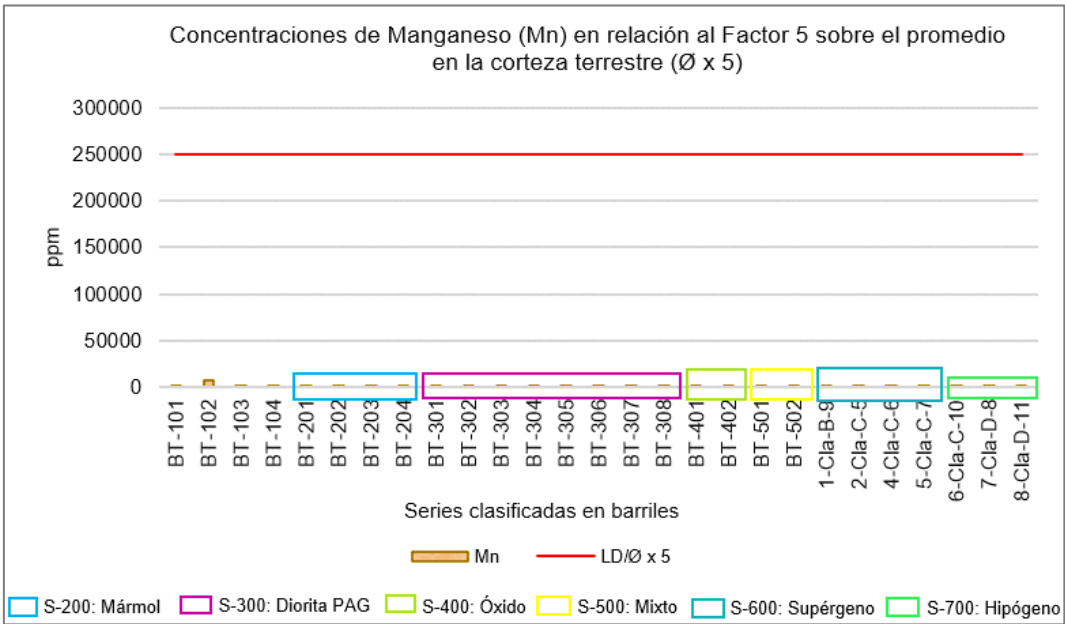
Concentración de Cobre



Nota: Concentraciones elevadas en la serie 500 – mixto y la serie 600 – supérgeno

Figura 22

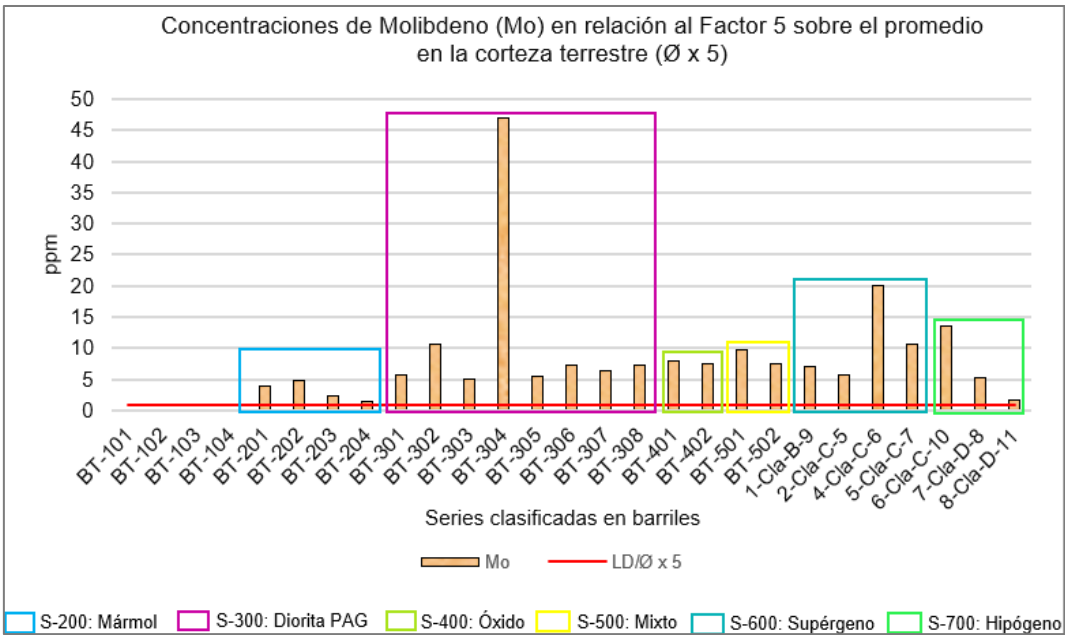
Concentración de Manganeso



Nota: No hay concentraciones elevadas en ninguna las seis series analizadas.

Figura 23

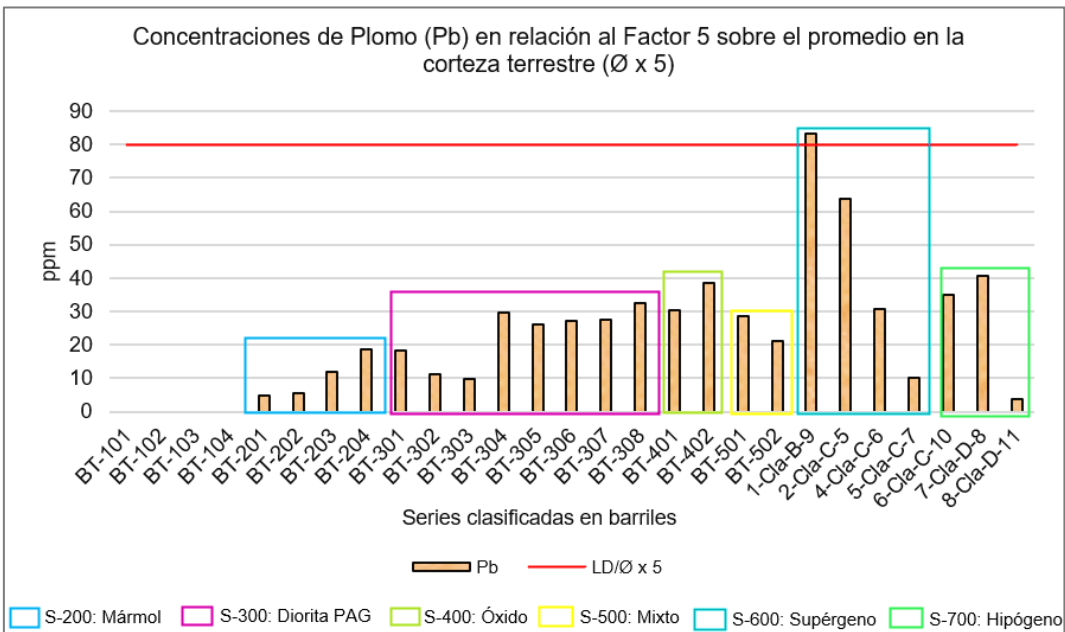
Concentración de Molibdeno



Nota: En las seis series analizadas, las concentraciones son elevadas.

Figura 24

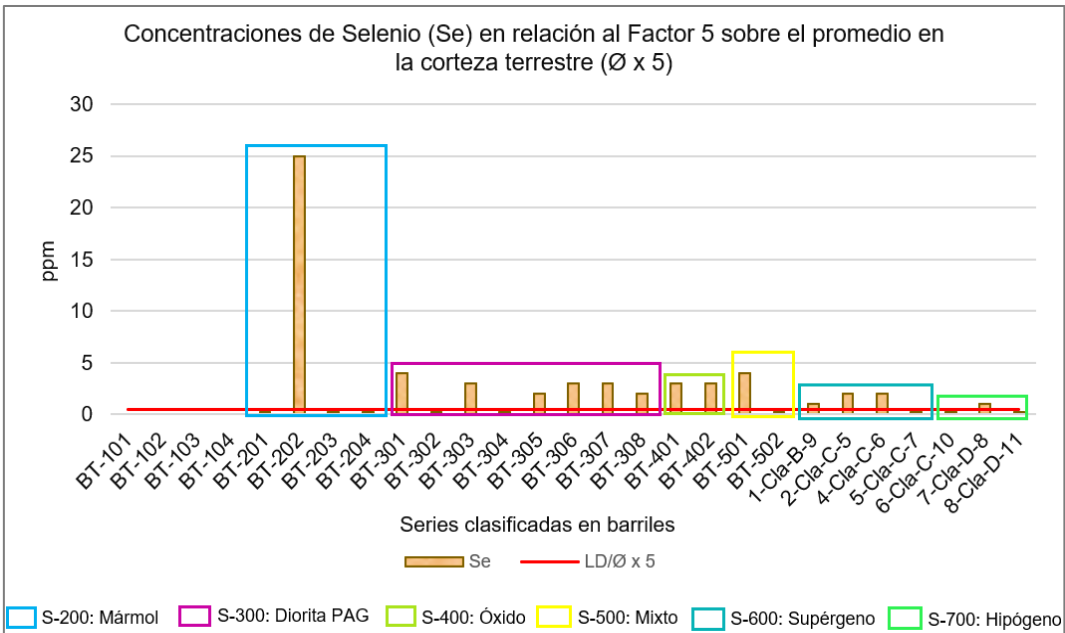
Concentración de Plomo



Nota: Concentraciones elevadas en la serie 600 – supérgeno.

Figura 25

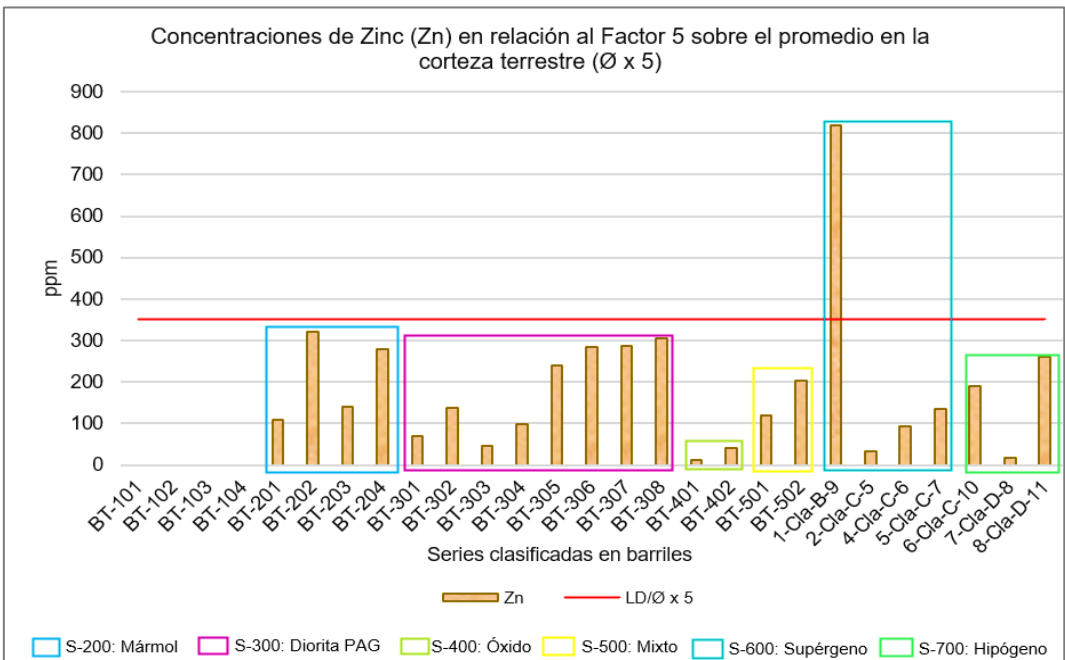
Concentración de Selenio



Nota: Concentraciones elevadas en las seis series analizadas.

Figura 26

Concentración de Zinc



Nota: Concentraciones elevadas en la serie 600 – supérgeno.

A partir del análisis de la digestión ácida de las muestras y como se logran verificar en los gráficos estadísticos indican que todos los metales investigados presentan concentraciones significativamente mayores, con excepción del manganeso, resaltando la necesidad de continuar monitoreando estos metales.

Análisis de lixiviados de pruebas de barriles y agotamiento de sulfuros y neutralizantes con el tiempo

Los barriles fueron analizados para simular la lixiviación a largo plazo bajo los tratamientos A, B, C y D, cuyos contenidos de álcali se detallan en la Tabla 19. Durante estos análisis, se cuantificó la oxidación de sulfuros y se evaluó la velocidad de reacción de los carbonatos y otros neutralizantes.

Tabla 19

Tratamientos utilizados para los barriles

TRATAMIENTOS EN LAS SERIES (100 A 900)	
A	Blanco o control/ sin álcali
B	Aplicación en capas de $\frac{1}{4}$ de CaCO_3
C	Aplicación en capas de $\frac{1}{4}$ de lechada de cal
D	Aplicación en capas de lechada de cal y CaCO_3 ($\frac{1}{4} + \frac{1}{4}$)

Nota. Descripción de los tratamientos añadidos a los barriles para las pruebas geoquímicas.

Aproximación del PH promedio en mezclas

El cálculo promedio del pH de las mezclas de agua se fundamenta en las concentraciones de H^+ en mol/L, representadas como 10 pH mol/L o de OH^- predominantes a pH >7. Esta aproximación es suficientemente precisa para graficar el promedio del pH esperado de diferentes barriles que contienen el mismo desmonte, relave u otros materiales similares.

A pH neutro, tanto la oxidación de sulfuros como la neutralización del ácido generado ocurren a velocidades muy lentas. Además, la solubilidad de metales es tan baja que no afecta significativamente la calidad de aguas.

Liberación de sulfato y minerales neutralizantes

Para calcular el consumo y agotamiento de azufre, así como de neutralizantes, en carbonatos, se utilizan los reactantes liberados acumulativos y el porcentaje restante por kilogramo de material. Este cálculo implica considerar la cantidad inicial de azufre presente en la roca y la cantidad oxidada a sulfato (SO_4^{2-}). Esto se determina mediante análisis químicos que cuantifican el azufre total y el azufre oxidado durante el proceso de lixiviación o meteorización.

Agotamiento del potencial de acidificación y neutralización

El agotamiento de neutralizantes potenciales (NP) en los barriles, causado por el ácido generado durante la oxidación de los sulfuros, generalmente se mide por el consumo acumulativo de estos neutralizantes a lo largo del ciclo de lixiviación. Esto implica calcular la cantidad total de neutralizantes (principalmente carbonatos u otros compuestos alcalinos) que han sido consumidos para neutralizar el ácido generado por la oxidación de los sulfuros en el material de interés.

Análisis Geoquímico de la Serie 300 (Diorita PAG)

El material de diorita en la serie 300 consiste en rocas de tipo pórfido, que se caracterizan por ser de coloración gris a gris anaranjado y moderadamente argilizada en su composición química presenta minerales como esmectita, caolinita y biotita (Inproyen, 2023).

Procedimiento A: Tratamientos ABCD

La diorita fue sometido a los tratamientos A; B; C y D, los datos registrados en la Tabla 20 indica la cantidad de material y el tratamiento añadido lo cual permite evaluar la oxidación de los sulfuros presentes, así como la capacidad de neutralización de los ácidos generados.

Tabla 20

Datos de la serie 300

SERIE	GRUPOS DE BARRILES						
	A	B	C	D			
300: Diorita	kg material	kg material	kg CaCO ₃	kg material	LCaO	kg material	kg CaCO ₃ + LCaO
PAG							
301	214	215	2,04	210	5,58	213	1,01+3,04
302	211	214	0,64	218	1,84	211	0,79+0,96
303	212	208	1,54	214	1,43	215	0,79+2,39
304	212	204	0,01	207	0,03	209	0,005+0,015
305	200	200	1,25	200	3,5	200	0,62+1,88
306	200	200	3,75	200	10,5	200	2,8+2,6
307	200	200	7,5	200	21	200	5,62+5,25
308	200	200	0,9	200	0,8	200	0,9+0,8

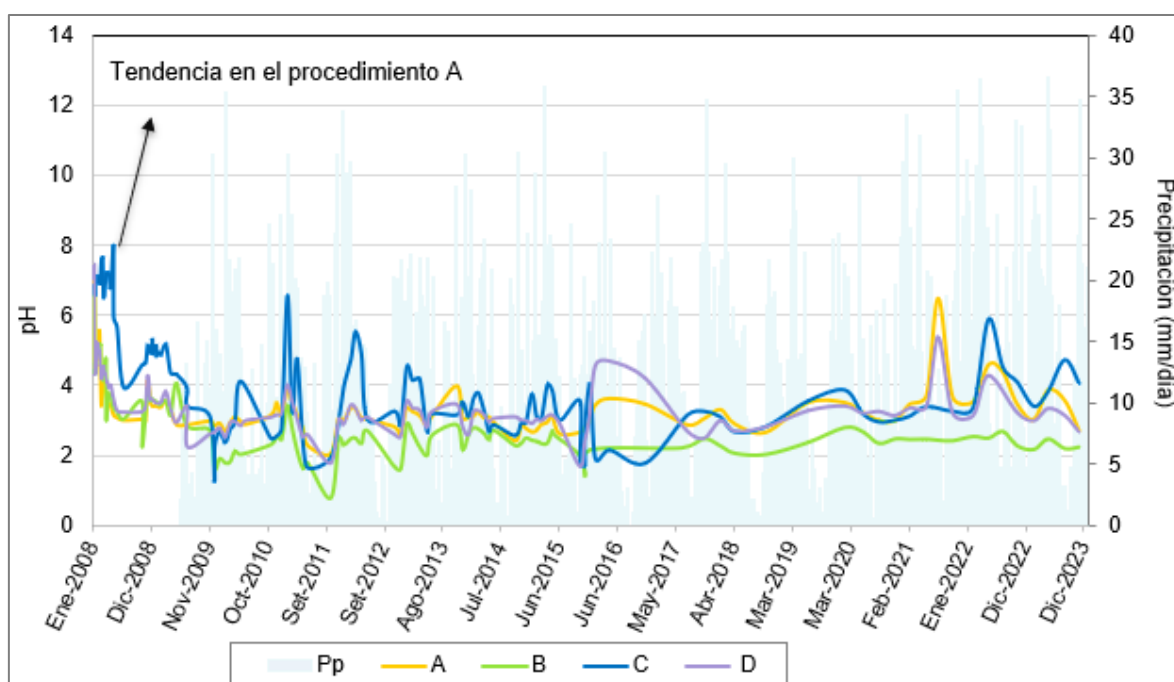
Nota. Cantidad de material añadido a los barriles de la serie 300, Diorita.

Hidroquímica del lixiviado

La evolución de los parámetros hidroquímicos como pH, conductividad eléctrica y concentraciones de metales en los barriles está relacionada con la neutralización de ácidos en calizas sulfúricas mediante el mantenimiento de un pH neutro que puede neutralizar la acidez generada por la oxidación de sulfuros y evitar una lixiviación.

Figura 27

Evolución del pH en la serie 300

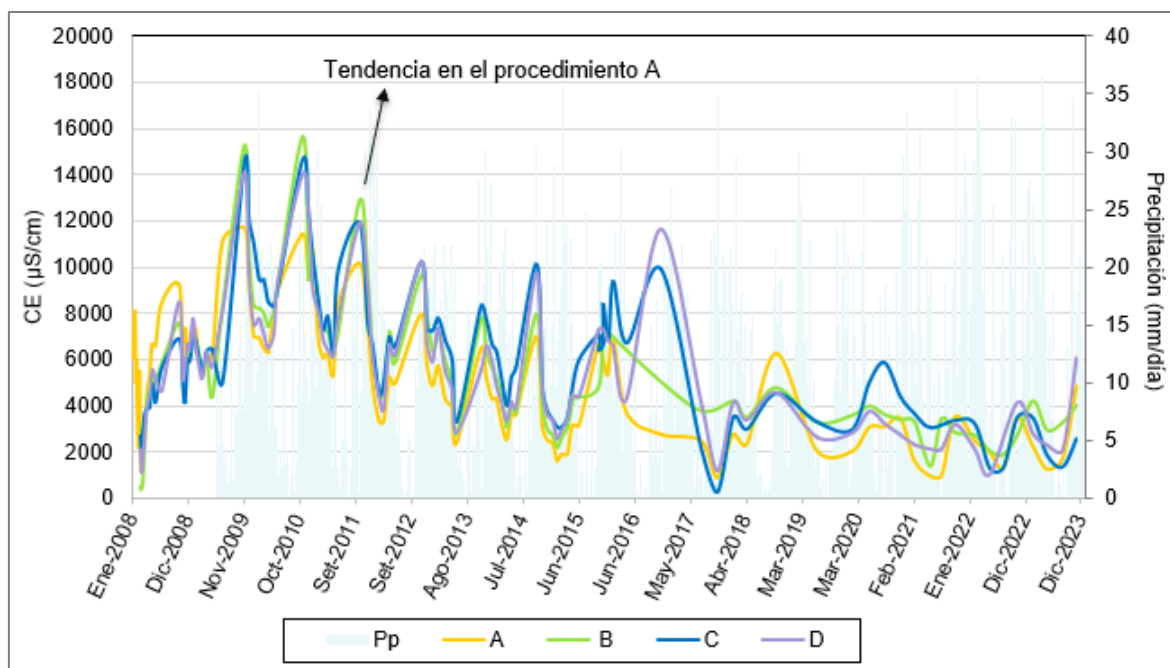


Nota. Observándose notables fluctuaciones en los tratamientos C y D.

En la Figura 27 se muestra la tendencia del pH, a través del proceso con alcalinización (línea celeste) y los tratamientos añadidos (línea amarilla, verde y lila), a causa de la intensa oxidación de sulfuros, supera la capacidad de neutralización de los alcalinos en los barriles B, C y D. El pH más alto se muestra en el tratamiento C. pero desde mediados del 2017 la tendencia del pH de los barriles son similares, debido al agotamiento de los agentes reductores.

Figura 28

Conductividad Eléctrica en la serie 300 (Procedimiento A)



Nota: Muestra incrementos desde el año 2009 hasta el 2019, lo cual se estableció en un parámetro de 4000 a 16000 mg/L correlacionado con una precipitación diaria en el rango de 0 a 10 mm/día, debido a las condiciones del lugar se tienen épocas marcadas de estiaje (junio a setiembre), húmeda (octubre a abril) y transición (mayo)

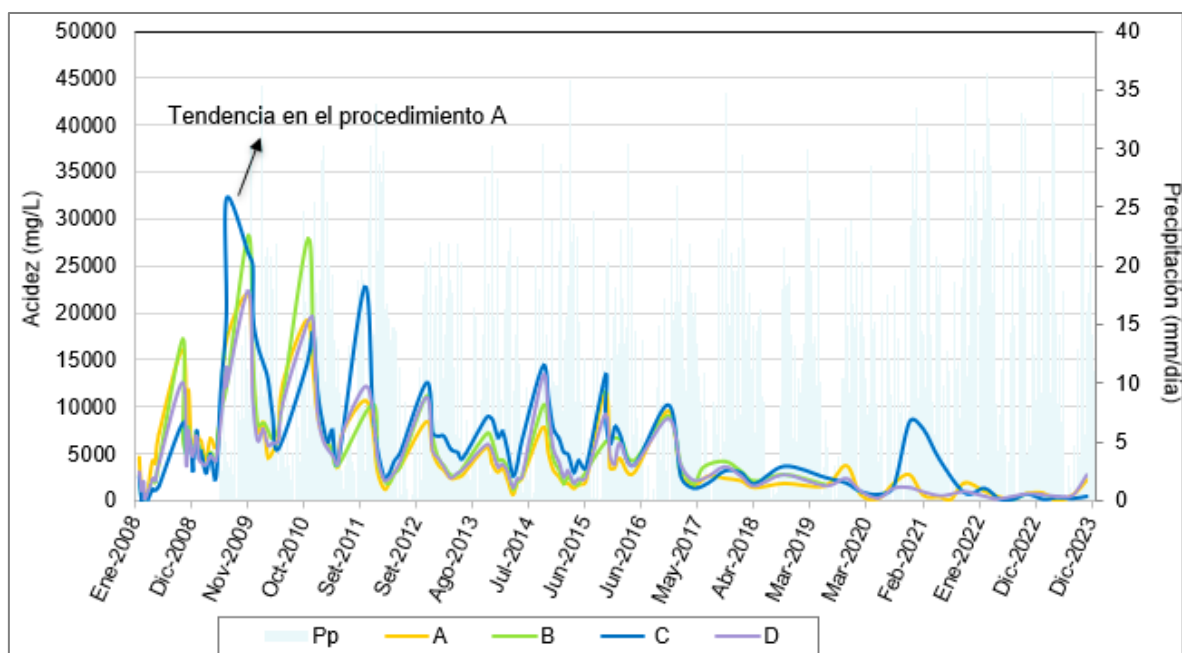
La conductividad eléctrica como se observa en la Figura 28 se incrementa progresivamente en las diferentes condiciones, alcanzando los 6000 $\mu\text{S/cm}$ en el tratamiento D como el barril control y se obtuvieron valores menores a ~ 3000 $\mu\text{S/cm}$ para el barril B,

En las pruebas geoquímicas se observa la presencia de un ambiente con abundante oxígeno, el cual facilita las reacciones de oxidación, esto es a causa de que el potencial redox presenta condiciones anóxicas. El tratamiento B interactúa con un Eh (potencial de reducción – oxidación) superior al resto y se mantiene, al igual que el tratamiento A (Control), Sin embargo, los tratamientos C y D presentan una ligera disminución. Es notable que, a pesar de la presencia de sulfuros con potencial oxidante

no se muestra una correlación directa positiva entre el pH y el Eh, lo cual indica condiciones oxidantes,

Figura 29

Acidez serie 300 (Procedimiento A)

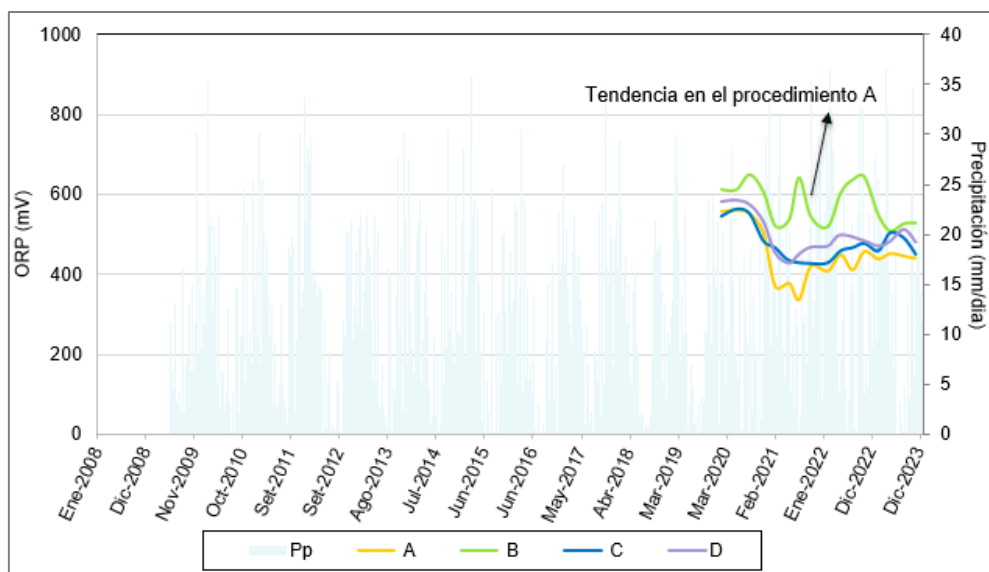


Nota. Incrementos significativos de 2009 a 2011 y notables fluctuaciones en los tratamientos B y C. Se ha mantenido estable desde 2017 hasta la actualidad.

Esto indica que otros factores u otros componentes químicos pueden estar influyendo en estas condiciones. Las condiciones de acidez, probablemente superiores a los 600 mV, indican que el sistema adquiere condiciones de hiperacidez e hiperoxidantes. Lo cual aceleran la hidrólisis de los minerales que se encuentran en la zona y genera disolución de metales como el Al^{+3} y Fe^{+3} . Estos metales pueden alcanzar niveles elevados en los lixiviados, lo cual puede ocasionar problemas que se tiene que tomar atención (Inproyen, 2023).

Figura 30

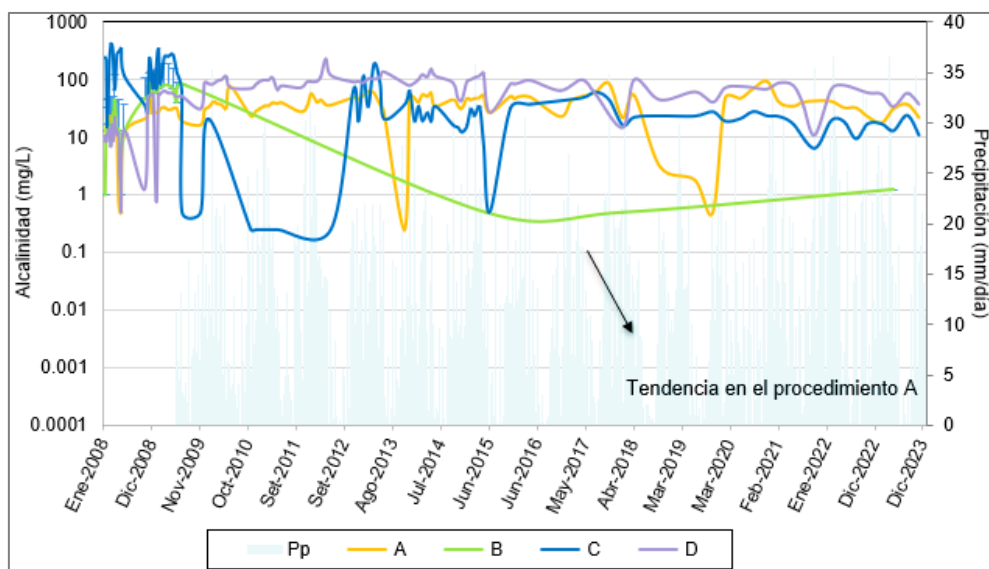
Potencial redox en la serie 300 (Procedimiento A)



Nota: Evaluación de la evolución del potencial redox desde enero de 2020 hasta diciembre de 2023, mostrando fluctuaciones en el tratamiento B.

Figura 31

Alcalinidad en la serie 300 (Procedimiento A)

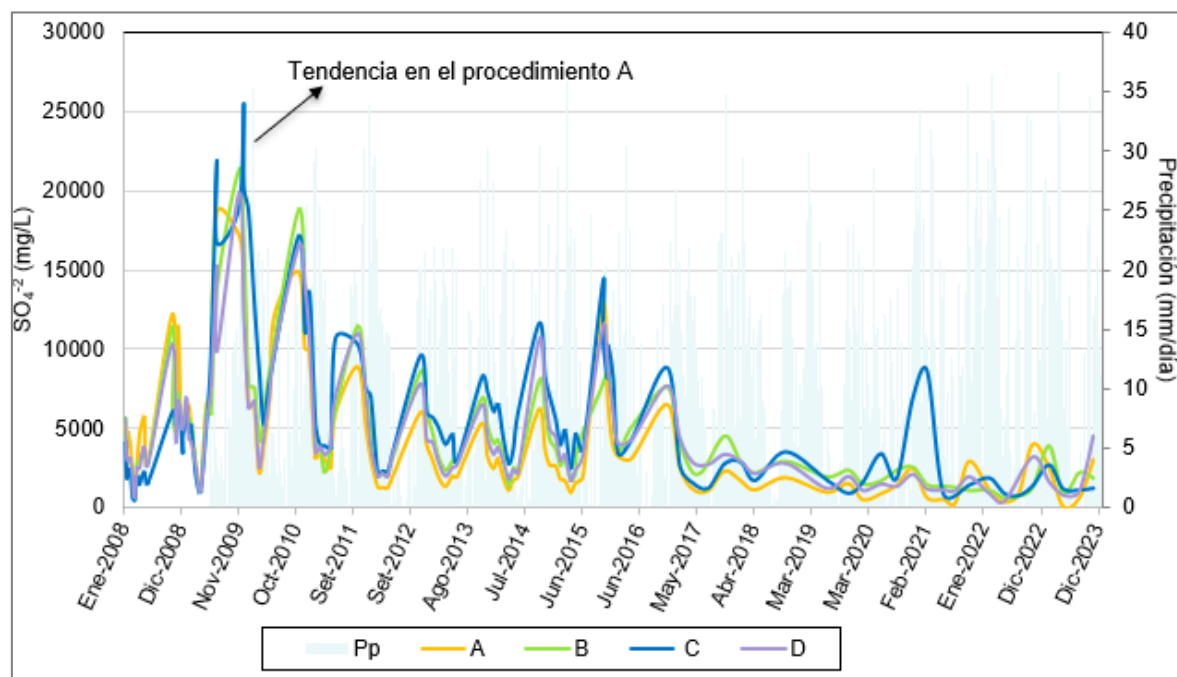


Nota: Muestra fluctuaciones en el tratamiento C, lo cual se estableció en un parámetro de 10 a 1000 mg/L correlacionado con una precipitación diaria en el rango de 30 a 30 mm/día.

La alcalinidad se mantiene en el rango entre 10 a 100 mg/L para todos los tratamientos, excepto en el tratamiento B se mantiene una ligera reducción en este parámetro durante los datos registrados en el 2023.

Figura 32

SO_4^{2-} para la serie 300 (Procedimiento A)



Nota: Se muestran incrementos en los años 2009 a 2017 en un parámetro de 500 a 2500 mg/L correlacionado con una precipitación diaria en el rango de 0 a 30 mm/día.

Las características hidroquímicas, incluyendo el pH, conductividad eléctrica (CE), potencial redox (Eh) han variado a lo largo del tiempo sin embargo la presencia de carbonatos actúa como mitigador del drenaje ácido de mina.

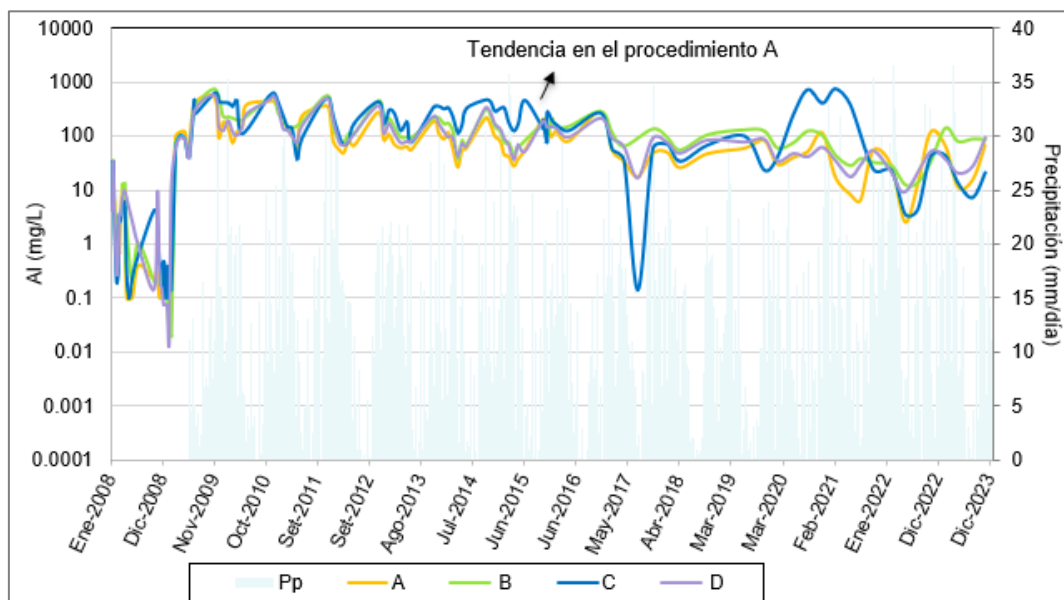
Evolución de los principales cationes, metales/ metaloides

La liberación de cationes básicos como Ca^{2+} y Mg^{2+} , Na^+ y K^+ se dan a condiciones hiperácidas e hiperoxidantes, desde los minerales presentes en los materiales, desplazándose hacia los lixiviados como contraiones. Asimismo, se liberan Al^{+3} y Fe^{+3} , entre otros, para contrarrestar la carga eléctrica negativa generada por la

liberación de SO_4^{2-} . La pérdida de estos cationes básicos conlleva una disminución de algunas propiedades de los materiales y poder tener suelos fértiles o poder neutralizar los ácidos. En estas situaciones que el Eh-pH genera la liberación de metaloides como As y Se, especialmente el arsénico, además de otros metales pesados como Cu, y en menor cantidad de Al. También se observa que la concentración de metaloides y metales pesados han disminuido con el tiempo, lo que conlleva a una degradación progresiva de los minerales presentes en la roca diorita por las reacciones de hidrólisis ácida. Durante el análisis las concentraciones de Al y Fe se incrementan a excepción del tratamiento B, así como se observa en la Figura 33 y 34. Se incremento en un rango de aproximadamente ~ 100 mg/L y ~ 1000 mg/L en promedio en el tratamiento Control y el tratamiento D. El tratamiento C mostró el menor aumento para ambos tratamientos. Los tratamientos D y el tratamiento sin álcali fueron los que más variaciones presentaron a lo largo del periodo analizado. (Inproyen, 2023)

Figura 33

Aluminio para la serie 300 (Procedimiento A)

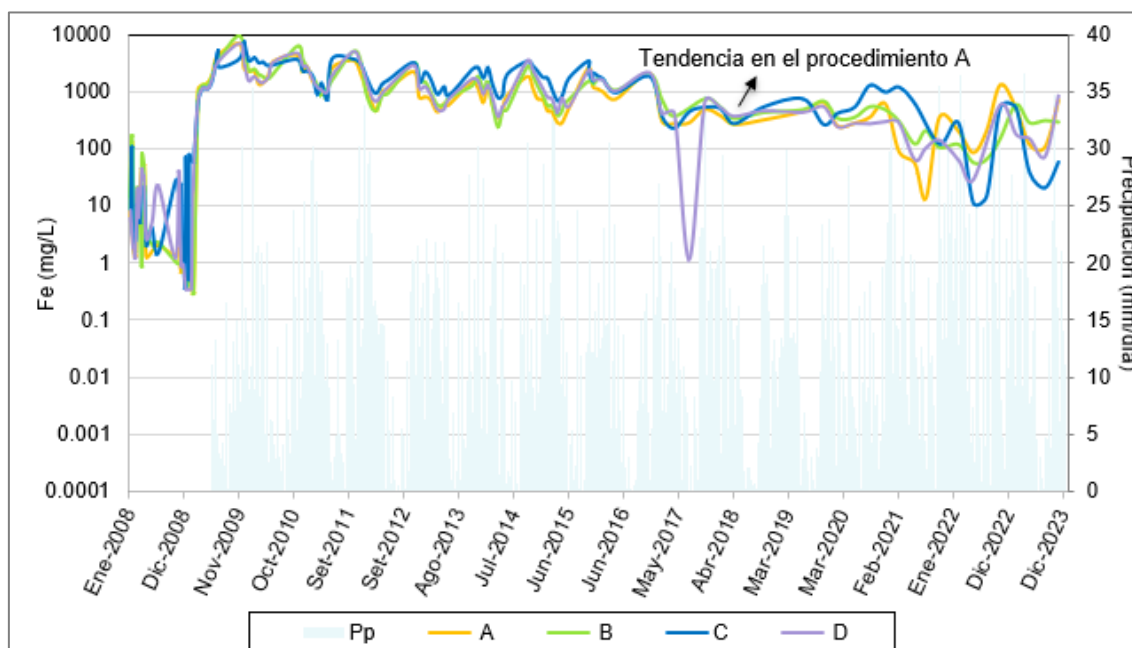


Nota: Muestra un incremento desde el 2009 y se ha mantenido hasta el 2023, lo cual se estableció en un parámetro de 100 a 1000 mg/L correlacionado con una precipitación diaria en el rango de 25 a 30 mm/día.

Las altas concentraciones de aluminio podrían afectar la disolución de los óxidos de Hierro, lo que desencadenaría un enriquecimiento de metales que podrían causar un riesgo al medio ambiente.

Figura 34

Hierro para la serie 300 (Procedimiento A)



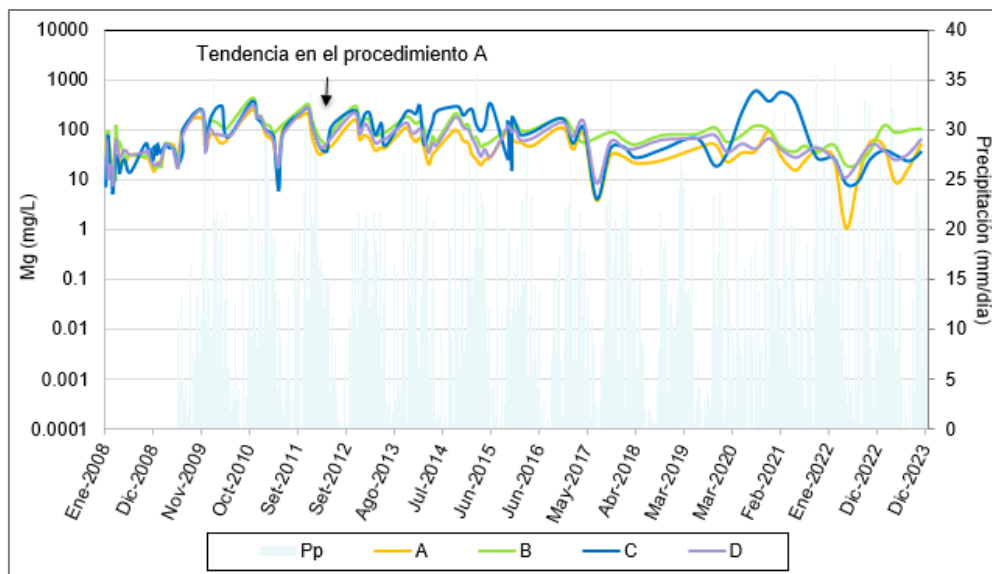
Nota: Muestra un incremento desde noviembre del 2009 y se ha mantenido hasta diciembre del 2023, lo cual se estableció en un parámetro 100 a 10000 mg/L correlacionado con una precipitación diaria en el rango de 25 a 35 mm/día.

La presencia de hierro en concentraciones elevadas actúa de manera importante en el control del comportamiento de los metales pesados. Ya que en los tratamientos se ha utilizado cal con la finalidad de aumentar el pH para que surja el proceso de precipitación y adsorción, y para prevenir la migración de metales pesados.

Los contenidos disueltos de Mg y Ca en las Figuras 35 y 36 respectivamente, mantienen las tendencias. En el tratamiento A, la concentración de Ca es de aproximadamente 100 mg/L mientras que las concentraciones de Mg son superiores a 100 mg/L en el tratamiento B y muestran una tendencia ascendente en los demás tratamientos, alrededor de los 80 mg/L.

Figura 35

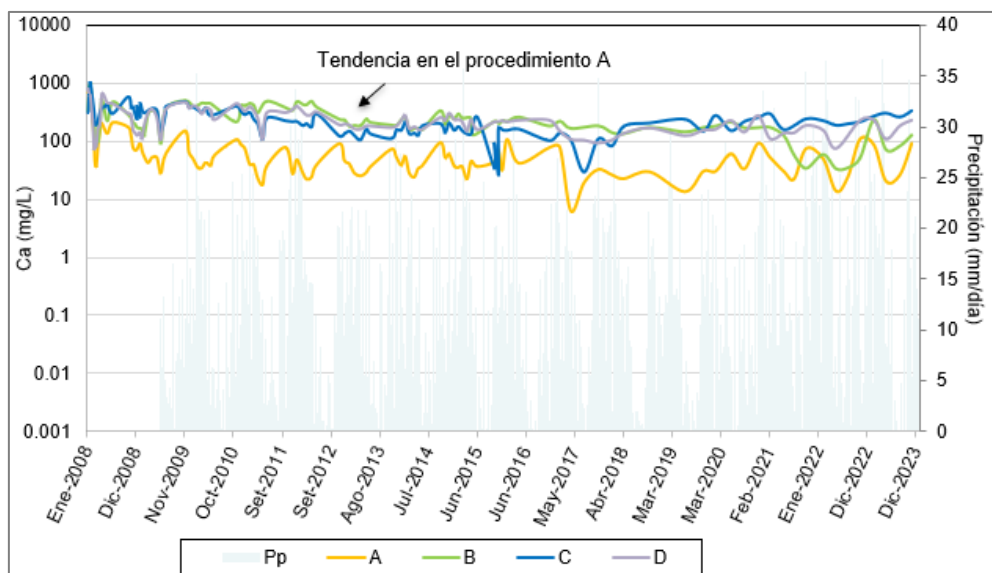
Magnesio para la serie 300 (Procedimiento A)



Nota: Se mantiene en un parámetro de 10 a 100 mg/L correlacionado con una precipitación diaria en el rango de 25 a 30 mm/día.

Figura 36

Calcio para la serie 300 (Procedimiento A)



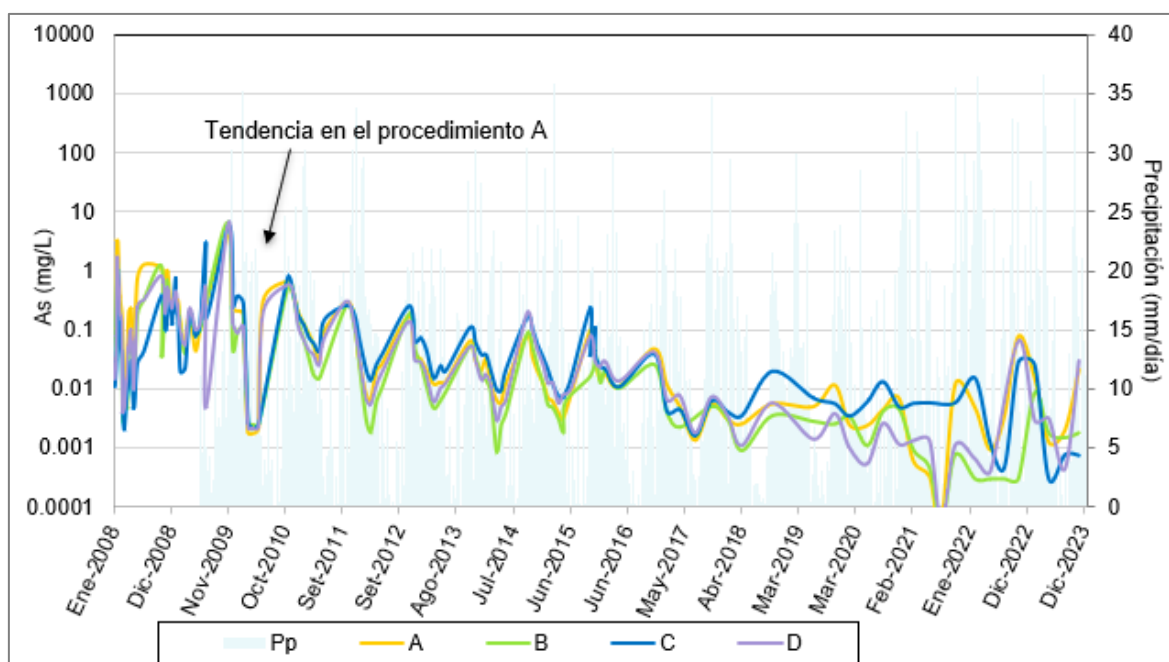
Nota. Se mantiene en un parámetro de 100 a 1000 mg/L correlacionado con una precipitación diaria en el rango de 25 a 30 mm/día.

Probablemente los valores neutros de pH y la precipitación sea la causa principal de mantener los niveles de Ca.

Con respecto al arsénico su comportamiento se mantiene en concentraciones inferiores a 0.1 mg/L, como se muestra en los Figuras 37 y el cobre como se muestra en la Figura 38. Sin embargo, en tratamientos A y D sus valores se incrementaron hasta aproximadamente 0.1 mg/L, mientras que en los tratamientos C y B se mantuvieron constantes. A pesar de estos incrementos, estas concentraciones no presentan riesgo para el ambiente.

Figura 37

Arsénico para la serie 300 (Procedimiento A)



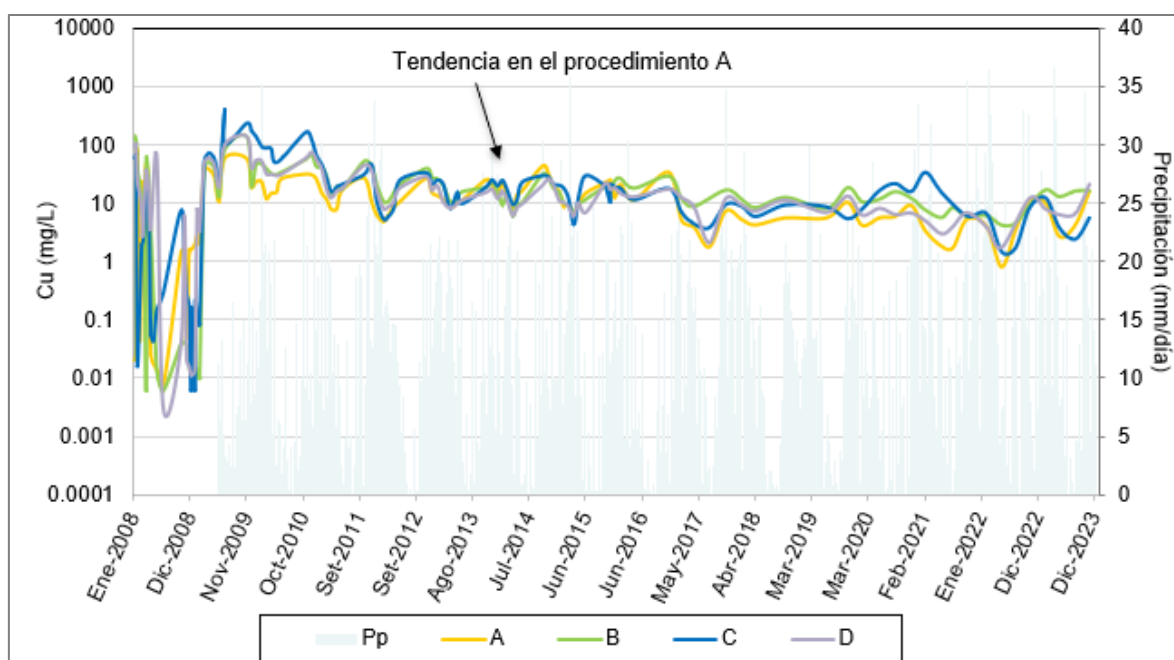
Nota. Evaluación del comportamiento del arsénico según los tratamientos A, B, C y D desde enero de 2008 está en el rango de 1 a 50 mg/L, correlacionado con una precipitación diaria en el rango de 0 a 20 mm/día.

En la serie 300 el arsénico está asociado con la adsorción por minerales arcillosos, o contenidos de materia orgánica o minerales como de Fe y Mn, lo que indica que en la presencia de esos minerales afecta el comportamiento de As, pero no es un factor crítico

porque como indica Chen Luo, 2020, este mineral se conoce por adsorberse a óxidos, aluminosilicatos e hidróxidos.

Figura 38

Cobre para la serie 300 (Procedimiento A)



Nota. Se mantiene en un rango de 0.1 a 10 mg/L correlacionado con una precipitación diaria en el rango de 10 a 15 mm/día.

Según las mediciones a largo plazo de los seis metales analizados según el procedimiento A y en condiciones naturales, particularmente influenciadas por los cambios estacionales ya que durante las temporadas de lluvias, las concentraciones de metales fueron sustancialmente más elevadas debido a los niveles de pH más bajos, lo cual ha contribuido a la liberación de algunos metales, ya que las concentraciones de los metales mostraron las siguientes tendencias: $\text{Fe} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{Cu} > \text{Al} > \text{Ar}$, respectivamente. Los valores máximos en las concentraciones se observaron típicamente los meses de lluvia (septiembre a mayo), excepto para el arsénico que aumenta en épocas de estiaje, al comparar los metales con variables meteorológicas como la precipitación; indicando que los resultados dependen de la cantidad de

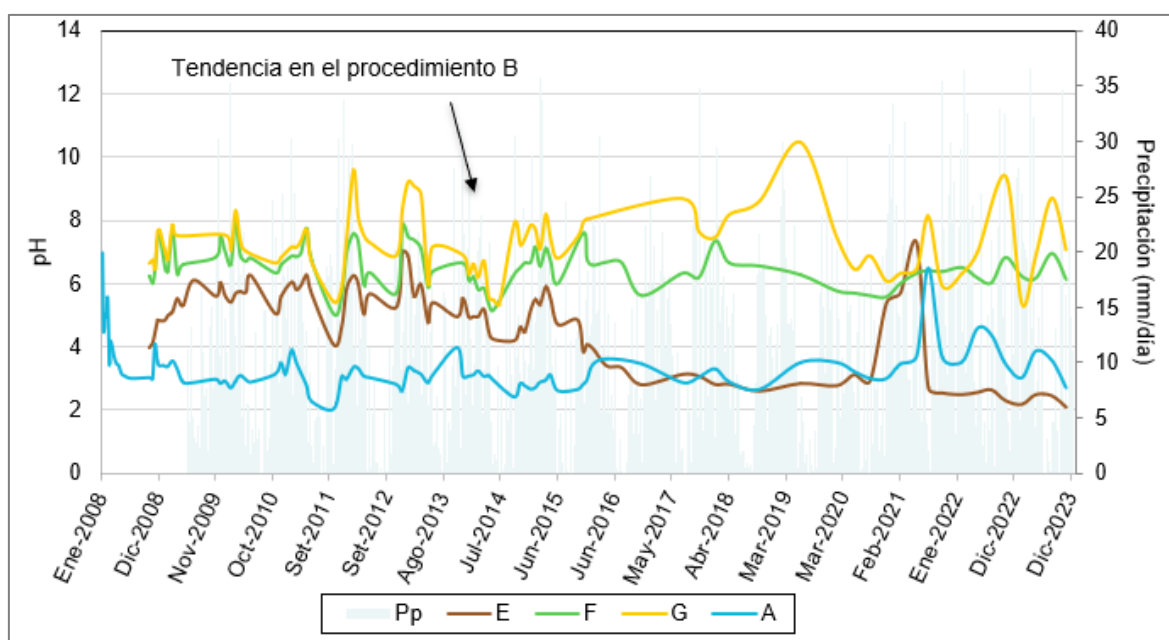
precipitación ya que se correlacionan entre sí. La distribución con respecto al cobre principalmente su presencia esta influenciada por la litología y la geoquímica de la roca madre, por tratarse de un pórfido de cobre – oro.

Procedimiento B: Tratamientos AEFG

Con respecto al tratamiento AEFG, en la Figura 39 se observa que los valores para el tratamiento E y F indica valores ácidos ente 3 y 6. El tratamiento G mantiene niveles altos lo largo del tiempo. Es notable el incremento observado en el tratamiento G, alcanzando valores de hasta 8.5 en algunos puntos. Se podría verificar si las fluctuaciones que se generan no sean a causa de las filtraciones en los barriles producto de las precipitaciones.

Figura 39

pH para la serie 300 (Procedimiento B)



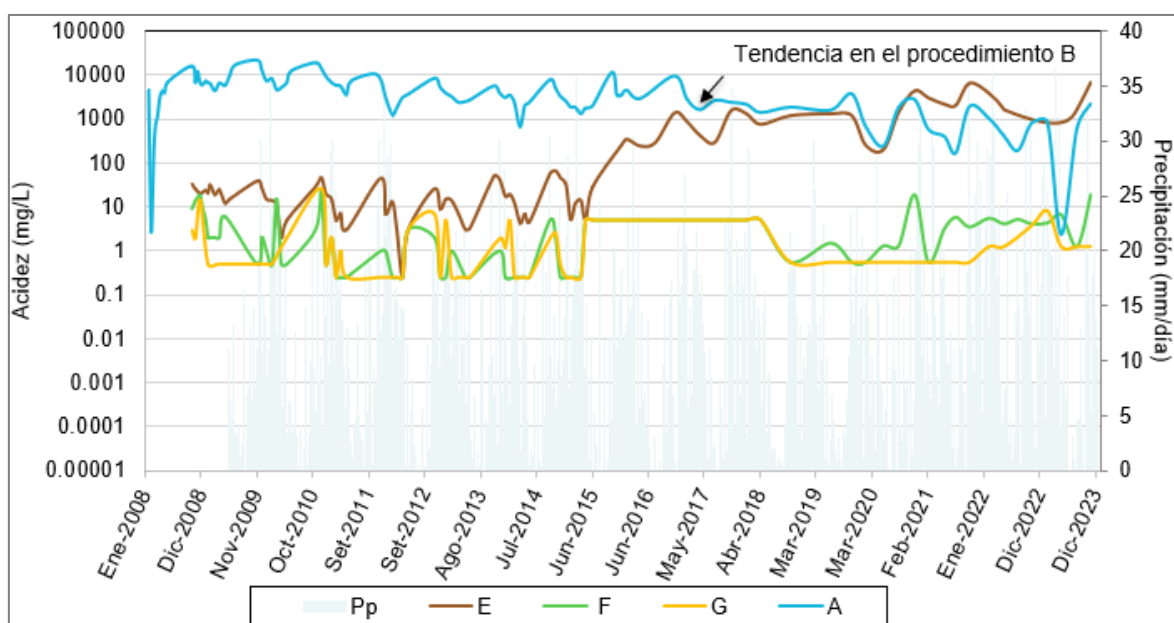
Nota. Durante todo el período de monitoreo, se ha observado un pH elevado en el tratamiento G.

En la figura 40, con respecto a la acidez se muestra que el tratamiento A presenta un comportamiento opuesto al pH, variando entre 1 y aproximadamente 9000 mg/L en

los tratamientos G y E, los valores están entre 1 y 20 mg/L aproximadamente. Es probable que el aumento en la acidez y la disminución de pH no parecen estar relacionadas con un aumento en las condiciones hiperoxidantes, ya que en los últimos datos adquiridos disminuyen.

Figura 40

Acidez para la serie 300 (Procedimiento B)

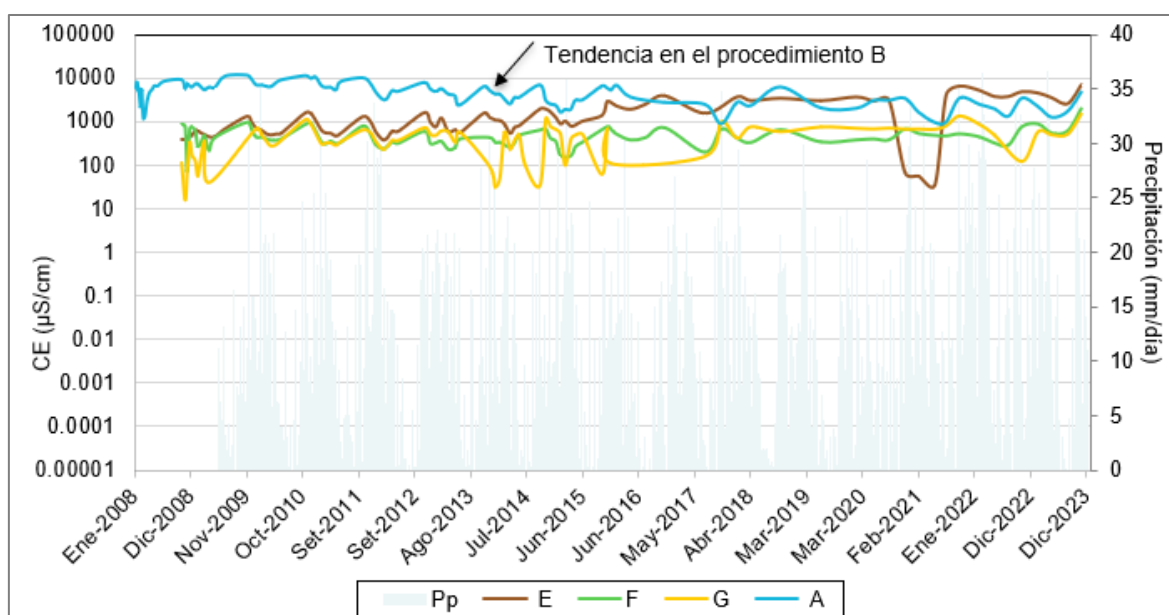


Nota. Durante todo el período de monitoreo, se ha observado la acidez elevada en el tratamiento A y en los últimos años los barriles con el tratamiento E.

La conductividad eléctrica analizada en la Figura 41, muestra que el tratamiento E ha descendido por debajo de los 600 mV en el año 2021. Los tratamientos F y A (Control) presentan valores entre 400 y 500 mV, mientras que el tratamiento G fue el único que mostró valores por debajo de los 400 mV.

Figura 41

CE para la serie 300 (Procedimiento B)



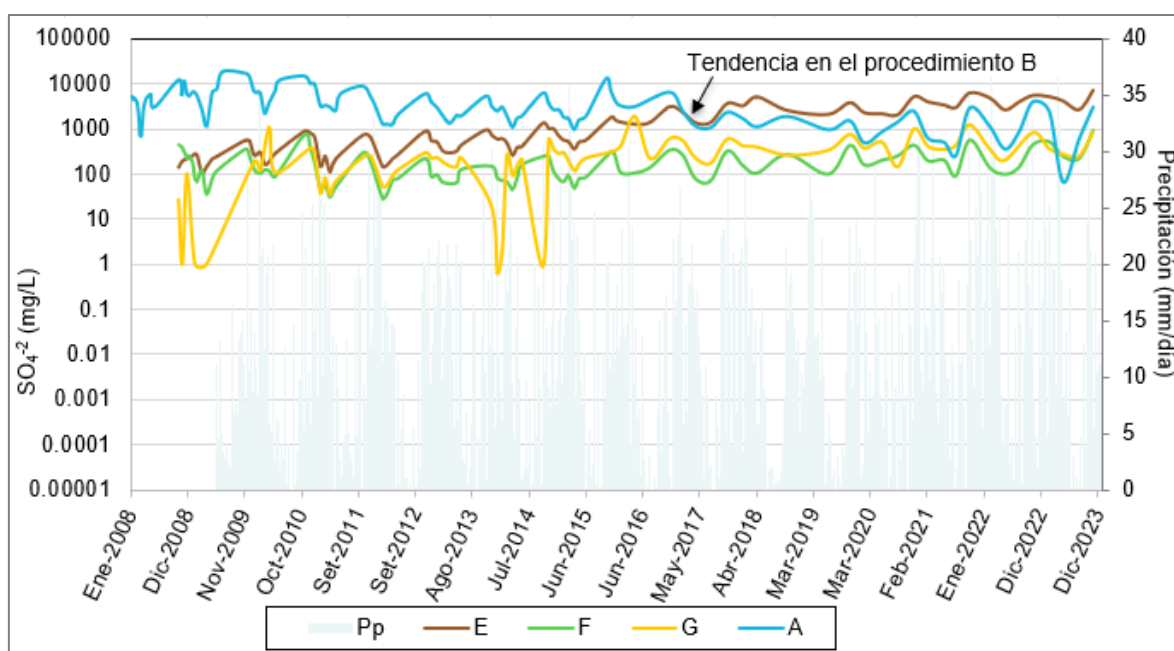
Nota. Durante el período de monitoreo, se ha observado la CE es elevada en el tratamiento A y E.

Variación del contenido del anión SO_4

Se representa en la Figura 42, la concentración de sulfatos en los tratamientos F y G tienen ligeros incrementos. Sin embargo, en el tratamiento E se ha dado un incremento gradual alcanzando los 9000 mg/L. En el tratamiento A (Control) la concentración ha disminuido (Inproyen, 2023).

Figura 42

SO_4^{-2} para la serie 300 (Procedimiento B)



Nota. Durante todo el período de monitoreo, se ha observado la SO_4^{-2} elevada en el tratamiento A y un incremento en el barril con el tratamiento E.

Evolución de los principales cationes, metales/metaloideos

En las pruebas geoquímicas la concentración de metales y metaloides se encuentran en tendencias similares con el tiempo, pero se observa que el barril que han experimentado los tratamientos A y E presentan mayores concentraciones, en mayores cantidades el tratamiento E exceptuando al selenio, esto es a causa del pasivado de los álcalis aplicados en el tratamiento. La acidez generada en la capa superior del lecho, inactiva la capa de materiales alcalinos, reduciendo en el tiempo su capacidad de neutralización. Se puede determinar que la acidez de los tratamientos está en relación al comportamiento de los lixiviados, asemejándose a la del barril A, esto es porque los álcalis agregados se han consumido.

Esto indica que los tratamientos alcalinos, aplicados tienen un efecto limitado en el tiempo. Además, los drenajes con alto contenido en hierro superar las superficies

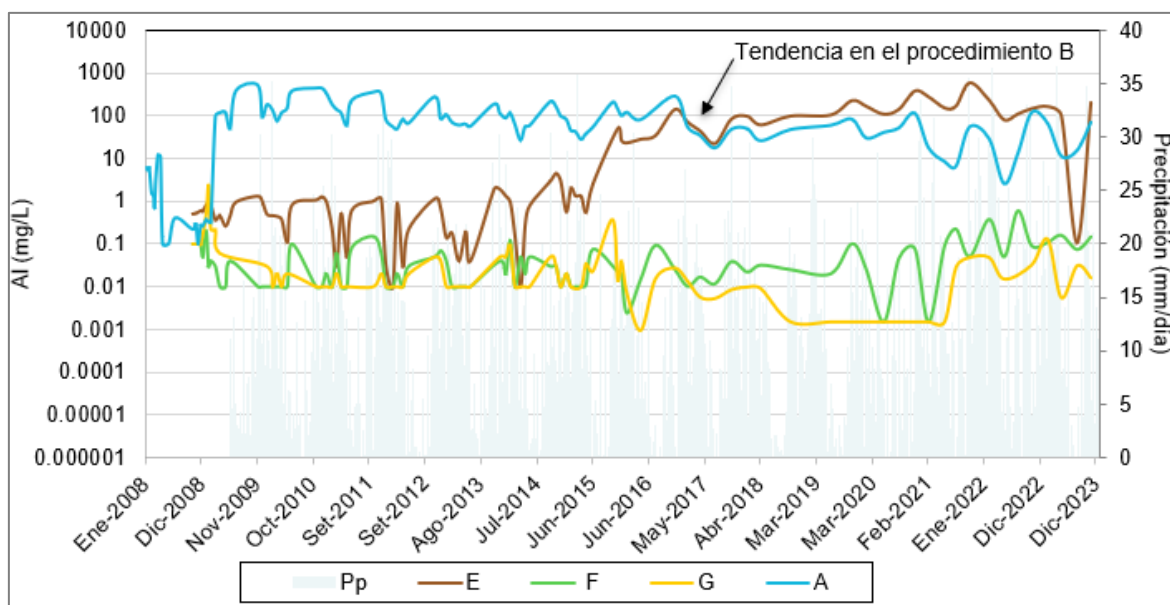
reactivas de los carbonatos, por lo que se puede indicar que este tipo de tratamiento no es una solución que puede ayudar a largo plazo.

El tratamiento E muestra en la mayoría de los casos altas fluctuaciones a lo largo del tiempo analizado en relación con el agua de lluvia. El tratamiento G, debido a los elementos neutralizadores, muestran un comportamiento controlado por los carbonatos/óxidos. Sin embargo, en el tratamiento F se observa un notable incremento en la movilidad de elementos como el Al, Fe, Mg, Ca, Cu y Ar, según se puede ver en las Figura 43 a 48.

El aluminio en los tratamientos A y E muestra condiciones hiperácidas y oxidantes, lo cual ha generado la movilidad de los elementos, especialmente los que están asociados al proceso de alteración con los sulfuros metálicos. Los tratamientos F y G se muestran en condiciones neutras como se observa en la Figura 43.

Figura 43

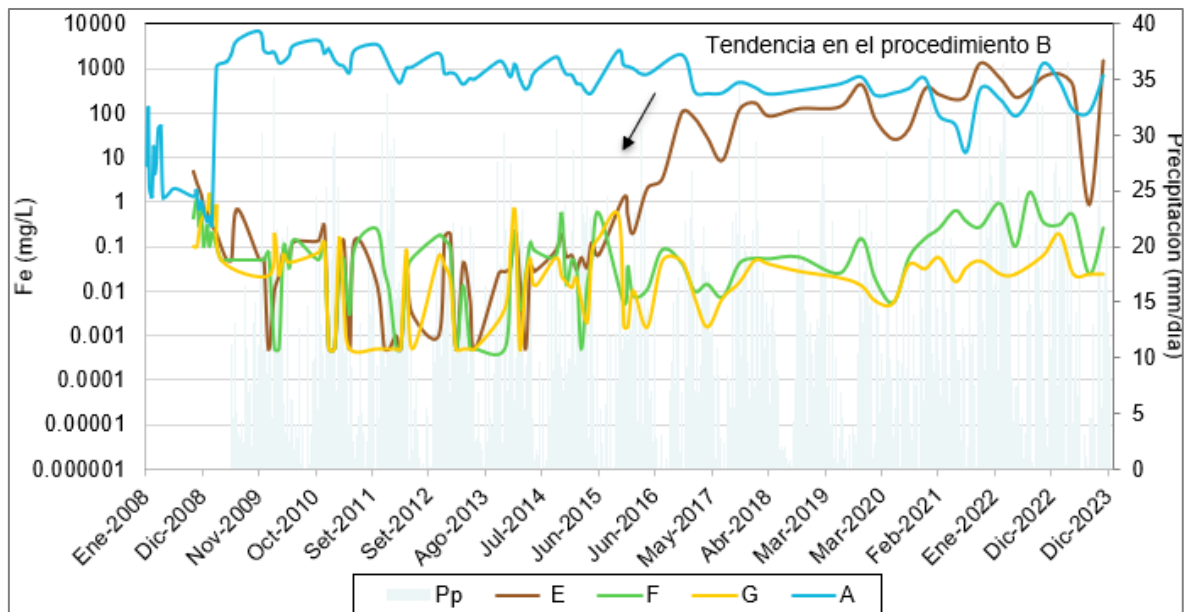
Aluminio para la serie 300 (Procedimiento B)



Nota. Se observa que el aluminio se muestra elevada en el tratamiento A, progresivamente en los últimos años se ha elevado el barril con el tratamiento E

Figura 44

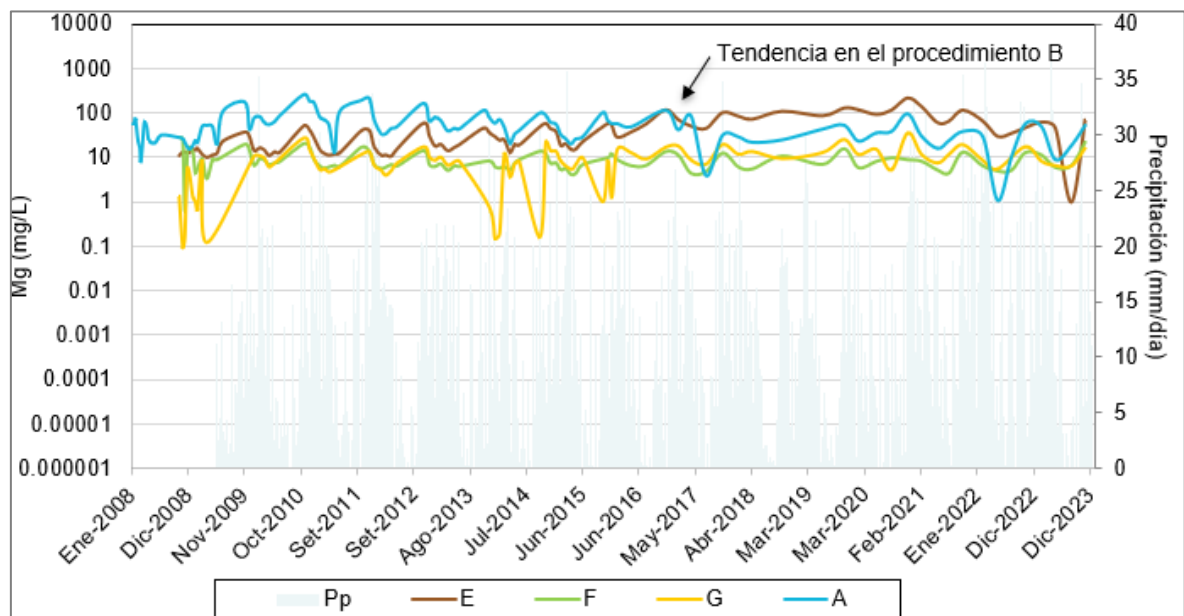
Hierro para la serie 300 (Procedimiento B)



Nota. Muestra concentraciones elevadas los tratamientos E y A.

Figura 45

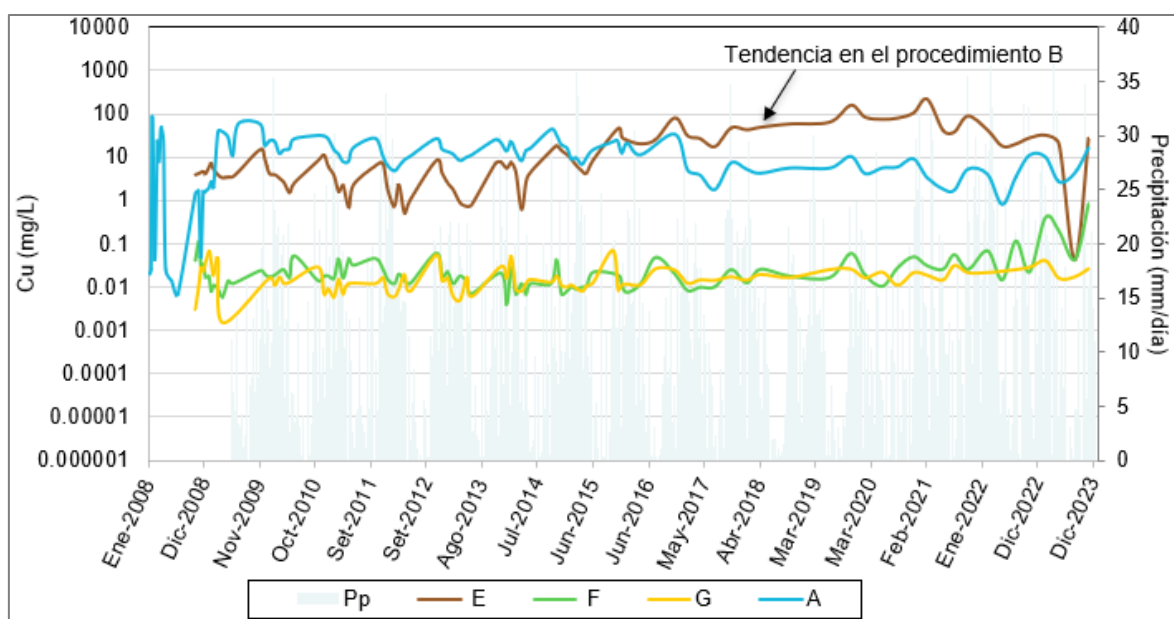
Magnesio para la serie 300 (Procedimiento B)



Nota. Muestra concentraciones elevadas durante toda la etapa de monitoreo en los tratamientos E y A.

Figura 46

Cobre para la serie 300 (Procedimiento B)



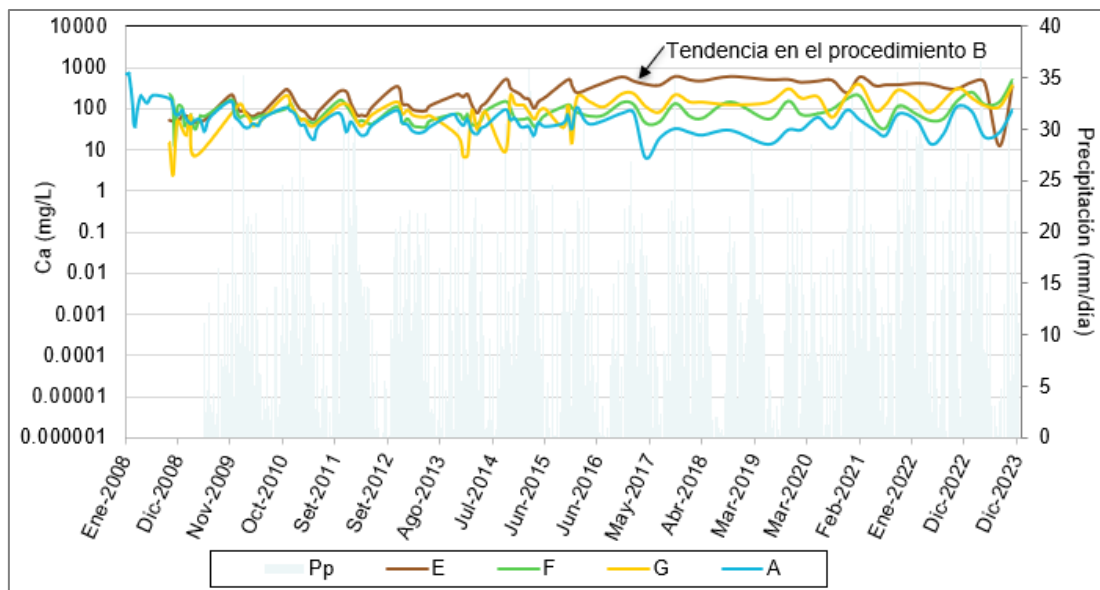
Nota. El cobre ha mostrado concentraciones elevadas durante toda la etapa de monitoreo en los tratamientos E y A.

Sin embargo, con respecto a los minerales de hierro, magnesio y cobre, el tratamiento F muestra tendencias bajas a comparación de los otros tratamientos, se podría indicar el agotamiento de la fuente alcalina de neutralización. El tratamiento E muestra fluctuaciones similares al tratamiento control después del pasivado. Por lo tanto, definitivamente no es recomendable este tratamiento para el control de materiales por ser generadores de drenaje ácido o PAG.

El calcio con respecto al procesamiento B, indica que los barriles al tratamiento E reacción y muestran tendencias altas y la reacción al tratamiento A se mantiene bajo. Sin embargo, en el arsénico como muestra la Figura 49, en el tratamiento A la tendencia se mantiene más alta.

Figura 47

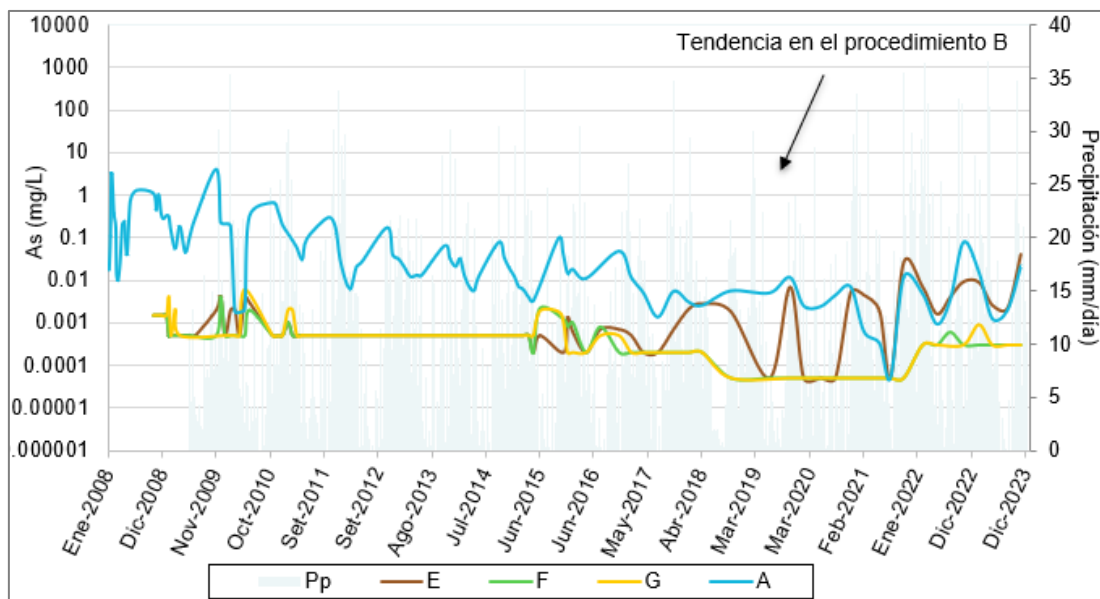
Calcio para la serie 300 (Procedimiento B)



Nota. El níquel se ha mostrado concentraciones elevadas durante toda la etapa de monitoreo en los tratamientos E.

Figura 48

Arsenico para la serie 300 (Procedimiento B)



Nota. El Arsénico ha mostrado concentraciones elevadas durante toda la etapa de monitoreo en los tratamientos E y A.

La diorita debido a su naturaleza y concentración de azufre tiende a consumir los álcalis, esto genera que se formen complejos de Fe. Por lo tanto, la solución debe basarse en la formación de complejos con el Fe, esto es un elemento que ayuda recuperación ambiental, realizando un tratamiento por etapas para inmovilizar los elementos y así no se genere que se realiza una acidez total.

3.4.4. Evaluaciones y decisiones tomadas

Como responsable de los proyectos de geoquímica, se asumen diversas responsabilidades importantes como evaluar aquellos materiales requeridos para usos como lastre de vías, uso para la construcción de la presa de relaves u otros, por lo que se realizan análisis de las tendencias de los lixiviados monitoreados o según su análisis ABA de los componentes, dando un resultado por medio de informes. Además, es vital convocar a reuniones o inspecciones cruzadas con las demás áreas para abordar rápidamente cualquier actividad fundamental para el cuidado ambiental, tomando decisiones en equipo para evitar cualquier desvío de los procedimientos ambientales.

Se valida los materiales utilizados para la construcción de la presa de relaves, lo cual son evaluados previamente mediante pruebas ABA y de metales, estas evaluaciones son fundamentales para solicitar el permiso de construcción a la autoridad año.

Otro aspecto central implica la evaluación de riesgos ambientales asociados con el proyecto. Esto incluye la evaluación de las tendencias de los lixiviados por cada parámetro analizado, identificando el comportamiento de los materiales a la exposición ambiental, esto sirve para determinar a aquellos materiales altamente reactivos e identificar a aquellos tratamientos exitosos, lo cual implica también determinar que barriles en el tiempo tienen valores constantes. Los valores obtenidos sirven para modelar el comportamiento de los componentes a futuro y determinar un mejor cierre de mina.

En términos de gestión de residuos, es esencial desarrollar planes detallados para manejar adecuadamente lo generado durante las actividades de análisis geoquímico. Esto no solo minimiza el impacto ambiental, sino que también garantiza el cumplimiento de regulaciones locales e internacionales.

Respecto a la gestión de relaves, actualmente es fundamental la participación y toma decisiones en la implementación del nuevo Estándar Global de Gestión de Relaves, participando en talleres de evaluación de riesgos de la construcción de la presa, realización de informes técnicos requeridos para el cumplimiento de la gestión de relaves, implementación de reuniones anuales para toma de decisiones en equipo y validación de documentos.

3.4.5. Informes, reportes, instructivos, fichas técnicas y formatos presentados como resultados de la actividad realizada

Los documentos que se presentan durante la ejecución de pruebas geoquímicas son herramientas fundamentales para registrar los datos en tablas, con el fin de organizar la información de manera estructurada y sistemática. La Figura 49 muestra cómo los datos se han registrado de manera eficiente, facilitando una comprensión rápida de la información del proyecto sobre las pruebas geoquímicas.

Cada año se actualizan los procedimientos a cargo del bachiller, en base a la mejora continua del SSYMA, identificando oportunidades o cambios significativos en el proceso, tanto en medio ambiente como seguridad, a continuación, se presenta el procedimiento del programa de pruebas geoquímicas, el cual ha sido actualizado en el 2023.

Figura 49

Programa de pruebas geoquímicas

 SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN -SSYMA- PROGRAMA DE PRUEBAS GEOQUÍMICAS	U.E.A. CAROLINA I CERRO CORONA
	Código: SSYMA-P22.01
	Versión: 10
	Página 21 de 21

N°	Código.	Ratio.	Tamaño de caliza.	Nuevo Código.
3	Diorite L(1-2%S)	1:3	2mm	3003L2
4	Diorite L(1-2%S)	1:1	6mm	3001L6
5	Diorite L(1-2%S)	1:2	6mm	3002L6
6	Diorite L(1-2%S)	1:3	6mm	3003L6
7	Diorite M(2-3%S)	1:1	2mm	3001M2
8	Diorite M(2-3%S)	1:2	2mm	3002M2
9	Diorite M(2-3%S)	1:3	2mm	3003M2
10	Diorite K(0.5-1%S)	1:1	2mm	3001K2
11	Diorite K(0.5-1%S)	1:2	2mm	3002K2
12	Diorite K(0.5-1%S)	1:3	2mm	3003K2

7. REGISTROS, CONTROLES Y DOCUMENTACIÓN

7.1. Formato de Programa de Caracterización Geoquímica del Desmonte en Cerro Corona (SSYMA-P22.01-F01).

7.2. Informe de Pruebas Geoquímicas.

8. REFERENCIA LEGALES Y OTRAS NORMAS.

8.1 Estudio de Impacto ambiental Gold Fields.

8.2 Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aguas del MEM.

9. REVISIÓN.

9.1. Este procedimiento será revisado y mejorado continuamente.

ELABORADO POR	REVISADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR
Diana Honores	Carlos Cueva	Edwin Zegarra	Ronald Diaz
Ingeniero de Medio Ambiente, Pruebas Geoquímicas	Jefe de Medio Ambiente	Gerente de Medio Ambiente	Gerente General/Gerente de Operaciones
Fecha: 05/10/2023			Fecha: 21/10/2023

Nota. Adaptado de Sistema Integrado de gestión – SSYMA (p.23), por Gold Fields, 2023.

En la Figura 50, se han registrado los parámetros de medición en campo a partir de tablas, facilitando una comparación fácil entre diferentes muestras. Esto es crucial para analizar y comparar las concentraciones de elementos en diversas muestras, lo cual es fundamental para comprender mejor la distribución geoquímica.

Figura 50

Registro de datos de caracterización geoquímica del barril B1002

GOLD FIELDS
MEDIO AMBIENTE
MONITOREO

PROGRAMA DE CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL DESMONTE EN CERRO CORONA

U.E.A. CAROLINA I
CERRO CORONA
Código: SSYMA-P22.01-F1
Versión 03
Fecha de aprob: 22/07/2020

BARRIL N°: B1002A-b

Parámetros de Medición en Campo

Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Volumen Aprox. (L)	Balde muestreado (Si o No)	Muestra Duplicada (Si o No)	Temp. (°C)	pH (upH)	EC (uS/cm)	ORP/Redox (mv)	Color del Agua	Muestra al Laboratorio (Si o No)	Equipo de Medición Usado	Comentarios
22/11/20	07:54	16.0	Si	Nº	11.4	3.82	115.0	372.1	transp.	Si	MULTP.04	
14.02.21	07:40	50.0	Si	Nº	12.8	4.04	118.	363.4	transp.	Si	MULTP.05	
23.05.21	11:02	29.	Si	Nº	8.2	4.94	108.	342.2	transp.	Si	MULTP.05	
07.08.21	10:02	3.5	Si	Nº	8.9	2.88	698.	354.7	lg. turbia.	Si	MULTP.05	
24.10.21	10:17	3.6	Si	Nº	10.8	2.95	343.	371.8	turbia.	Si	MULTP.03	
19.02.22	16:43	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SECO.
21.05.22	16:33	32.0	Si	Nº	12.8	3.62	86.4	417.8	transp.	Si	MULTP.03	
13.08.22	16:59	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SECO
05.11.22	16:07	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SECO
11.02.23	16:02	0.200	Si	Nº	9.2	3.82	130.4	383.9	transp.	Si	MULTP.03	Solo M.T.
06.05.23	16:18	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SECO
12.08.23	16:21	0.20	Si	Nº	14.2	3.07	403.	391.4	turbia			Solo M.T.
04.11.23	16:24	0.20	Si	Nº	12.6	4.02	123.9	386.9	transp.	Si	MULTP.05	Solo M. Totales

Nota. Adaptado de programa de pruebas geoquímica en Cerro Corona

En la Figura 50, se continúa utilizando formatos estandarizados y tablas estructuradas para integrar los datos, asegurando precisión y confiabilidad en el registro. Esto es fundamental para tomar decisiones en el proyecto de geoquímica ya que registra los datos obtenidos en campo al momento de la toma de muestra.

En la Figura 51 se muestra un reporte realizado a la caliza (serie 100), esto con el objetivo de determinar si el uso del material perteneciente a Cerro Candela puede ser utilizado en la operación minera, antes de decidir ello se realiza un análisis del comportamiento del material presente en la zona de pruebas geoquímicas y se analiza los resultados ABA existentes y el comportamiento de sus lixiviados en el tiempo con respecto a la composición inicial de azufre.

Figura 51

Reporte de análisis geoquímico de caliza

	INFORME DE SEGURIDAD, SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE		U.E.A. CAROLINA I CERRO CORONA
			Código: SSYMA-P03.08-F03
			Versión: 02
			Fecha de aprob.: 18/01/2016

De : Diana Honores Díaz
A : Luis Sánchez
Fecha : 04 de febrero de 2017
Asunto : Análisis Geoquímico de Caliza de Cerro Candela

De los datos obtenidos en el “Modelo de bloques a largo plazo” se obtuvieron resultados aproximados de composiciones geoquímicas de la caliza ubicada en Cerro Candela.

Actualmente se cuenta en la zona de pruebas geoquímicas barriles con caliza, se analizaron 3 casos de caliza, los de más baja concentración, la de concentración promedio y la de mayor concentración de azufre para analizar sus lixiviados en función al tiempo de exposición al medio ambiente.

- Resultados promedio del “Modelamiento de bloques a largo plazo”

	Au Total g/TM	Cu Tot %	S Tot %	Fe Tot %	As ppm
Val. Prom	0.05	0.02	1.45	2.05	286.86
Val. Min	0.03	0.01	0.59	1.62	136.76
Val. Max	0.08	0.06	1.91	2.51	343.04

- Resultados químicos de los barriles de caliza en la zona de Pruebas Geoquímicas (Antes de ser expuestos al medio ambiente).

	Au Total g/TM	Cu Tot %	S Tot %	Fe Tot %	As ppm
101 A	0.047	698	2.88	2.87	562
102 A	0.5	6406	0.07	5.11	848
103 A	0.095	306	4.37	4.1	5423

El barril 101A es el que presenta mayor similitud con la proyección geoquímicas del modelo de bloques a largo plazo.

Nota. Resultados extraídos del análisis de pruebas geoquímicas para la serie 100.

CAPITULO IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS E IMPLICANCIAS

Se realizaron las pruebas geoquímicas de barriles para evaluar el comportamiento de los materiales a largo plazo (minerales, relaves y materiales de préstamo). Analizando el potencial de drenaje ácido y lixiviación de metales, a través de diferentes parámetros como el pH, conductividad eléctrica, concentración de metales y aniones en los lixiviados, logrando comprender el comportamiento geoquímico de los materiales analizados, sugirieron separar los materiales reactivos de los inertes evitando riesgos al medio ambiente.

Del seguimiento realizado a los datos obtenidos del monitoreo se observa que los procedimientos A y B logran disminuir el drenaje ácido y la movilización metálica de la diorita PAG (Serie 300), pero debido a la presencia de azufre en su composición y a las condiciones ambientales generan drenaje ácido y el agente neutralizante aplicado es un reactivo limitante que a lo largo de los 8 años se han consumido.

La cal mezclada con la serie 300 de la Diorita neutraliza el pH y reduce la oxidación de sulfuros, de igual forma en la lixiviación de metaloides y metales pesados y es más eficiente que el álcali.

Se ha identificado que la serie 300 de diorita PAG es altamente generadora de drenaje ácido de mina a excepción del barril 304 que se ha identificado que la diorita óxica es inerte y no contiene sulfuros en altas concentraciones, este material puede ser usado sin generar algún riesgo al medio ambiente.

4.1. Contribución al desarrollo de la empresa

El análisis geoquímico contribuyó a la creación de una base de datos ambiental de los diferentes materiales, que proporciono información para controlar y evaluar riesgos ambientales y asistir en el desarrollo de estrategias de gestión adecuadas, ha

contribuido de manera crucial a diferentes áreas que conforman la operación como se indica y se describe en la tabla 21. 22 y 23.

Tabla 21

Contribución al desarrollo de la empresa

Actividad	Indicadores
Identificación de materiales generadores de drenaje ácido de mina	Identificación de los materiales según su comportamiento para la usabilidad
Evaluación de riesgos	Evaluación de aquellos potenciales riesgos que puede afectar a la salud o al medio ambiente.
Diseño de estrategias de Remediación	Identificación de áreas geológicas vulnerables Estrategias para abordar los problemas de lixiviación y contaminación
Monitoreo y evaluación	Monitoreos a la efectividad y control de calidad del análisis de los parámetros evaluados.

Nota: descripción de actividades ejecutadas con el fin de contribuir al desarrollo de la empresa.

4.2. Impacto de la propuesta (Económico, tecnológico, ambiental)

El impacto económico según las principales actividades realizadas se puede observar en la tabla 24, donde se detallan los principales indicadores considerados.

Tabla 22*Impacto económico*

Impactos económicos	
Actividad	Indicadores
Optimización de costos de cierre de mina	Identificar las mejores alternativas de cierre de mina, al tener una base de datos robusta se modela las concentraciones de los lixiviados a un futuro, como los componentes cerrados, esto implica tener un diseño más adecuado que prevenga cualquier impacto ambiental y buscar las mejores alternativas en el mercado para solucionar los inconvenientes posibles.
Reducción de costos de remediación	Las pruebas geoquímicas han proporcionado datos cruciales que ayudan a evaluar la calidad y el valor de los activos de las unidades minera. La unidad dispone de información integral lo que permite tomar mejores decisiones para un cierre óptimo.

Nota: descripción de las principales actividades ejecutadas con impacto económico para pruebas geoquímicas.

Tabla 23*Impacto tecnológico*

Impactos tecnológicos	
Actividad	Indicadores
Integración de datos y análisis predictivo	Los avances tecnológicos de la información y comunicación permiten integrar los datos de pruebas geoquímicas con otros conjuntos de datos ambientales. Esto ha facilitado un análisis predictivo más preciso y la modelización del comportamiento de los materiales, lo cual es crucial para identificar tendencias futuras y gestionar proactivamente los riesgos ambientales.
Monitoreo Continuo y en tiempo real	Las tecnologías de pruebas geoquímicas están permitiendo un monitoreo continuo y en tiempo real de diversas series geoquímicas. Esto proporciona una visión más completa y dinámica del comportamiento de estos materiales, facilitando análisis rápidos de los cambios en las condiciones ambientales.

Nota: descripción de actividades ejecutadas en el área tecnológica de la empresa.

Tabla 24*Impacto ambiental*

Impacto ambiental	
Actividad	Indicadores
Identificación de comportamiento de materiales extraídos de la unidad	Las pruebas geoquímicas han sido fundamentales para identificar la presencia de materiales generadores de ácido, permitiendo una respuesta temprana y adecuada para el cierre de minas. Facilitando implementar controles o medidas que inhiban los potenciales impactos.
Planificación de gestión ambiental	Los datos obtenidos de las pruebas geoquímicas han sido fundamentales para desarrollar la planificación de la gestión ambiental, permitiendo la designación adecuada de materiales a distintas áreas.
Monitoreo ambiental	Se monitorea la calidad de la investigación geoquímica implementadas para conocer el comportamiento de los materiales. Esto ha permitido evaluar el diseño de cierre de mina y ajustar las estrategias según sea necesario para cumplir con los objetivos.

Nota: descripción de actividades ejecutadas en el área ambiental de la empresa.

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En la investigación se evaluó la capacidad ARD/ML (generadora de acidez y lixiviación de metales) a través de las pruebas de barriles bajo condiciones climáticas locales, teniendo datos reales que respaldan la toma de decisiones.

En el estudio se analizó el comportamiento geoquímico de la serie 300, Diorita revelando que elementos como S, Se, Cu, Cd, Mo y As superan en más de cinco veces la abundancia típica en la corteza terrestre.

En base a la investigación, la diorita con alto contenido de azufre puede alcanzar hasta un 6.1% de S^{2-} , la cual genera intensa oxidación de sulfuros. Este proceso genera drenaje ácido que supera la capacidad de neutralización de los álcalis que se le añadieron a cada barril, clasificándose como un material altamente PAG, Los materiales clasificados como PAG y No-PAG pueden ser segregaron en diferentes depósitos de desmonte con el objetivo de controlar la reacción de los materiales que son más reactivos, sulfurados y con poco potencial de neutralización.

Del seguimiento y análisis realizado a la serie 300 se observa que el barril A llega a un estado de equilibrio durante un periodo de 5 años y es monitoreado hasta el 2024, teniendo 16 años de exposición al medio ambiente. Los barriles B, C y D presentan el mismo tiempo de exposición y presentan un estado de equilibrio desde el 2017.

En la investigación se identificó que las capas intercaladas de álcalis han contribuido significativamente a retardar y controlar la lixiviación de metales, asegurando una baja solubilidad de estos, se podría garantizar el cumplimiento con los estándares de calidad ambiental ECA 3 y límites máximos permisibles (LMP) analizando previamente el contenido de azufre en la muestra.

De acuerdo con los estudios realizados en la investigación, se estima que la oxidación de sulfuros disminuirá gradualmente con el tiempo, lo que reducirá la generación de drenaje ácido. Esto podría llevar a un pH neutro, incluso después de que los neutralizantes hayan sido agotados debido a la tendencia de cada material en buscar su equilibrio y agotar los componentes que generan acidez.

Debido a la complejidad del proyecto de debe realizar monitoreos de seguimiento más frecuentes al inicio ya que las reacciones son más violentas los álcalis añadidos, pero con el tiempo se puede espaciar los monitoreos analizando previamente la variabilidad observada en los resultados del monitoreo de lixiviados.

La investigación ha proporcionado pruebas que contribuyen significativamente al impacto ambiental positivo. Se ha asegurado de estudiar previamente los comportamientos potenciales de generación de drenaje ácido de cada uno de los componentes extraídos del tajo, lo que nos permite abordarlos de manera adecuada en el futuro cierre de la mina.

El proyecto de pruebas geoquímicas realizadas en campo proporciona mejor respaldo de información que las pruebas cinéticas en laboratorio, debido a que proporciona datos respaldados en la exposición de los materiales a condiciones normales de la zona en un periodo de 16 años, la información es certera y se tiene un mejor análisis del comportamiento de cada material expuesto en la zona.

La información obtenida en las pruebas geoquímicas son base de información para la simulación y predicción del comportamiento de los componentes (botaderos, tajo, presa de relave otros) en un cierre de mina, proporcionando información respaldada en su naturaleza para determinar la calidad del drenaje a futuro de los componentes.

El proyecto tiene un impacto significativo para el cuidado ambiental debido a que con la información obtenida se respalda los diseños de cierre de mina, lo cual

respalda la prevención de posibles impactos ambientales en un futuro, diseñando coberturas que se ajusten a cada componente según la naturaleza de los materiales por cerrar en cada zona.

5.2. Recomendaciones

Realizar una segunda etapa del proyecto de pruebas geoquímicas en aquellos barriles control simulando el cierre con coberturas diseñadas en el cierre de mina aprobado y determinar la efectividad de estos.

Utilizar la información obtenida para determinar la recuperación del mineral en condiciones de exposición al medio ambiente y normales, ya que la unidad minera después del 2025 procesará el mineral de stock y ya no fresco.

Se recomienda continuar con las pruebas de las series 300, 500 y 600 debido a la baja oxidación de sulfuros y lixiviación de sulfatos secundarios, resultando un lixiviado con concentraciones de sulfatos entre 180 mg/L y 1000 mg/L. La acidez liberada es significativamente menor que la capacidad buffer, manteniendo el pH neutro y la mineralización moderada.

Optimizar el análisis de los barriles en campo, ya que debido al tiempo de exposición de los barriles existen series que tienen tendencias constantes y no es tan significativo seguir monitoreándolos, por ejemplo, la serie 900 ya no se recomienda seguir analizando ya que es un barril con bajo contenido de sulfuros y alto contenido de carbonato lo que le hace inerte y tiene alcalización natural.

CAPITULO VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Díaz, R. (2023). Política Antisoborno y Anticorrupción. SSYMA, 2, 25.
- García, J., & Díaz, I. (2023). *Gestión de riesgos de derechos humanos*.
- Gold Fields, G. F. (2021). *Reporte Integrado*.
- Gold Fields, G. F. (2022). *Reporte Integrado*.
- Gold Fields, G. F. (2022). *Sistema Integrado de Gestión*.
- Gold Fields, G. F. (2024). *Organigrama, Recursos Humanos Gerencia de Compensaciones y Beneficios*.
- Herrera, G. (2020). *Estudio de caso de la unidad minera Cerro Corona de Gold Fields la Cima S.A. determinando factores críticos de éxito para la gestión ambiental*.
- Herrera, L. (2018). *Geoquímica de Superficie de depósitos de relaves de Chile*.
- Honores, D. (2023). *Programa de pruebas geoquímicas*.
- Honores, D. (2023). *Programa de Pruebas Geoquímicas*. Cajamarca: Gold Fields.
- Honores, D., & Cueva, C. (2017). *Proyecto tratamiento de tierras impregnadas con hidrocarburos*.
- Inproyen. (2023). *Evaluación del comportamiento y pruebas geoquímicas de los materiales de mina en condiciones de campo*. Lima.
- Inproyen Consulting, I. C. (2019). *Informe de calidad de la caliza en la unidad minera de Cerro Corona*.
- Julca, D. (2020). *El cierre de Minas: Un reto de la minería moderna*.
- Kuramoto, J., & Glave, M. (2022). *Minería, minerales y desarrollo sustentable en Perú | GRADE*.
- López, M., & Pérez, A. (2018). *Pruebas de lixiviación como evaluación ambiental de materiales*.
- Mallén, G., & Chávez, J. (2023). *Lixiviado y geoquímica de pruebas de barriles – clasificación de los materiales según pruebas estáticas y cinética*.
- Manrique, M., & Agurto, A. (2022). *Caracterización geoquímica y mineralógica de relaves mineros La Ciénaga – La Libertad*.

Mendoza, R. (2023). *Estación Meterológica (UT-30)*.

Wachenfeld, M. (2018). *Extracting Good Practices: A Guide for Governments and Partners to Integrate* .

Zamora, G., & Meza, R. (2022). *Formación, prevención e innovación en el tratamiento de drenajes ácidos en operaciones mineras*.

ANEXOS

Anexo 1

Informe de pruebas geoquímicas en el primer semestre de 2023

Entregable 3

LIXIVIADO Y GEOQUÍMICA DE PRUEBAS DE BARRILES – CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES SEGÚN PRUEBAS ESTÁTICAS Y CINÉTICAS

PR-17204-2206001

Preparado para:


GOLD FIELDS

Control de Cambios			
N° de versión	Item de cambio	Motivo de cambio	Fecha del cambio
01		Versión inicial	22/02/2023

Control de Documentos			
Nombre	Dr. Germán Mallén	Dr. Jorge Chávez Blancas	-
Cargo	Hidrogeoquímico	Gerente de Proyecto	-
Firma		-	-
Fecha	01/03/2023	01/03/2023	-

Nota. Adaptado de lixiviado y geoquímica de pruebas de barriles, clasificación de los materiales según pruebas estáticas y cinéticas (p.1), por Gold fields, 2023.

Anexo 2

Informe de pruebas geoquímicas segundo semestre de 2023



INPROYEN CONSULTING S.A.C.

Av. Las Camelias 877 Of. 302

San Isidro, Lima

RUC: 20602643353

www.inproyen.com

INFORME TÉCNICO-CIENTÍFICO

Evaluación del comportamiento y pruebas geoquímicas de los materiales de mina en condiciones de campo

2^{do} Semestre 2023



Elaborado para:

Gold Fields La Cima S.A.

IF-IP2315-02_Rev0

Diciembre 2023

*Nota. Adaptado de evaluación del comportamiento y pruebas geoquímicas de los
materiales de minas en condiciones de campo (p.1), por Inproyen, 2023.*

Anexo 3

Informe de pruebas geoquímicas 2020



INPROYEN CONSULTING S.A.C.
Av. Las Camelias 877 Of. 302
San Isidro, Lima
RUC: 20602643353
www.inproyen.com

INFORME TÉCNICO-CIENTÍFICO
**Evaluación del comportamiento y pruebas geoquímicas de los
materiales de mina en condiciones de campo**



Elaborado para:
Gold Fields La Cima S.A.
IF-IP1924-02

Enero 2020

*Nota. Adaptado de evaluación del comportamiento y pruebas geoquímicas de los
materiales de minas en condiciones de campo (p.1), por Inproyen, 2020.*

Anexo 4

Plataforma de SSYMA



SSYMA 2.0

Sistema Integrado de Gestión en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente (SSYMA)


GOLD FIELDS

Tengo mi usuario de red

 **Ingresar**

No tengo usuario de red ⓘ

Usuario

 Ingresa tu usuario

Contraseña

 Ingresa tu contraseña

Ingresar

Nota. Adaptado de SSYMA 2.0 (p.1), por Gold Fields, 2024.

Anexo 5

Ganadores concurso Concytec

**GOLD FIELDS**

**CONCYTEC**
Firma Digital
Firmado digitalmente por: SCPN/IN
03/10/2021 14:45:00
Fecha: 2021-12-20T14:45:00-05:00





RESOLUCIÓN SUB-DIRECTORAL N° 2135-2021-CONCYTEC-SDCTT
Lima, 20 de diciembre de 2021.

VISTOS:
El expediente virtual N° 00000450 presentado por la empresa **GOLD FIELDS LA CIMA S.A.**, así como el Informe de Técnico Legal N° 09-2021-CONCYTEC-DPP-SDCTT/CCG-ANA de fecha 17 de diciembre de 2021, y;

CONSIDERANDO:
Los fundamentos de hecho y de derecho, así como las conclusiones contenidas en el Informe Técnico - Legal N° 09-2021-CONCYTEC-DPP-SDCTT/CCG-ANA de fecha 17 de diciembre de 2021, el cual forma integrante de la presente resolución, y en uso de las facultades conferidas por el Texto Único Ordenado de la Ley Marco de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica aprobado por Decreto Supremo N° 032-2007-ED, Decreto Supremo N° 026-2014-PCM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del CONCYTEC a la Dirección de Políticas y Programas de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica, el T.U.O. de la Ley de Procedimiento Administrativo General N° 27444 aprobado por Decreto Supremo 004-2019-JUS, Ley N° 30309 - Ley que promueve la Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación Tecnológica (en adelante, Ley N° 30309), el Decreto Supremo N° 188-2015-EF, que designa al CONCYTEC como la entidad responsable de calificar y/o autorizar el desarrollo de los proyectos de (I+D+i) y la Resolución de Presidencia N° 020-2020-CONCYTEC-P de fecha 19 de febrero de 2019, aprobó la Directiva N° 01-2019-CONCYTEC-DPP.

SE RESUELVE:
Artículo 1°.- Declarar **PROCEDENTE** la solicitud de calificación del proyecto de investigación científica presentada por **GOLD FIELDS LA CIMA S.A.**, denominado "Evaluación integral de diferentes tecnologías para la prevención de drenaje ácido de mina: tratamientos alcalinos vs tecnologías verdes" vinculada con la disciplina de investigación de "Ciencias del Medio Ambiente" que será ejecutado por el centro domiciliado INPROYEN CONSULTING S.A.C., cuyo presupuesto estimado asciende a S/ 426,000.00 soles.
Artículo 2°.- Autorizar al centro domiciliado INPROYEN CONSULTING S.A.C en la tipología de investigación científica en la disciplina de investigación de "Ciencias del Medio Ambiente" únicamente para ejecutar el proyecto detallado en el artículo 1° de la presente Resolución.
Artículo 3°.- Notifíquese la presente resolución a la empresa **GOLD FIELDS LA CIMA S.A.**, conforme a Ley.
Artículo 4°.- Conforme lo prescribe el artículo 217° y siguientes del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27444, el contribuyente podrá ejercer su derecho de contradicción contra lo dispuesto mediante la presente resolución, en los plazos establecidos por dicha norma.
Regístrese y comuníquese

Reconocimiento a Gold Fields como empresa de investigación.



Nota. Adaptado de *programa de innovación Ingenio* (p.01), por Honores, 2018.

Anexo 6

Concurso creatividad empresarial




FOTOS IMPLEMENTACIÓN

25 AÑOS

CREATIVIDAD EMPRESARIAL

Relación de Finalistas

Charla para Finalistas:
Jueves 04 de noviembre, 9:00 a.m.
Formato virtual

Informes:
T: 990076014
creatividad@upc.edu.pe



1. COMPROMISO CON LA SOCIEDAD
- EMPRESA PRIVADA
Condominio Eco Amigables de Besco
BESCO
MAB
MAB PERU

Procesos del Bioterrorismo
MORISCO LABORATORIO CREATIVO / UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA / KUNAN
Programa Educación Digital
FUNDACIÓN TELEFÓNICA MOVISTAR

2. COMPROMISO CON LA SOCIEDAD
- INSTITUCIÓN PÚBLICA
Acceso gratuito al diagnóstico molecular de la COVID-19 buscando salvar la vida de los peruanos
INSTITUTO NACIONAL DE SALUD

6. EDUCACIÓN
Campus Romero - Democratizando la educación
FUNDACIÓN ROMERO
Electro Áncash
COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA
Niñas con Oportunidades
CARE PERU
Programa Educación Digital
FUNDACIÓN TELEFÓNICA MOVISTAR

7. ESPÍRITU EMPRENDEDOR
Apufest Play
APUFEST
Diseño y producción de sustratos a medida educado en un modelo de economía circular
INPROVEN
MAB
MAB PERU

12. IMPACTO INTERNACIONAL
Caminata Salkantay - La desafiante aventura milenaria del Perú
SALKANTAY TREKKING
Conectando Latinoamérica con Pagos
KUSHEI
Inversión Global, Óptimos Resultados
EMAC
Proyecto CADENA
EVERIS PERU / SUNAT

13. INMOBILIARIA, CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO
Diseño y producción de sustratos a medida educado en un modelo de economía circular
RINSWANGER PERU
Condominio Eco Amigables de Besco
BESCO
Madrid Viviendas Sostenibles

CONCURSO CREATIVIDAD EMPRESARIAL

4. CUIDADO DEL MEDIO AMBIENTE
Devolviendo vida al planeta: La recuperación del ecosistema en el Delta Upamayo (Pasco y Junín)
ACTIVOS MINEROS
ECO Score: Nuevo estándar ambiental en la industria
HOCHSCHILD MINING / RESITER PERÚ
Estrategia de un modelo de sostenibilidad en la gestión del agua en la unidad minera Cerro Corona
GOLD FIELDS LA CIMA S.A.
Madrid Viviendas Sostenibles
MADRID INGENIEROS S.A.C.
Reducción de huella de carbono y de emisiones de GEI en la Planta de Gas Malvinas - Cusco
PLUSPETROL

Nota. Adaptado de programa de innovación Ingenio (p.01), por Cueva & Honores, 2017

Anexo 7

Tratamiento de tierra impregnada con hidrocarburos



“TRATAMIENTO DE TIERRA IMPREGNADA CON HIDROCARBUROS”

Estación de muestreo	ECA mg/kg	Tratamiento				
		Antes	Después			
Fecha		SG-20	TSG-20	TSG-20	TSG-20	TSG-20
30/09/2017		13/12/2017	21/12/2017	27/12/2017	5/01/2018	
Fracción de hidrocarburos F1 (C5-C10)	500	76.74	<6.00	<6.00	<6.00	<6.00
Fracción de hidrocarburos F2 (C10-C28)	5000	5096.21	1733.91	1096.07	982.09	628.01
Fracción de hidrocarburos F3 (C28-C40)	6000	115.14	64.69	95.03	60.47	83.69

ANTES



DESPUÉS



Nota. Adaptado de *programa de innovación Ingenio* (p.01), por Cueva & Honores, 2017.

Anexo 8

Uso de madera para elaboración de Tecnosoles

**GOLD FIELDS**

PROGRAMA InGENIO

Uso de madera para elaboración de tecnosoles

ÁREA: MEDIO AMBIENTE
PROPUESTO POR: Carlos Cueva y Diana Honores
ELABORADO POR: Carlos Cueva y Diana Honores

 PROBLEMÁTICA	 SOLUCIÓN
- Para la elaboración de tecnosoles se requiere grandes cantidades de manera como insumo. - Adquirir volúmenes grandes de madera en cortos tiempos y protocolos determinados.	Utilización de parihuelas disponibles en el almacén central que no tengan restos de pintura ni elementos metálicos, luego fueron chipeados y/o trozados a las dimensiones solicitadas por el consultor.

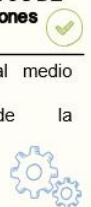
FOTOS DEL ANTES



Traslado de la madera acondicionada

PRINCIPALES IMPACTOS DE LA IDEA (7 Dimensiones Estratégicas)

- Impacto positivo al medio ambiente
- Sostenibilidad de la operación.
- Ahorro económico.



FOTOS DEL DESPUÉS



Uso de la madera trozada para los tecnosoles

Nota. Adaptado de programa de innovación Ingenio (p.01), por Cueva & Honores, 2018.