

Protección del agua en la rehabilitación minera en Perú

Proyecto	Bund-Laender Project BLP Saxony – Peru
Preparado para	GIZ - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH Friedrich-Ebert-Allee 32 + 36 53113 Bonn
Preparado para	Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V. Meraner Strasse 10 01217 Dresden
	Geokompetenzzentrum Freiberg e. V. Korngrasse 1 09599 Freiberg
Autores	MSc. Tania Roth - DGFZ MSc. Heidi Sonntag - DGFZ MSc. Gonzalo Lagas - DGFZ Dr. Gunther Aselmeyer - GKZ
Fecha	Noviembre 2022

MSc. Tania Roth
Líder del Proyecto

MSc. Heidi Sonntag
Líder del Proyecto

Este proyecto está cofinanciado por fondos fiscales sobre la base del presupuesto aprobado por los miembros del Parlamento Sajón.

Colaboradores (junto a los principales autores)

Capítulos 1 and 6

Dr. Ronald Giese – DGFZ

Dr. Christin Jahns - SMEKUL

Burkhard Huth - SMEKUL

Capítulo 2

MSc. Christine Stevens - LfULG

Dr. Anne Weber – DGFZ

Dr. Felix Bilek – DGFZ

Jhoseline Vasquez – DGFZ

Capítulo 3

Oliver Huamán – SMRL Acumulacion Los Rosales

Ing. Ben Ricaldi - DGFZ

Ing. Jose Luis Valverde - DGFZ

Delmy Poma - DESCOSUR

Dr. Ronald Giese - DGFZ

Capítulo 4

MSc. Christine Stevens - LfULG

Dr. Hernando Nuñez – DGFZ

Dr. Anne Weber – DGFZ

Dr. Felix Bilek – DGFZ

Jhoseline Vasquez - DGFZ

Capítulo 5

Dr. Hernando Núñez del Prado– DGFZ

Delmy Poma - DESCOSUR

Jhoseline Vasquez - DGFZ

DGFZ e.V.

Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V.
Meraner Straße 10, 01217 Dresden
Tel.: 0351-40506 70
Fax: Tel.: 0351-40506 79
Amtsgericht Dresden VR 210
USt-IdNr. DE 140134319
GF: Prof. Dr. F. Börner



ZUSE-GEMEINSCHAFT



Prefacio

(Extractos del discurso de la Dra. Regina Heinecke-Schmitt, Ministerio de Energía, Protección del Clima, Medio Ambiente y Agricultura del Estado de Sajonia (SMEKUL), en la reunión final de expertos para el proyecto "Protección del agua en la rehabilitación minera en Perú" el 2 de septiembre de 2022 en Dresde como parte del Programa Federal-Estatal BLP del Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) coordinado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

El valor especial de esta guía radica en el hecho de que incorpora los hallazgos de muchos años de rehabilitación ambiental en los sitios de referencia de Sajonia. La guía proporciona a las autoridades subnacionales peruanas una herramienta sobre cómo se implementa la legislación [ambiental] en el contexto de la gestión sostenible del agua en los sitios mineros en beneficio de las personas afectadas. Al mismo tiempo, se ofrece a las comunidades afectadas una base técnica y un catálogo de métodos [caja de herramientas] para evaluar los impactos existentes y potenciales de las actividades mineras en la calidad de los cuerpos de agua. Además, los resultados del proyecto también pueden ser utilizados por las empresas mineras para mejorar [medidas] internas de protección ambiental.

...

Como parte de un elemento del programa financiado por Saxony Trade & Invest Corporation [WFS], expertos sajones ... [reconocieron] durante el segundo viaje a Perú el uso responsable de los limitados recursos hídricos [locales]. En las últimas semanas y meses en particular, hemos encontrado repetidamente que una disponibilidad limitada de agua también se ha convertido en una realidad en Sajonia como indicador del cambio climático.

...

Como resultado, puedo decir que el intercambio profesional ha contribuido a la gestión sostenible del agua para ambas partes y también puede traer beneficios en el futuro. Es satisfactorio y un evidente éxito cuando el trabajo de un proyecto conduce a una ganancia mutua de conocimiento.

Contenido

Lista de Figuras.....	5
Lista de Tablas.....	8
Lista de Anexos.....	10
Lista de Abreviaciones	11
1. Introducción.....	13
1.1 Objetivos del proyecto y la motivación del estado de Sajonia.....	13
1.2 Socios del proyecto y organización	14
1.3 Estructura del informe de la Guía	16
2. Fundamentos de la Gestión del Agua en Faenas Mineras de Perú y Alemania.....	17
2.1 Marco normativo	17
2.1.1 Perú	17
2.1.2 Directivas de la Unión Europea	19
2.1.3 Regulaciones Alemamas.....	20
2.1.4 Regulaciones del Estado Federal de Sajonia	21
2.2 Valores Umbrales de las Leyes Peruana y Alemana	21
2.3 Metodología Sajona para la Gestión de Sitios Contaminados	25
2.3.1 Principios de la Metodología Sajona	26
2.3.2 Fuente-Vía-Receptores	30
2.4 Tecnologías para el tratamiento de agua	34
2.4.1 Principales Procesos Involucrados en el Tratamiento del Agua	34
2.4.2 Clasificación de los métodos de tratamiento del agua.....	35
2.4.3 Criterios de selección del proceso de tratamiento	39
3. Sitios de referencia.....	40
3.1 Descripción de sitios de referencia peruanos	40
3.1.1 Los Rosales	40
3.1.2 Madrigal	46
3.1.3 Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca.....	50
3.2 Descripción de los sitios de referencia alemanes	53
3.2.1 SAXONIA Freiberg	53
3.2.2 Gran Proyecto Ecológico: Dresden Coschütz/Gittersee	57
3.2.3 Experiencias de los sitios de Wismut	60
3.2.4 Sitio cerrado de relaves de Bielatal	69
3.3 Concepto de comparación de sitios.....	71

4.	Caja de herramientas técnicas para la gestión del agua de mina en sitios posteriores a la minería	73
4.1	Investigaciones Técnicas del Sitio.....	74
4.1.1	Los Rosales: Investigación Orientada (OU).....	74
4.1.2	Madrigal: Investigación Orientada (OU)	80
4.1.3	Proyecto SAXONIA: Investigación detallada DU de la relavera de Davidschacht	83
4.2	Saneamiento de zonas mineras cerradas y rehabilitación de cuencas hidrográficas	89
4.2.1	Sitio de extracción de uranio Königstein.....	89
4.2.2	Gran Proyecto Ecológico Dresden- Coschütz/Gittersee	99
4.2.3	Sitios de desechos de minería de uranio Seelingstädt y Crossen	108
4.2.4	Gran Proyecto Ecológico SAXONIA Freiberg	118
4.3	Remediación de aguas afectadas por minas.....	120
4.3.1	Plantas de tratamiento de agua en las antiguas áreas de extracción de uranio de Wismut.....	120
4.3.2	Planta de tratamiento de aguas de fugas y filtraciones en el sitio de relaves de Bielatal	127
4.3.3	Tratamiento pasivo de agua de mina en Force Crag (Reino Unido)	130
4.3.4	Preselección de métodos adecuados para aplicar en las condiciones peruanas	132
4.4	Medidas de Protección o Contención	141
4.5	Monitoreo de los efectos de la remediación del sitio y de la cuenca hidrográfica local	141
4.5.1	Monitoreo en Los Rosales.....	141
4.5.2	Monitoreo ambiental del sitio de Gittersee.....	146
4.5.3	Tratamiento de agua de la mina Königstein	149
5.	Conflictos sociales en sitios post-mineros en Perú.....	153
5.1	Introducción a los conflictos mineros locales: El caso de Espinar.....	153
5.1.1	Actividad Minera.....	153
5.1.2	Comunidades Involucradas en el Conflicto.....	154
5.1.3	Evolución del conflicto.....	155
5.2	Participación ciudadana	158
5.3	Soluciones locales para la gestión del agua en la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca	173
6.	Perspectivas y desafíos.....	177
6.1	Resumen de los resultados del proyecto.....	177
6.2	Declaraciones de los representantes del Estado de Sajonia	180

6.3	Declaraciones de los representantes de los socios peruanos del proyecto	182
7.	Referencias	184
8.	Anexos	189

Lista de Figuras

Figura 1-1. Esquema de la organización del proyecto BLP.....	14
Figura 2-1. Cronología de la Directiva Marco del Agua de la UE	19
Figura 2-2. Secuencia básica del tratamiento del sitio contaminado	27
Figura 2-3. Procedimiento estándar para la evaluación de sitios contaminados según la Ley Federal Alemana de Protección del Suelo.....	28
Figura 2-4. Diferentes vías a considerar	31
Figura 2-5. Destino y transporte de un contaminante	32
Figura 2-6. Contornos típicos de la pluma en función de las condiciones hidrogeológicas	33
Figura 3-1. Ubicación de Los Rosales	41
Figura 3-2. Río Vilque.....	42
Figura 3-3. Ubicación de la estación meteorológica de Mañazo	43
Figura 3-4. Precipitación total anual en la estación de Mañazo	43
Figura 3-5. Precipitación media mensual para el período 1981-2018	44
Figura 3-6. Pueblo Madrigal, mina Madrigal y relaves	46
Figura 3-7. Mapa metalogénico en el área de Madrigal	47
Figura 3-8. Precipitación total anual en Madrigal	48
Figura 3-9. Precipitación media mensual en Madrigal	48
Figura 3-10. Ubicación de Mina Madrigal y relaves	49
Figura 3-11. Localización de la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca	51
Figura 3-12. Vista frontal del micro embalse “Mamaqocha”	52
Figura 3-13. Ubicación del complejo de los vertederos de Davidschacht.....	54
Figura 3-14. Sección transversal hidrogeológica de la cuenca Döhlener con la ubicación de Dresden Coschütz/Gittersee	58
Figura 3-15. Los relaves de Gittersee en el sur de la ciudad de Dresde	59
Figura 3-16. Mapa geológico del valle del Elba en Sajonia	61
Figura 3-17. Sección transversal geológica esquemática del pozo Königstein	62
Figura 3-18. Instalaciones mineras de Königstein.....	63
Figura 3-19. Vista aérea de la planta de operaciones de Königstein.....	64
Figura 3-20. Seelingstädt con depósito de sedimentación de lodos e instalación de relaves Culmützsch, 1993.....	66
Figura 3-21. Planta operativa de Seelingstädt.	67
Figura 3-22. Instalaciones de la planta operativa Crossen con botadero de residuos mineros	69
Figura 3-23. Área de relaves de Bielatal cerca de Dresde, Sajonia	70

Figura 3-24. ODS de la ONU relevantes para sitios de estudio de remediación posterior a la minería	71
Figura 4-1. Parámetros de agua que superan los LMP en agua de mina Los Rosales (AG-1) y agua tratada (AG-2).....	75
Figura 4-2. Parámetros de agua que superan los ECA peruanos (categoría 3) en muestras de agua subterránea de Los Rosales, Parte I.....	76
Figura 4-3. Parámetros de agua que superan los ECA peruanos (categoría 3) en muestras de agua subterránea de Los Rosales, Parte II.....	77
Figura 4-4. Niveles de agua medidos en pozos de monitoreo de Los Rosales	78
Figura 4-5. Resultados del levantamiento de agua en Los Rosales.....	79
Figura 4-6. Ubicaciones de muestreo en la investigación detallada de Madrigal.....	80
Figura 4-7. Parámetros de agua que superan los ECA peruanos en muestras de aguas subterráneas de Madrigal.....	81
Figura 4-8. Muestras de madrigal comparadas con estándares de agua potable de Perú ..	82
Figura 4-9. Modelo conceptual de la relavera Davidschacht	84
Figura 4-10. Vista general de los pozos y secciones de inundación de la mina de Königstein (a partir de 1997).....	92
Figura 4-11. Izquierda Demolición del complejo de pozos 388/390 (Königstein, 2014); derecho de desmontaje de la bancada del eje 388 (2015).	96
Figura 4-12. Planta de tratamiento de aguas de inundación Königstein en el estado de 2015, que fue modernizada en 2020.	97
Figura 4-13. Edificio de eje de la Marienschacht con torre sinuosa Malakoff, 1886 y en la década de 1990.....	99
Figura 4-14. Custodia de la “ Schurfschacht 60” en 2002	104
Figura 4-15. Wismut-Stolln (2016),	105
Figura 4-16. Esquema de conducción del Wismut Stolln en Dresden- Coschütz/Gittersee 2007-2014, hacia el Tiefer Elbstolln.....	107
Figura 4-17. Transporte de desechos mineros Crossen y residuos de procesamiento a la planta de sedimentación industrial Helmsdorf con Pipe Conveyor.....	109
Figura 4-18. Antigua zona de la planta operativa de Crossen y zona de escombreras remediadas.	110
Figura 4-19. Remediación de planta de decantación industrial Trünzig.	115
Figura 4-20. Custodia de una planta de decantación.....	117
Figura 4-21. Esquema de una planta de decantación industrial completamente remediada	118
Figura 4-22. Planta de tratamiento de agua (PTA) en Seelingstädt	120
Figura 4-23. Eficiencia de la PTA Seelingstädt y Helmsdorf	122
Figura 4-24. Planta de tratamiento de aguas EDAR en Ronneburg con zona de almacenamiento de contaminantes inmovilizados detrás.	123

Figura 4-25. Planta de tratamiento de agua PTA en Königstein con cuencas de sedimentación antes de la descarga de agua al río Elba	124
Figura 4-26. PTA Königstein,.....	125
Figura 4-27. Espesador de alto rendimiento en WTB Königstein.	126
Figura 4-28. Diagrama de la gestión actual del agua de la mina Königstein.	126
Figura 4-29. Planta de tratamiento de agua y lodos para fugas de arsénico de relaves de Bielatal	129
Figura 4-30. Trazado y distribución espacial del sistema de tratamiento Force Crag.....	130
Figura 4-31. Diseño del Estanque de Flujo Vertical (VFP) implementado en Force Crag .	131
Figura 4-32. Diagrama esquemático de tipos comunes de humedales construidos.	136
Figura 4-33. Diagrama esquemático de humedales artificiales anaeróbicos.	137
Figura 4-34. Diagrama esquemático de un método de tratamiento de agua de mina oxidativo.	139
Figura 4-35. Ubicaciones actuales de monitoreo en el sitio de Los Rosales.	142
Figura 4-36. Porcentaje de las emisiones totales de radionúclidos en el sitio de Gittersee.	146
Figura 4-37. Monitoreo ambiental en 2016 cerca de Thürmsdorf varios kilómetros al norte del sitio de Königstein.....	150
Figura 4-38. Volumen relativo de aguas residuales y emisión de radionúclidos disueltos en el sitio de Königstein en los procesos iniciales de remediación.	151
Figura 4-39. Emisiones totales relativas de aire y radionúclidos en el sitio de Königstein en los procesos iniciales de remediación.	151
Figura 4-40. Área rehabilitada del complejo de pozos 388/390 en el sitio de Königstein en 2015.	152
Figura 5-1. Sra. Ayde Huanqui Sisa, Gerente Municipal de Pueblo Madrigal.....	159
Figura 5-2. Sra. Deysi Lisseth Callo Apaza, SMRL Los Rosales.	161
Figura 5-3. Sra. Fiorela Enma Choquehuanca Medina, SMRL Los Rosales.	164
Figura 5-4. Mrs. Kenny Caballero, Descosur.	167
Figura 5-5. Sra. Delmy Polma Bonifaz, DESCOSUR.	170
Figura 5-6. Localización de la Reserva Natural Salinas y Aguada Blanca	173
Figura 5-7. Sra. Brígida Huanachi Lasarte, en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca.	174
Figura 5-8. Gestión local de almacenamiento y distribución de agua en RNSAB.....	174
Figura 5-9. Diferentes áreas mejoradas por el proyecto de la Sra. Brígida.	175
Figura 5-10. Proyecto de micro represa dentro de las propiedades de la señora Brígida .	176

Lista de Tablas

Tabla 2-1. Inversión para Minería Remediación de pasivos ambientales en Perú.....	18
Tabla 2-2. Normas peruanas de calidad ambiental para agua de la Categoría 3	22
Tabla 2-3. Límites máximos permisibles peruanos para descargas mineras.....	23
Tabla 2-4. Estándares relevantes de calidad del agua superficial en Alemania.	24
Tabla 2-5. Valores recomendados para estándares de calidad ambiental de la UBA,.....	24
Tabla 2-6. Normas pertinentes de calidad de las aguas subterráneas alemanas,	25
Tabla 2-7. Pasos y guías técnicas para el manejo de sitios contaminados	26
Tabla 2-8. Comparación de métodos de tratamiento activo y pasivo.....	36
Tabla 2-9. Métodos de tratamiento de agua.....	38
Tabla 3-1. Datos históricos químicos del agua de mina en Los Rosales	45
Tabla 3-2. Datos históricos químicos de las aguas subterráneas en Los Rosales.....	45
Tabla 3-3. Datos de investigación de materia sólida y eluato para la relavera Davidschacht	56
Tabla 3-4. Indicadores relevantes para la evaluación	72
Tabla 4-1. Resultados químicos de la investigación orientada a Los Rosales.....	74
Tabla 4-2. Resultados químicos de la investigación detallada de Madrigal.	83
Tabla 4-3. Alcance de los trabajos de remediación en vertederos mineros de ambas partes operativas de la operación de remediación Königstein.....	93
Tabla 4-4. Tratamiento y descarga de agua en el sitio de Königstein.....	95
Tabla 4-5. Alcance de la remediación de áreas para ambos sitios.....	95
Tabla 4-6. Alcance de la remediación en socavones superficiales de trabajos mineros de Gittersee en la década de 1990.....	100
Tabla 4-7. Alcance de los trabajos de remediación en vertederos de desechos y residuos mineros de Gittersee	101
Tabla 4-8. Alcance de la remediación de áreas superficiales en Gittersee.....	103
Tabla 4-9. Extensión de la inundación anual de las operaciones mineras subterráneas en Gittersee	106
Tabla 4-10. Desmantelamiento de las instalaciones operativas en la ubicación de Seelingstädt	112
Tabla 4-11. Alcance del desmantelamiento de edificios e instalaciones operativas de las plantas de Seelingstädt y Crossen, y eliminación de uranio	113
Tabla 4-12. Requisitos - grupos de cobertura en el proyecto del sitio SAXONIA.....	119
Tabla 4-13. Concentraciones de fondo de arsénico y metales para la región de Freiberg según la ordenanza del área de planificación del suelo.	119
Tabla 4-14. Características del sistema de tratamiento de agua Force Crag Mine.....	131

Tabla 4-15. Criterios de evaluación y puntuaciones correspondientes.	133
Tabla 4-16. Métodos de puntuación según los criterios aplicables en el Perú.....	133
Tabla 4-17. Lugares de monitoreo de Los Rosales.	142
Tabla 4-18. Parámetros monitoreados y métodos analíticos en Los Rosales.....	143
Tabla 4-19. Ubicaciones recomendadas para el monitoreo de aguas subterráneas Los Rosales	144
Tabla 4-20. Ubicaciones recomendadas para el monitoreo de aguas superficiales y minas en Los Rosales	144
Tabla 4-21. Parámetros a monitorear para diferentes localidades de Los Rosales	145
Tabla 4-22. Ámbitos de control de la exposición inicial para la rehabilitación de Gittersee.	147
Tabla 4-23. Tareas de monitoreo post-minera de agua a largo plazo en Gittersee (después de 10 años)	148
Tabla 5-1. Resumen de resultados de la Sra. Brigida	175

Lista de Anexos

Anexo 1. Reporte de viaje BLP octubre-noviembre 2021

Anexo 2. Reporte de viaje BLP junio-julio 2022

Anexo 3. Tour de estudios BLP en Sajonia 2022

Anexo 4. Ordenanza federal alemana de protección del suelo 2021

Anexo 5. Presentaciones y recomendaciones en Perú

Lista de Abreviaciones

AHK	Außenhandelskammer/Cámara de Comercio Exterior de Alemania
ANA	Autoridad Nacional de Agua - Perú
BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz/Ley federal alemana de protección del suelo
BBodSchV	Bundesbodenschutzverordnung/Ordenanza federal de protección del suelo
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe/Instituto Federal Alemán de Geociencias y Recursos Naturales
BLP	Bund-Länder-Programm/Programa federal-estatal
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung/Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo
DAM	Drenaje ácido minero
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DGFZ	Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V./ Centro de Investigación de Aguas Subterráneas de Dresde
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DU	Detailuntersuchung/Investigation Detallada
EQS	Environmental Quality Standard
GDR	República Democrática Alemana
GERESA	Gerencia Regional de Salud - Perú
GIS	Sistema de geoinformación
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit/Agencia Alemana de Cooperación Internacional
GKZ	Geokompetenzzentrum Freiberg e.V./Centro de Geocompetencia de Freiberg
GrwV	Grundwasserverordnung/Ordenanza alemana sobre aguas subterráneas
HE	Historische Erkundung/Investigación histórica
INGEMMET	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - Perú
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz/Grupo de trabajo federal/estatal sobre la protección del suelo
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser/Grupo de trabajo federal/estatal sobre el agua
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie/Oficina Estatal de Medio Ambiente, Agricultura y Geología de Sajonia
LTV	Landestalsperrenverwaltung Sachsen/Administración Estatal de Presas de Sajonia
MINAM	Ministerio del Ambiente - Perú
MINEM	Ministerio de Energía y Minas - Perú
ODS	Objetivos de desarrollo sostenible
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - Perú
OGewV	Oberflächengewässerverordnung/ Ordenanza alemana sobre aguas superficiales
ONG	Organización no gubernamental
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OU	Orientierende Untersuchung/Investigación orientada
PAM	Pasivos medioambientales mineros
PISCO	Datos peruanos interpolados de las observaciones climatológicas e hidrológicas del SENAMHI
RNSAB	Reserva Nacional Salinas y Agua Blanca

SAN	Sanierung/Remediación
SEDAPAR	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado - Perú
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SERNANP	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado Peruano
SMEKUL	Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft/Ministerio de Energía, Protección del Clima, Medio Ambiente y Agricultura de Sajonia
SU	Sanierungsuntersuchung/Investigación de Remediación
TC	Cooperación técnica
UE	Unión Europea
WFD	Directiva Marco del Agua de la Unión Europea
WFS	Wirtschaftsförderung Sachsen/Sociedad de Comercio e Inversión de Sajonia
WHG	Wasserhaushaltsgesetz/Ley alemana de recursos hídricos

1. Introducción

El proyecto "Protección del agua en la rehabilitación minera de Perú" forma parte del Programa del Gobierno alemán y los Estados Federados (en alemán: Bund-Länder-Programm, BLP), que coordina la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). El proyecto fue financiado por el BMZ y cofinanciado con fondos fiscales basados en el presupuesto aprobado por los diputados del Parlamento del Estado Libre de Sajonia.

1.1 Objetivos del proyecto y la motivación del estado de Sajonia

La región andina espera un nuevo boom de materias primas. Esto se debe a la creciente demanda de materias primas para la transición energética y de transporte (por ejemplo, litio, cobre, oro, plata, así como cobalto y níquel como elementos complementarios). La minería moderna en los países andinos juega un papel esencial para el crecimiento verde de base amplia y la provisión de materias primas para tecnologías amigables con el clima. Sin embargo, la minería también genera conflictos de uso debido a métodos de minería nocivos para el medio ambiente. Uno de los principales conflictos potenciales de la minería activa y su cuidado posterior surge de la sobreexplotación y el daño de los recursos hídricos naturales y el deterioro de los ciclos locales del agua. Sin haber implementado mecanismos efectivos para la protección del agua, las actividades mineras y sus legados alteran las estructuras hídricas e introducen contaminantes locales. Particularmente en las regiones con escasez de agua de los países andinos, se presentan conflictos de uso del escaso recurso hídrico por múltiples usos (minería, pesca, agricultura, asentamientos), como es el caso de Perú. Perú ha establecido una estructura administrativa completa para la rehabilitación minera. Sin embargo, el conocimiento de las administraciones regionales subnacionales responsables de una implementación efectiva de las leyes existentes sobre protección del agua en la rehabilitación minera es aún limitado.

Alemania puede ser un modelo a seguir y contribuir al aprendizaje mutuo con la experiencia que ha adquirido. Tratar con residuos mineros es una competencia especial de Sajonia y, al mismo tiempo, también un problema a largo plazo de Sajonia. A raíz de las amargas experiencias con los legados mineros desde la reunificación de Alemania en 1990, Sajonia ha implementado un conjunto completo de regulaciones para la protección del agua en la rehabilitación minera durante los últimos 30 años. Sajonia fue una de las primeras regiones de la UE en elaborar su propia estrategia de materias primas y la ha actualizado recientemente. Esta estrategia otorga especial importancia a la cooperación internacional con países ricos en recursos naturales, la transferencia de tecnología de Sajonia, especialmente a países socios de la cooperación alemana para el desarrollo. Al mismo tiempo, Sajonia ha hecho contribuciones reconocidas a nivel nacional a las normas y estándares para la investigación y remediación de sitios mineros contaminados, en particular de aguas afectadas por la minería (aguas superficiales y subterráneas), que se han incluido, por ejemplo, en las herramientas de los Grupos de Trabajo Federales-Estatales sobre el Agua (LAWA) y sobre el Suelo (LABO). Debido al cambio climático y al fin de la extracción de carbón de lignito, una de las principales tareas de la gestión ambiental en Sajonia será reorganizar la gestión sostenible del agua como recurso durante las próximas décadas. Como guía para futuras decisiones de gestión del agua, SMEKUL ha elaborado recientemente el "Concepto Principal para el Abastecimiento de Agua 2030".

1.2 Socios del proyecto y organización

El proyecto "Protección del agua en la rehabilitación minera en Perú" forma parte del Programa del Gobierno alemán y los Estados Federados (en alemán: Bund-Länder-Programm, BLP), que coordina la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). El proyecto BLP se llevó a cabo en cooperación directa entre el *Centro de Investigación de Aguas Subterráneas de Dresden (DGfZ)* y el *Geokompetenzzentrum Freiberg eV (GKZ)*. Todas las actividades en Perú se realizaron con el apoyo de tres coordinadores y asesores peruanos, que formaron parte del equipo de proyecto de la DGfZ. La organización completa del proyecto se muestra en la **Figura 1-1**.

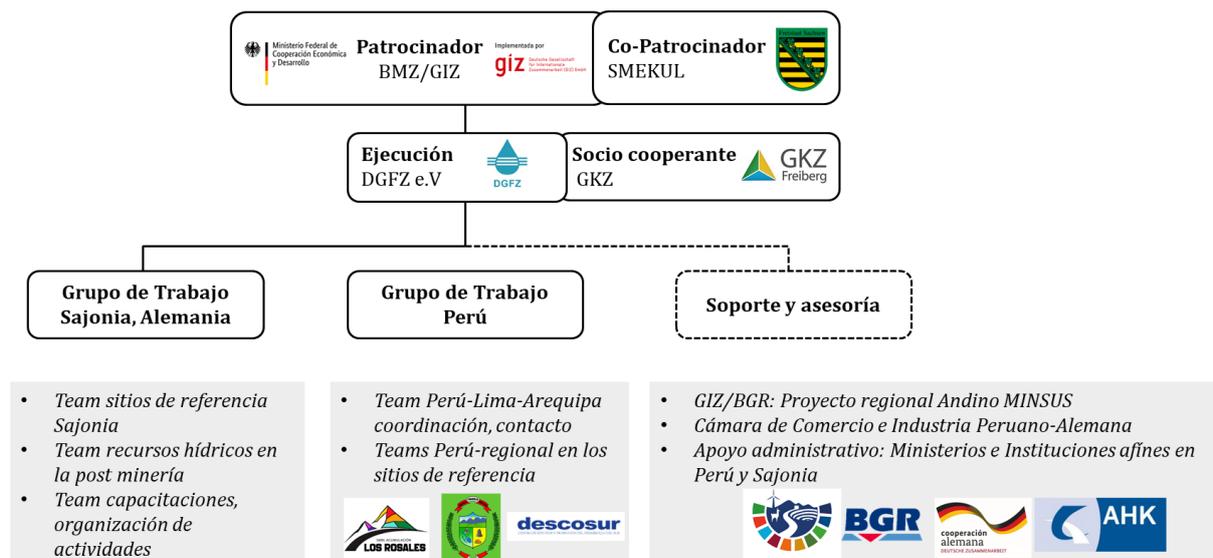


Figura 1-1. Esquema de la organización del proyecto BLP.

Inicialmente se seleccionaron dos sitios de referencia de la Región Sur Andina del Perú de entre varias alternativas para el proyecto BLP. Se firmaron convenios de cooperación con las autoridades e instituciones locales responsables. La selección se hizo considerando el acceso a la información histórica, la voluntad de los propietarios de proporcionar acceso al sitio y permitir actividades en el sitio, y la existencia de conflictos relacionados con el agua alineados con el objetivo del proyecto BLP. En uno de ellos, el yacimiento de Los Rosales, el proyecto BLP se ha realizado con el apoyo y colaboración del proyecto MINSUS (Cooperación Regional para la Gestión Sostenible de los Recursos Minerales en la Región Andina) del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). Este proyecto ha sido llevado a cabo por la GIZ y el Instituto Federal Alemán de Geociencias y Recursos Naturales (BGR). Reconociendo una demanda de los socios peruanos, se acordó incluir adicionalmente un tercer sitio de referencia durante el primer viaje a Perú, que forma parte de la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca (RNSAB). El desarrollo del proyecto en el sur de Perú no hubiera sido posible sin el apoyo de las autoridades locales, las partes interesadas y las entidades administradoras del sitio. Estos son: la administración municipal de El Madrigal, las oficinas de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en Arequipa y Juliaca, el Servicio Nacional de Áreas Nacionales Protegidas (SERNANP), la Universidad de los Altos en Puno, la empresa minera Acumulaciones Los Rosales SMRL, y el Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo del Sur (DESCOSUR).

Por otro lado, se seleccionaron sitios de referencia sajones para el proyecto, considerando su excelencia en la gestión del agua para la rehabilitación post-minería (es decir, tratamiento de agua de mina, monitoreo, cobertura y protección, entre otros). Se eligieron dos antiguos sitios mineros de entre los principales proyectos de remediación ecológica en Sajonia: el proyecto SAXONIA en Freiberg y el proyecto Coschuetz-Gittersee en Dresde. El acceso al sitio de Gittersee ha sido facilitado por la Oficina de Medio Ambiente de la capital de Sajonia. Se ha incluido información adicional sobre la rehabilitación de sitios mineros de los sitios mineros sajones cerrados de las empresas federales de rehabilitación minera Wismut GmbH y LMBV mbH. La Administración Estatal de Presas de Sajonia (LTV) apoyó los estudios de retención y almacenamiento de agua mejorados en RNSAB compartiendo su competencia en la gestión del sistema de presas de almacenamiento de agua de Sajonia en la región de los Montes Metálicos. Se ha coordinado un intercambio con la alianza Recomine de investigación de sitios mineros con el apoyo de Saxony Trade & Invest Corporation (WFS). La coordinación de Recomine se encuentra en el Instituto Helmholtz de Freiberg para Tecnología de Recursos (HIF). La alianza tiene la visión de desarrollar aún más las competencias desarrolladas regionalmente en el campo de las tecnologías ambientales y vincularlas con tecnologías para el desarrollo de fuentes dispersas de materias primas.

Debido a la pandemia de COVID-19 y las restricciones de viaje en todo el mundo, las actividades in situ en los sitios de estudio no fueron posibles al comienzo del proyecto en 2020. Como alternativa, en agosto de 2021, expertos peruanos del equipo de la DGfZ visitaron los sitios de estudio y realizó las primeras actividades de campo para obtener información más detallada. Esto fue coordinado y transmitido en línea a los expertos alemanes. En noviembre de 2021 se realizaron actividades de campo por parte de los especialistas sajones en Perú. Las actividades incluyeron muestreo de agua e instalación de pozos poco profundos de monitoreo. En junio/julio de 2022, los especialistas alemanes realizaron un segundo viaje a Perú para presentar y discutir los resultados preliminares del proyecto a las partes interesadas, incluidos los actores locales de los sitios de estudio y las autoridades locales. Además, se llevaron a cabo varias capacitaciones con las partes interesadas locales sobre la medición in situ de parámetros químicos en el muestreo de agua de mina y agua subterránea. También se realizaron entrevistas a los interesados para recopilar experiencias y percepciones sobre temas sociales relacionados con la gestión del agua. La información recibida durante este viaje fue tomada en cuenta para este informe.

En agosto/septiembre una delegación de especialistas peruanos realizó un viaje técnico a Sajonia, Alemania. Este viaje de campo tuvo como objetivo fortalecer las capacidades de las administraciones nacionales y regionales en Perú para incorporar los estándares internacionales y las experiencias de protección del agua en la rehabilitación posterior a la minería. Esto incluyó visitas de campo a proyectos de mitigación emblemáticos en Sajonia, que fueron presentados y explicados por las empresas e instituciones implicadas en la rehabilitación. Se llevó a cabo una Conferencia Internacional final "Protección del agua en la remediación de minas en Sajonia y Perú - Resultados y beneficios de un proyecto de cooperación para el desarrollo", que incluyó presentaciones y discusiones de expertos e intercambio de experiencias.

1.3 Estructura del informe de la Guía

El siguiente informe está estructurado como una guía que recoge tanto los hallazgos de los sitios de estudio peruanos, recogidos de las actividades realizadas durante los viajes a Perú, como las experiencias de los sitios de referencia sajones en relación con la gestión del agua post-minera. Asimismo, se dan recomendaciones sobre las medidas que se pueden aplicar.

La guía proporciona en el **Capítulo 2** los fundamentos de la gestión del agua en sitios mineros en Perú y Alemania, así como los valores umbral para ambos países. Este capítulo también contiene la metodología sajona para la gestión de sitios contaminados y lo último en tecnología en el tratamiento de aguas. El **Capítulo 3** describe los sitios de referencia peruanos y sajones. Se introduce una perspectiva del concepto de comparación de sitios. El **Capítulo 4** proporciona la parte principal de la guía: la caja de herramientas técnicas para la gestión del agua de la mina en los sitios posteriores a la minería. En esta caja de herramientas, las investigaciones técnicas del sitio se presentan primero utilizando los ejemplos de los sitios peruanos (Madrigal y Los Rosales), así como el proyecto SAXONIA. Los siguientes subcapítulos tratan de la remediación de instalaciones mineras y aguas afectadas por minas presentando las técnicas involucradas a través de ejemplos. Además, se enumeran las medidas de protección o contención. Finalmente, se describen ejemplos de monitoreo de los sitios Gittersee y Königstein, así como el plan de monitoreo propuesto para el sitio peruano Los Rosales. El **Capítulo 5** examina los conflictos sociales en los sitios post-mineros del Perú desde diferentes perspectivas. Presenta un caso de estudio, así como varias entrevistas grabadas durante un viaje a Perú que capturan las impresiones locales. Las soluciones locales de gestión del agua también se describen a través de un caso ejemplar en una Reserva Nacional en el sur de Perú. Finalmente, el **Capítulo 6** resume los resultados del proyecto teniendo en cuenta las declaraciones de los representantes del Estado de Sajonia y los socios peruanos del proyecto.

2. Fundamentos de la Gestión del Agua en Faenas Mineras de Perú y Alemania

En este capítulo se presenta una revisión general de los fundamentos para la gestión del agua. Se presenta el marco regulatorio en Perú y Alemania, incluidas las leyes pertinentes y los valores umbral para los parámetros de interés. Además, se discute la metodología sajona para la gestión de sitios contaminados. Finalmente, se presenta a modo de propuestas una revisión sobre lo último en tecnología de las técnicas de tratamiento de aguas.

2.1 Marco normativo

2.1.1 Perú

Entre los países de América del Sur, se puede considerar que Perú tiene la legislación más completa relacionada con los sitios mineros abandonados y los pasivos ambientales, desde 1995 se realizaron esfuerzos para identificar los problemas ambientales relacionados con la minería (Oblasser, 2016). La cooperación internacional apoyó este logro: El Ministerio Federal Alemán para la Cooperación Económica y el Desarrollo (BMZ), a través de la GIZ, ayudó al Ministerio de Minería y Energía en 2008 a establecer el marco legal para la remediación de PAM's (Chappuis, 2020). En 2015, la Agencia de Cooperación Internacional de Corea, y Mine Reclamation Corporation (MIRECO) junto con el Ministerio de Energía y Minas del Perú trabajaron en conjunto en el proyecto bilateral "Fortalecimiento de la Gestión para la Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en Perú" (Oblaster, 2016).

Las operaciones mineras en Perú son responsabilidad de actores diferenciados. La gran y mediana minería está a cargo del gobierno central, mientras que la minería artesanal y de pequeña escala está a cargo de los gobiernos regionales.

El Estado participa en la gestión de *los pasivos ambientales mineros* (PAM). *Activos Mineros S.A.C.* (AMSAC), empresa estatal, asume las obras de rehabilitación de PAS dejadas por las actividades mineras estatales cesadas en 2006. Hasta 2017, más de 1000 PAS han sido remediadas por AMSAC, con una inversión superior a los 64 millones de dólares (**Tabla 2-1**). Aunque varios proyectos de remediación están en marcha, hay poca información disponible en el dominio público sobre estrategias de monitoreo (Oblaster, 2016).

Las siguientes tres leyes peruanas son relevantes para la gestión del agua de mina en la etapa post-minera:

La **Ley General del Ambiente** (*Ley N° 28611*) establece el marco legal para desarrollar programas de gestión ambiental, estándares de calidad ambiental y estipula las concentraciones máximas permisibles de sustancias, y define las responsabilidades por daños ambientales (Oblaster, 2016). Los estándares de calidad ambiental se definen como los niveles de concentración de diferentes sustancias que no representan un daño o amenaza significativo para la salud de los humanos o el medio ambiente. Estos niveles están definidos para diferentes clasificaciones de cuerpos de agua, según el uso final que tengan definido en el decreto supremo 004-2017-MINAM. También se incluyen en esta ley los límites máximos

permisibles (LMP). Estos límites se refieren a descargas de actividades antropogénicas y se definen para diferentes industrias y tipos de descarga (por ejemplo, gas, agua).

Tabla 2-1. Inversión para Minería Remediación de pasivos ambientales en Perú

Año	Inversión (USD MM)
2007	1.53
2008	2.66
2009	3.23
2010	3.14
2011	3.12
2012	4.29
2013	8.39
2014	1.50
2015	5.21
2016	11.47
2017	19.65
Total	64.19

Fuente: Chappuis (2020)

La Ley de Recursos Hídricos (*Ley N° 29338*) establece que los cuerpos de agua nacionales deben ser clasificados de acuerdo con sus características naturales y uso final. La clasificación de los cuerpos de agua son los siguientes:

- **Categoría 1 – Doméstica y recreativa:** aguas que se destinan al consumo humano o fines recreativos.
- **Categoría 2 – Extracción, cultivo y otras actividades marinas costeras y continentales:** aguas que se utilizan para la crianza de diferentes peces y mariscos, también aguas aledañas a puertos y otras actividades industriales.
- **Categoría 3 – Riego de cultivos y bebida de animales:** aguas que se destinan al riego de diferentes cultivos y para la alimentación de diferentes animales.
- **Categoría 4 – Conservación del medio acuático:** cuerpos de agua que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas protegidas con características especiales que se pretende conservar.

La Ley para la Regulación de los **Pasivos Ambientales de la Actividad Minera** (*Ley N° 28271*) regula la remediación de pasivos ambientales en la industria minera (Chappuis, 2020). De acuerdo con esta ley, el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) es responsable de mantener una base de datos actualizada de los pasivos ambientales mineros, así como de identificar a los propietarios responsables. En caso de que no se encuentre responsable o dueño de un determinado pasivo ambiental minero, el Estado es el responsable de la remediación de este.

Durante la década de 1990, el monitoreo de la calidad del agua fue regulado por diferentes organismos públicos, dependiendo del sector (minero, agrícola, ambiental, petrolero, etc.), creando así una multiplicidad de criterios de selección de sitios, parámetros, límites y duplicidad de criterios en las Funciones estatales, lo que generó conflictos con diferentes autoridades de inspección y gasto público innecesario. En 2011 la *Autoridad Nacional del Agua* (ANA) publicó el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos. Esta guía técnica tiene como objetivo unificar criterios para el muestreo y la adquisición de datos

en todo el país, con el fin de generar una base de datos única sobre un sistema nacional de datos de recursos hídricos para un sistema integrado de gestión de cuencas (ANA, 2011).

2.1.2 Directivas de la Unión Europea

La Unión Europea (UE) ha creado muchas directivas relacionadas con la protección del medio ambiente que son aplicables a todos los Estados miembros. Entre estos, los siguientes están relacionados con la protección del agua en áreas mineras:

- Directiva Marco del Agua
- Directiva sobre aguas subterráneas
- Directiva de Responsabilidad Medioambiental

La **Directiva Marco del Agua de la UE (DMA)** proporciona un marco para la gestión de la calidad del agua para todos los Estados miembros de la UE. La DMA se adoptó en 2000. La DMA tiene como objetivo proteger y mejorar la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos, al mismo tiempo que promueve el uso sostenible del agua (Ross, 2016). Entre los elementos clave incluidos en la DMA se encuentran: la gestión de cuencas fluviales basada en planes de cuencas fluviales, un vínculo entre los valores límite de emisión y los estándares de calidad ambiental para el control de la contaminación, la definición de “buen estado del agua” y el principio de recuperación total del costo del agua (Page y Kaika, 2003).

Si bien se establecen objetivos claros, cada Estado miembro puede determinar cómo alcanzarlos. Estos objetivos son (Directiva 2000/60/EC, 2000):

- Buen estado ecológico y químico de las aguas superficiales,
- Buen estado químico y cuantitativo de las aguas subterráneas, y
- Buen potencial ecológico de cuerpos de agua muy modificados o artificiales

Los Estados miembros de la UE deben alcanzar estos objetivos al final del tercer ciclo de gestión (2021-2027), véase la

Figura 2-1. Posteriormente, se inicia un nuevo ciclo de 6 años, y se reevalúa constantemente la consecución de los objetivos.

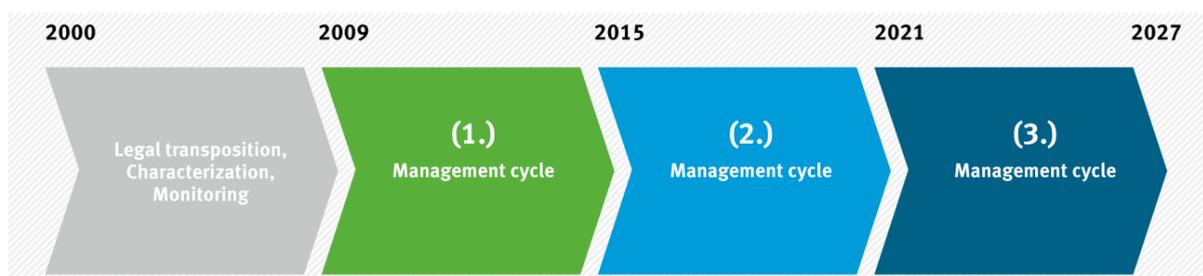


Figura 2-1. Cronología de la Directiva Marco del Agua de la UE

Fuente: BMUB/UBA (2016)

La **Directiva de Aguas Subterráneas de la UE** fue adoptada en 2006 como una directiva secundaria de la DMA para fines específicos sobre los criterios de estado de las aguas subterráneas. Era necesario aclarar los criterios para el buen estado químico de las masas de agua subterránea, así como la identificación e inversión de las tendencias de

contaminación. Esta directiva requiere que los miembros definan y caractericen las masas de agua subterránea dentro de los distritos de cuenca fluvial, identificando aquellas en riesgo de no cumplir los objetivos de la DMA, establezcan registros de áreas protegidas, definan estándares de calidad ambiental (valores umbral), tendencias de contaminación e implementen medidas preventivas o limiten la entrada de contaminantes. en las aguas subterráneas, así como establecer redes de seguimiento (Comisión Europea, 2008). La Directiva sobre aguas subterráneas de la UE se transpuso a la legislación nacional en la Ordenanza sobre aguas subterráneas (GrwV).

2.1.3 Regulaciones Alemamas

En Alemania, la recuperación de áreas afectadas por la minería está regulada por la **Ley Federal de Minería** (*Bundesberggesetz - BBerG*). Las autoridades mineras y del agua deben ponerse de acuerdo sobre los asuntos relacionados con el agua que se incluyen en los procedimientos de aprobación de la minería.

La República Federal de Alemania ha hecho de la protección de los fundamentos naturales de la vida un objetivo estatal en su Ley Fundamental (artículo 20a). Esto también incluye la protección de las aguas. En el marco de la protección integral del medio ambiente, la cual asegura el abastecimiento de la población y en especial también de las generaciones futuras, la protección del agua es una de las máximas prioridades. La **Ley de Recursos Hídricos** (*Wasserhaushaltsgesetz - WHG*), que originalmente data de 1957, constituye el núcleo de la ley de protección del agua. Su propósito es proteger los cuerpos de agua como componente del equilibrio natural, como base de la vida humana, como hábitat para animales y plantas, y como recurso utilizable a través de la gestión sostenible del agua (Sección 1 WHG).

El WHG tiene como objetivo crear las condiciones legales para la gestión ordenada de las aguas superficiales y subterráneas en términos de cantidad y calidad, y controlar los impactos humanos en los cuerpos de agua. La WHG estipula que los cuerpos de agua deben ser asegurados como un componente del equilibrio natural y como un hábitat para animales y plantas y manejados de tal manera que sirvan al bien público y, en armonía con él, también al beneficio de las personas. Deben evitarse los deterioros evitables de sus funciones ecológicas (principio de precaución). En general, se garantizará un alto nivel de protección del medio ambiente.

Los requisitos legales de la UE se implementan de manera uniforme en toda Alemania en la **Ordenanza de aguas superficiales** (*Oberflächengewässerverordnung – OGewV*) para garantizar un nivel general similar de protección para las aguas superficiales en toda Alemania. El objetivo es una implementación coherente y completa de todos los requisitos legales de la UE para la protección de las aguas superficiales. La OGewV establece los criterios de buen estado químico y buen estado ecológico de las masas de agua superficiales naturales. Las medidas específicas de tipo de masas de agua superficial (aguas costeras, lagos y ríos) se definen en la OGewV . El estado ecológico se basa en una evaluación integradora. Las autoridades regionales (*Länder*) definen los programas de monitoreo para evaluar la calidad ecológica de los cuerpos de agua y las posibles fuentes de contaminación (Agencia Ambiental Alemana, 2017).

La **Ordenanza sobre aguas subterráneas** (*Grundwasserverordnung – GrwV*) establece los criterios para el buen estado químico de las masas de agua subterránea. Los valores de umbral para evaluar las aguas subterráneas se basan en los datos de seguimiento de cada masa de agua subterránea. El monitoreo permite identificar cualquier aumento en las tendencias, y las autoridades deben actuar si se alcanza el 75% del valor límite (Agencia Ambiental Alemana, 2017).

Además de WHG, OGeWV y GrwV, la **Ley Federal de Protección de Suelos y Sitios Contaminados** (*Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG*) también es relevante para la protección en sitios afectados por minas. El BBodSchG busca establecer un vínculo entre la protección del suelo antes y después de la precaución, mientras que el tratamiento de sitios contaminados considerando su uso final es el enfoque principal (LfULG, 2003). Las medidas de precaución y los requisitos para el uso de materiales se definen en el BBodSchG para evitar una mayor contaminación del suelo. Debe evitarse cualquier factor que cause un impacto en la capacidad del suelo. La **Ordenanza de Protección del Suelo y Sitios Contaminados** (*Bodenschutz - und Altlastenverordnung - BBodSchV*) define valores umbral para contaminantes relevantes en el suelo, pruebas de prevención de peligros y valores de medición para la contaminación del sitio y cambios perjudiciales en el suelo y procedimientos para la investigación y evaluación del suelo (UBA, 2014).

La enmienda a la Ordenanza Federal de Protección del Suelo entra en vigor en agosto de 2023. El objetivo es armonizar los estándares de evaluación para los medios ambientales suelo y agua. La ordenanza revisada que entrará en vigor en 2023 se puede encontrar en el **Anexo 4**.

2.1.4 Regulaciones del Estado Federal de Sajonia

Las regulaciones federales para sitios contaminados en Sajonia se crearon en 1992 con la **Primera Ley sobre Gestión de Residuos y Protección del Suelo en el Estado Libre de Sajonia** (*EGAB*), siendo uno de los primeros Estados Federales de Alemania en tener su propia ley de protección del suelo. La EGAB pasó a llamarse **Acta de Gestión de Residuos y Protección del Suelo de Sajonia** (*SächsABG*) en 1991, después de la entrada en vigor de la BBodSchG.

La estructura y responsabilidades en la protección del suelo están definidas por *SächsABG*. El Ministerio de Energía, Protección del Clima, Medio Ambiente y Agricultura del Estado de Sajonia (*SMEKUL*) se define como la máxima autoridad de protección del suelo, determinando las responsabilidades para la aplicación de la ley de protección del suelo por orden legal. La Oficina Estatal de Medio Ambiente, Agricultura y Geología (*LfULG*) es la autoridad técnica en materia de protección del suelo, asesorando y apoyando a la máxima autoridad de protección del suelo.

2.2 Valores Umbrales de las Leyes Peruana y Alemana

Los estándares de calidad ambiental en el Perú se definen para cada categoría de aguas definidas en la Ley Ambiental. Cada categoría está sujeta a un **conjunto específico de normas para diferentes sustancias**. Se especifican excepciones para cuerpos de agua que por condiciones naturales (p. ej. antecedentes geológicos) presenten sustancias que excedan los estándares de calidad ambiental, sin intervención humana.

Tabla 2-2. Normas peruanas de calidad ambiental para agua de la Categoría 3

Parámetro	Unidad	Valor/rango	Parámetro	Unidad	Valor/ rango
pH	(-)	6.5 – 8.5	As	mg/L	0.1
Temperatura	(-)	Δ3°C	Ba	mg/L	0.7
Conductividad	μS/cm	2500	Be	mg/L	0.1
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥ 4	B	mg/L	1
DBO	mg/L	15	Cd	mg/L	0.01
DQO	mg/L	40	Co	mg/L	0.05
Cl ⁻	mg/L	500	Cu	mg/L	0.2
Detergentes (SAAM)	mg/L	0.2	Cr	mg/L	0.1
Cianuro WAD	mg/L	0.1	Fe	mg/L	5
HCO ₃ ⁻	mg/L	518	Li	mg/L	2.5
Fenoles	mg/L	0.002	Hg	mg/L	0.001
F ⁻	mg/L	1	Mn	mg/L	0.2
SO ₄ ⁻²	mg/L	1000	Ni	mg/L	0.2
Aceites y grasas	mg/L	5	Pb	mg/L	0.05
Nitratos + Nitritos	mg/L	100	Se	mg/L	0.02
Nitritos	mg/L	10	Zn	mg/L	2
Al	mg/L	5			

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

Teniendo en cuenta los sitios de estudio estudiados en este informe, se selecciona la categoría 3 para la evaluación de la calidad del agua. En esta categoría se incluyen un total de 49 sustancias, entre parámetros fisicoquímicos, indicadores inorgánicos, orgánicos y microbiológicos. Los estándares de calidad ambiental para parámetros fisicoquímicos e inorgánicos de aguas de categoría 3 se muestran en la **Tabla 2-2**.

Las aguas de descarga de las pequeñas empresas mineras deben ser monitoreadas por la empresa y mostradas a las autoridades regionales en un documento de programa de monitoreo, que debe incluir la ubicación de los sitios de monitoreo (debe incluir efluentes y cuerpos de agua receptores), parámetros monitoreados y frecuencias de monitoreo para cada sitio. Debe ser aprobado por las autoridades locales como parte de los permisos ambientales y puede ser modificado posteriormente, si así lo solicitan las autoridades. Además de los parámetros específicos determinados para cada industria, los programas de monitoreo también deben incluir los siguientes parámetros:

- Caudal,
- Conductividad eléctrica,
- Temperatura del efluente, y
- Turbidez.

Los valores de umbral pueden ser para una sola medición (es decir, "límite en un momento dado") o para el promedio anual. Los valores umbral para las aguas de descarga en las actividades mineras se muestran en la **Tabla 2-3**.

Tabla 2-3. Límites máximos permisibles peruanos para descargas mineras.

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible	
		Límite en cualquier momento	Promedio anual
pH	(-)	6 - 9	6-9
STS	mg/L	50	25
Aceites y grasas	mg/L	20	16
Cianuro total	mg/L	1	0.8
As Total	mg/L	0.1	0.08
Cd Total	mg/L	0.05	0.04
Cr Total	mg/L	0.1	0.08
Cu Total	mg/L	0.5	0.4
Fe Disuelto	mg/L	2	1.6
Pb Total	mg/L	0.2	0.16
Hg Total	mg/L	0.002	0.0016
Zn Total	mg/L	1.5	1.2

Fuente: Decreto Supremo 010-2010-MINAM

El OGeV determina los parámetros para evaluar el estado ecológico de las aguas superficiales. Estos parámetros incluyen la composición y frecuencia de especies, la biomasa y la estructura de edad (Agencia Alemana de Medio Ambiente, 2017). El estado ecológico de una masa de agua está determinado por el peor elemento de calidad biológica evaluado. También se incluyen contaminantes específicos para la evaluación del estado ecológico de las aguas superficiales. **Los estándares de calidad ambiental para 67 sustancias están incluidos en el OGeV**, tales como metales, productos químicos industriales y pesticidas. Las concentraciones que superan el 50% del estándar de calidad ambiental se consideran significativas (Agencia Alemana de Medio Ambiente, 2017). Para alcanzar un buen estado ecológico, según la OGeV, la media anual no debe superar el estándar de calidad ambiental media anual (AA-EQS), y el valor máximo no debe superar la concentración máxima admisible (MAC-EQS).

Según OGeV, el estado químico puede ser “bueno” o “no bueno”. **Las normas de calidad ambiental para el estado químico de las masas de agua superficial tienen como objetivo la protección de la salud humana.** Un total de 45 sustancias prioritarias están incluidas en el OGeV y son monitoreadas para valores promedio anuales (AA-EQS). Se agrega una concentración máxima permitida (MAC-EQS) para contaminantes seleccionados con alta toxicidad aguda (Agencia Ambiental Alemana, 2017), que no se puede exceder en ninguna medición individual.

La **Tabla 2-4** muestra los estándares de calidad ambiental para parámetros relevantes, que fueron seleccionados por Webber et al. (2019) en **relación con las actividades mineras en Sajonia**. Fueron seleccionados teniendo en cuenta los materiales extraídos en Sajonia (lignito, hulla, plata, uranio, zinc) y los minerales de sulfuro que los acompañan, que causaron la formación de drenaje ácido de mina por la minería.

Tabla 2-4. Estándares relevantes de calidad del agua superficial en Alemania.

Parámetro	Norma de calidad de las aguas superficiales
As	<40 mg/kg
Cr	<640 mg/kg
Cu	<160 mg/kg
Se	<3 µg/L
Ag	<0.02 µg/L
Zn	<800 mg/kg
Fe	<0.7...1.8 mg/L
SO ₄	<75...220 µg/L
pH	5.5-8.5
Cd	<0.08...0.25 µg/L
Pb	>1.2 µg/L
Ni	<4 µg/L

Fuente: Webber et al. (2019)

Como se observa en la **Tabla 2-5**, el arsénico, el cromo, el cobre y el zinc están regulados en sólidos suspendidos (mg/kg) en la fracción <0.063 mm. Por lo tanto, no hay límites disueltos. La **Agencia Ambiental Alemana (UBA)** recomienda **límites disueltos para diferentes sustancias**, incluidos arsénico, cromo, cobre y zinc (Wenzel et al., 2015, vea **Tabla 2-5**). También se incluye el uranio, que no está regulado en la OGeV.

Se debe alcanzar un buen estado cuantitativo y cualitativo para las masas de agua subterránea en Alemania. La evaluación del estado cuantitativo se basa en el nivel del agua subterránea. Se alcanza un buen estado cuantitativo cuando la tasa de extracción no es mayor que el recurso de agua subterránea disponible (Agencia Ambiental Alemana, 2017).

Tabla 2-5. Valores recomendados para estándares de calidad ambiental de la UBA,

Parámetro	Valor recomendable (µg/L)	
	Concentración máxima permisible	Media anual medioambiental
Arsénico	6.6	1.3
Cromo	3.4	3.4
Cobre	2.4	1.1
Zinc	33	10.9
Uranio	3.4	0.44

Fuente: Wenzel et al. (2015)

Para un buen estado cualitativo, **los estándares de calidad ambiental** están definidos en el GrwV, incluyendo un total de 10 sustancias, dos de ellas definidas por la Directiva de Aguas Subterráneas de la UE (nitratos y pesticidas) y el resto definido por la normativa alemana (Agencia Ambiental Alemana, 2017). Los estándares de calidad ambiental para el agua subterránea se muestran en la **Tabla 2-6**.

Tabla 2-6. Normas pertinentes de calidad de las aguas subterráneas alemanas,

Parámetro	Norma de calidad de las aguas subterráneas
Nitrato	50 mg/L
Ingredientes activos en plaguicidas y productos biocidas, incluidos los metabolitos, la degradación y los productos de reacción pertinentes.	0.1 µg/L cada uno; 0.5 µg/L total
As	10 µg/L
Cd	0.5 µg/L
Pb	10 µg/L
Hg	0.2 µg/L
NH ₄ ⁺	0.5 µg/L
Cl	250 mg/L
SO ₄ ⁻²	250 mg/L
Suma total de tri- y tetracloroetileno	10 µg/L

Fuente: Grundwasserverordnung – GrwV

Debido a la alta presencia natural/geógena de metaloides y metales en aguas subterráneas y superficiales en algunas áreas de Alemania, se aplican concentraciones de fondo además de los estándares de calidad ambiental. Para las masas de agua superficial y subterránea en estas áreas en particular, se han obtenido concentraciones naturales de fondo. Si estos son superiores a los estándares de calidad ambiental, los reemplazan. Así, por ejemplo, para las aguas en los Montes Metálicos (*Erzgebirge*), las concentraciones de fondo de algunos cuerpos de agua son más altas que los estándares de calidad ambiental presentados en OGewV y GrwV.

2.3 Metodología Sajona para la Gestión de Sitios Contaminados

En la década de 1990, se desarrolló la “**Metodología de sitios contaminados de Sajonia**”, basada en la metodología del estado federal Baden-Württemberg para un enfoque paso a paso para la gestión de sitios contaminados. Los manuales y materiales producidos por la **Oficina Estatal de Medio Ambiente, Agricultura y Geología de Sajonia (LfULG)** para el tratamiento de sitios contaminados se actualizan continuamente y se pueden descargar de la página web de Sajonia (<http://www.boden.sachsen.de/>). Este enfoque paso a paso para sitios contaminados, probado en Sajonia y otros estados federales, se publicó en 1999 cuando la **Ley para la Protección contra Cambios Dañinos del Suelo y para la Remediación de Sitios Contaminados (BBodSchG)** y la Ordenanza Federal de Protección de Suelos y Sitios Contaminados entraron en vigor, y proporciona un marco para el manejo de sitios contaminados y sospechosos de estar contaminados (**Tabla 2-7**). Sin embargo, hay que señalar que cada caso está marcado por sus condiciones individuales (Helling, 2014).

Tabla 2-7. Pasos y guías técnicas para el manejo de sitios contaminados

Pasos del proceso				
Colección		Investigación y evaluación de riesgos		Preparación e implementación de la remediación
Recolección de datos	Exploración histórica	Investigación de orientación	Investigación detallada	Investigación de remediación Remediación
Guías técnicas				
1. Principios				
2. Estudio y evaluación inicial formal	3. Agua subterránea 4. Suelo 5. Agua superficial 6. Aire	7. Investigación detallada		8. Investigación de remediación 9. Remediación

Fuente: Producido por LfULG. Modificado de Helling (2014)

2.3.1 Principios de la Metodología Sajona

En general, el tratamiento de sitios contaminados discutido en LfULG (2003) se basa en los siguientes principios:

- Concepto paso a paso para el tratamiento
- Enfoque basado en rutas
- Proporcionalidad/adecuación de las medidas

La determinación de la necesidad de remediación en un sitio específico dependerá exclusivamente de los resultados de una investigación adecuada. En la **Figura 2-2**, se muestra una secuencia aproximada de los procedimientos de tratamiento del sitio contaminado. Las "**áreas sospechosas de estar contaminadas**" se definen de la siguiente manera de acuerdo con el § 2 párr. 6 BBodSchG:

“Los sitios sospechosos de estar contaminados son depósitos y sitios antiguos donde existe la sospecha de cambios dañinos en el suelo u otros peligros para el individuo o el público en general”.

En principio, los siguientes criterios se aplican a la clasificación de un sitio específico como sitio sospechoso de estar contaminado:

- Acumulación focalizada de contaminantes,
- Causa antropogénica de la contaminación,
- Cese temporal de la manipulación de sustancias peligrosas para el medio ambiente,
- Poner en peligro o dañar los objetos de protección

Cada paso en el tratamiento de sitios contaminados está relacionado con el vínculo entre una fuente contaminante, su vía y efecto sobre los bienes protegidos (receptor, **ver Sección Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

La existencia de peligros concretos o la determinación de impactos ya ocurridos se basa siempre en objetos de protección. Los valores medidos del área del sitio contaminado o sus alrededores (*vías*) deben interpretarse en términos de **qué concentraciones y/o cargas llegarán a un bien protegido (receptor)**.

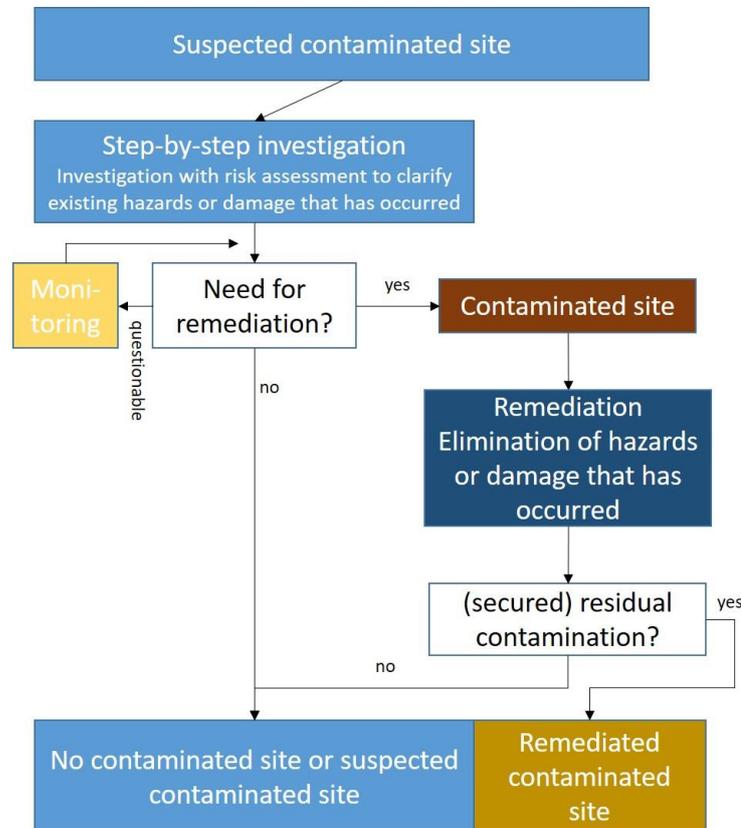


Figura 2-2. Secuencia básica del tratamiento del sitio contaminado

Fuente: LfULG (2003)

Los siguientes principios se reflejan en la metodología para el tratamiento de sitios contaminados y deben ser considerados en el tratamiento de casos individuales:

- **Peligro o daño que ha ocurrido como base para la acción:**

La sospecha suficiente de la ocurrencia de un peligro faculta a la autoridad para ejercer una acción administrativa incriminatoria contra terceros (obligados). Esto requiere una determinación de los hechos (investigación oficial) por parte de la autoridad.

- **Adecuación/proporcionalidad de las medidas**

De acuerdo con los requisitos legales y teniendo en cuenta los costos a menudo altos y los recursos financieros limitados, generalmente se requiere un enfoque gradual (secuencia alterna de recopilación de información y decisiones)..

- **Igualdad de trato de los casos**

Es necesaria la especificación de un marco de acción para el tratamiento de casos individuales

- **Decisión de caso individual para cada sitio sospechoso de contaminación**

En el marco del tratamiento de los sitios contaminados, la autoridad tiene el deber de ejercer discrecionalidad en la evaluación de la necesidad y alcance de las medidas bajo el aspecto de la proporcionalidad, lo cual se realiza ponderando la situación específica dentro del ámbito de actuación dado (alcance de discreción).

De acuerdo con la base legal de BBodSchG y BBodSchV (ver **Sección Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), el procedimiento estándar para el concepto de tratamiento de sitios contaminados involucra las siguientes **etapas de procesamiento (Figura 2-3)**:

- Recolección de datos, dividida en
 - o Estudio (con Evaluación Inicial Formal FEB*), e
 - o Investigación histórica (HE*)
- Investigación de orientación (OU*)
- Investigación detallada (DU*)
- Investigación de remediación (SU*)
- Remediación (SAN*)
- Monitoreo/Cuidado posterior (C*)

* Las abreviaturas no han cambiado en el idioma alemán original.

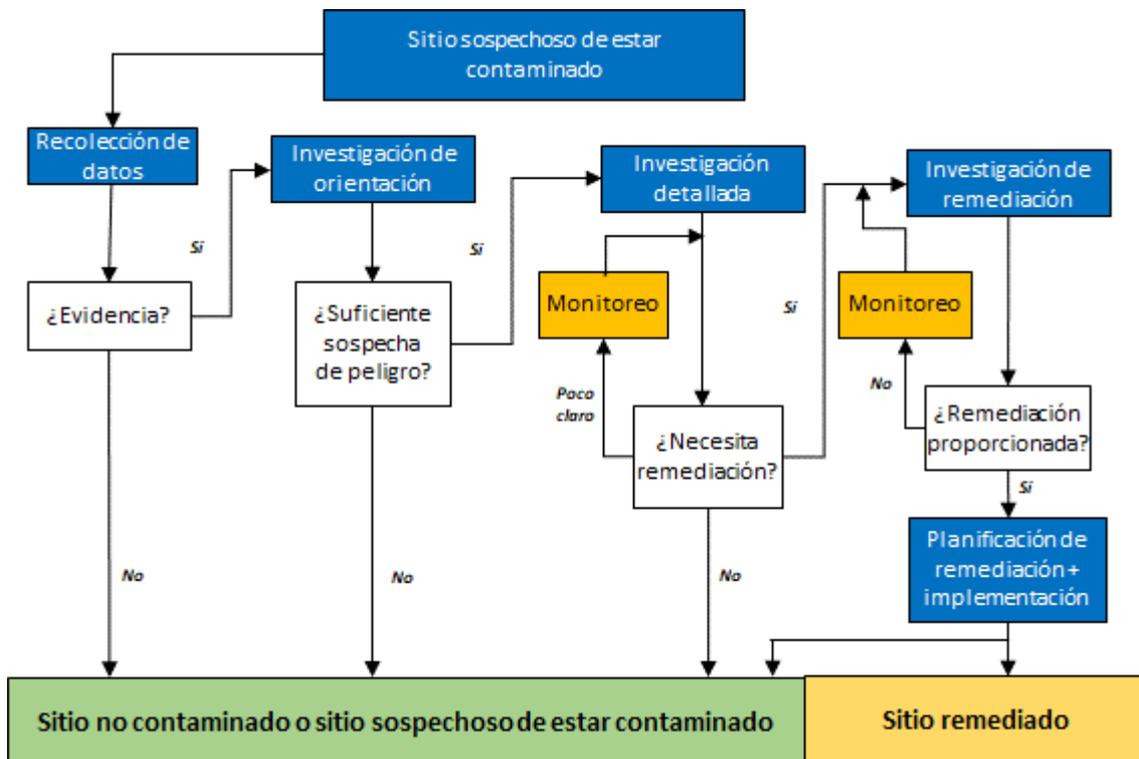


Figura 2-3. Procedimiento estándar para la evaluación de sitios contaminados según la Ley Federal Alemana de Protección del Suelo

Fuente: Modificado de LfULG (2003)

Cada paso se describe a continuación:

Recolección de datos (con Evaluación Inicial Formal FEB)

El objetivo de este paso es realizar un relevamiento de sitios sospechosos de contaminación (específicamente según sitios contaminados y depósitos de desechos abandonados), obteniendo una primera priorización aproximada. Esta encuesta se basará en datos históricos de documentos, recopilando datos limitados pero relevantes sobre el sitio sospechoso de contaminación (por ejemplo, tamaño, tipo de desecho y sector industrial), dispersión de contaminantes y uso del área.

Grabación, en términos de una Investigación Histórica (HE)

Este paso comprende un examen de la evidencia en un sitio sospechoso contaminado. En este paso también se definen vías y objetos de protección relevantes e irrelevantes. Una evaluación inicial de peligros para las vías de transporte relevantes y los bienes protegidos también forma parte de este paso, al igual que la determinación de la necesidad de acción adicional y la priorización del sitio estudiado. Este paso no incluye el muestreo, ya que no es una investigación técnica. Deben evaluarse todos los datos disponibles sobre el lugar sospechoso de estar contaminado.

Investigación orientada (OU)

El peligro sospechado se prueba o refuta sobre la base de pruebas concretas en este paso. También se incluye aquí la evaluación de riesgos para las vías relevantes y los bienes protegidos, así como la determinación de la necesidad de acción y priorización adicionales. Se puede realizar un número limitado de muestreos para obtener la información necesaria para la evaluación de la fuente de contaminación, las vías de transporte y los bienes protegidos. LfULG (2003) también recomienda aquí un pequeño espectro de parámetros analizados.

Investigación detallada (DU)

Esta es la determinación final de la evaluación de riesgos y la necesidad de acción. Si se prueba la contaminación del sitio, se definen objetivos preliminares de remediación para prevenir peligros o reparar la contaminación del agua. También se recomiendan investigaciones técnicas que incluyan mediciones de contaminantes y, si es necesario, pronósticos de distribución de sustancias y extensión de la pluma de contaminación. Se debe delimitar la extensión del sitio contaminado y prever el impacto sobre los bienes protegidos.

Investigación de remediación (SU)

Aquí se selecciona el escenario óptimo para lograr el objetivo de remediación. También se determina el método de remediación junto con los objetivos de remediación. Se utilizan criterios ambientales y económicos para evaluar y comparar diferentes métodos de remediación.

Remediación (SAN)

El objetivo de este paso es evitar los peligros probados hasta que se logren los objetivos de remediación, definidos anteriormente. El éxito de la remediación debe evaluarse a través del monitoreo. Las medidas de remediación, protección y contención se planifican e implementan en este paso.

Monitoreo/Cuidados posteriores (C)

Para evaluar el cumplimiento de los objetivos definidos, se realiza un seguimiento del sitio sospechoso contaminado/sitio remediado. En el caso de estos últimos, normalmente durante las medidas de protección. Se realizan investigaciones técnicas que evalúan el cumplimiento de las concentraciones de sustancias relacionadas con el peligro.

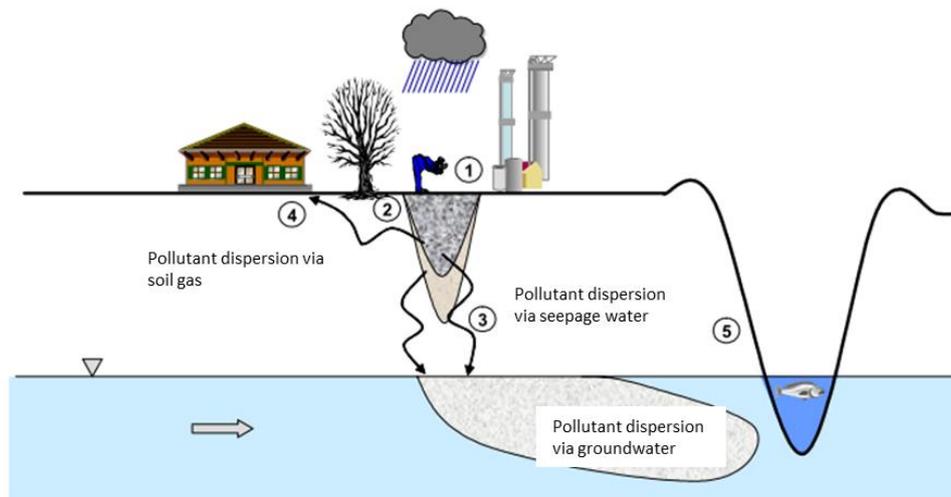
Los resultados de las etapas individuales se suelen presentar en forma de informe pericial. Los datos obtenidos se registran en el Registro Sajón de Sitios Contaminados (SALKA). Al completar una etapa de procesamiento, se requiere una clasificación de la necesidad de acción adicional. El monitoreo implica la determinación con retraso de tiempo de concentraciones, cargas y estados de movilidad con una ruta de impacto sin cambios y bienes protegidos.

2.3.2 Fuente-Vía-Receptores

Se deben considerar las vías pertinentes para las investigaciones de los sitios que se sospecha que están contaminados y, si es necesario, para la evaluación de la remediación. Esto da como resultado la siguiente secuencia básica de consideraciones:

- Evaluación de sustancias
- Evaluación del sitio
- Evaluación de uso

Aunque muchos sitios que se sospecha que están contaminados y los sitios contaminados se definen por los peligros para las aguas subterráneas como un recurso protegido, las otras vías de impacto y los recursos protegidos no se deben descuidar. Para el tratamiento de sitios contaminados, primero se deben considerar todas las vías de impacto relevantes y objetos de protección (**Figura 2-4**). Las vías de impacto y los activos protegidos que no son relevantes se excluyen de una consideración adicional.



Relevant pathways:

1. Soil – humans (direct contact)
2. Soil – Plants – Humans
3. Soil – air – humans
4. Soil gas – Air – Humans
5. Soil – surface water - humans

Figura 2-4. Diferentes vías a considerar

Fuente: LfULG (2003)

Fuente

La Fuente se refiere a las sustancias que representan una amenaza para el receptor. Los ejemplos en el contexto de los sitios mineros son las obras mineras subterráneas que pueden contener minerales de sulfuro que tienen el potencial de producir drenaje ácido minero (DAM), o relaves que también pueden contener minerales de sulfuro expuestos al agua de lluvia y condiciones oxidantes.

La caracterización de la fuente es indispensable para una evaluación de riesgos adecuada y un diseño de solución posterior. Las recomendaciones para la evaluación de fuentes se presentan en LABO (2015). Las estimaciones sobre la masa total y la descarga de los contaminantes deben realizarse debido a su influencia en el comportamiento temporal y espacial del contaminante mientras se transporta a través de la ruta. Por lo tanto, la caracterización de la fuente permite la predicción de la ruta de un contaminante.

LABO (2015) recomienda incluir la siguiente información para la caracterización de la fuente:

- Ubicación y extensión,
- Masa contaminante,
- Disponibilidad (disuelta, fija, residual, móvil), y
- Velocidad de descarga.

Las soluciones de control de fuentes implican la eliminación de la contaminación o cualquier cambio en las características del contaminante. Aunque pueden ser eficientes, las consecuencias de los métodos orientados a la fuente son la transferencia del problema a otro lugar (p. ej., mover la fuente de contaminación a otro lugar).

Vías

Vía es el vínculo entre la fuente y los receptores. Ejemplos de vías son el transporte de sedimentos, viento, aguas superficiales o aguas subterráneas. Se pueden determinar múltiples vías para una sola fuente y es importante la correcta identificación y caracterización de estas.

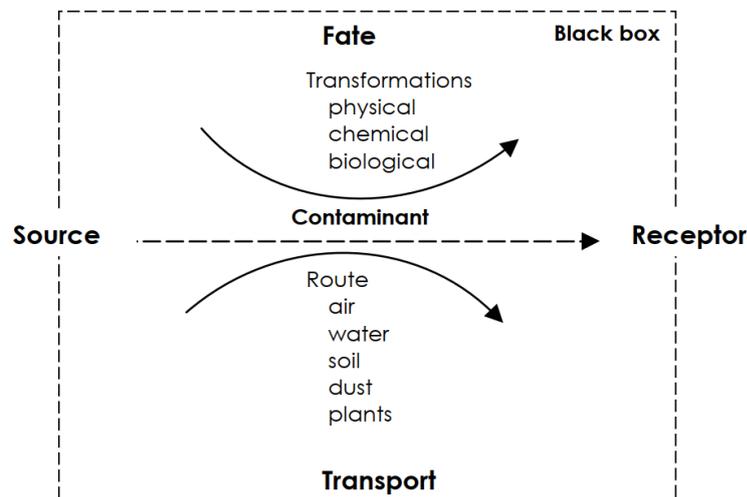


Figura 2-5. Destino y transporte de un contaminante

Fuente: Vegter et al. (2002)

Las soluciones de control de vías buscan evitar la migración de contaminantes desde la fuente a los receptores potenciales, y puede consistir en barreras físicas (p. ej., paredes de lechada de bentonita) entre la fuente y el receptor. Otros ejemplos son la contención de aguas contaminadas y las técnicas de tratamiento, aunque pueden tener consecuencias en el uso del suelo.

Durante el transporte de un contaminante a través de una ruta específica, puede sufrir diferentes procesos que afectan sus propiedades (p. ej., toxicidad, movilidad). Estos pueden ser procesos químicos, físicos o biológicos (Vegter et al., 2002). La evaluación de las rutas implica el estudio del transporte y el destino de los contaminantes a través de ellas (**Figura 2-5**).

El destino y el transporte están determinados por las características específicas de la ruta. Para el transporte de aguas subterráneas, la extensión y el comportamiento de la pluma dependen de las condiciones hidrogeológicas (**Figura 2-6**). El transporte de contaminantes por aguas superficiales depende de otros factores, como el régimen de caudales de los ríos. La evaluación de la ruta puede incluir:

- Extensión de la pluma (vertical/horizontal),
- Predicción temporal/espacial,
- Condiciones de flujo de agua subterránea, y
- Régimen de caudal de los ríos.

Los caminos posibles son:

- Absorción de contaminantes por humanos (contacto directo) = suelo-humano
- Absorción de contaminantes por las plantas = suelo-planta-(humano)

- Emisión de lixiviados a las aguas subterráneas = suelo-aguas subterráneas-(humano)
- Emisión de gases a la atmósfera/edificio = suelo-aire-humano
- Emisiones de la zona saturada y no saturada al agua superficial = suelo-agua superficial-(humana)

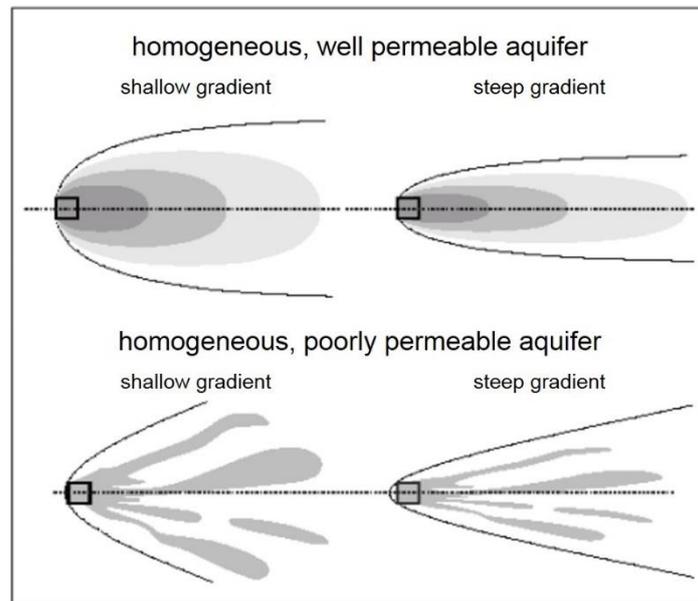


Figura 2-6. Contornos típicos de la pluma en función de las condiciones hidrogeológicas

Fuente: LABO (2015)

Receptor

Es posible la eliminación o el manejo de los receptores, aunque no se prefiere. La evacuación de los asentamientos humanos no es realista y solo podría considerarse en el caso de emergencias o cuando las soluciones orientadas a la fuente y la ruta parezcan inviables. Los receptores pueden no ser siempre humanos. Los recursos de agua potable (por ejemplo, pozo de extracción) también pueden ser considerados receptores, y en este caso, la reubicación es posible.

2.4 Tecnologías para el tratamiento de agua

En esta sección se presenta una revisión de lo último en tecnología de las técnicas de tratamiento de agua. Se describen los principales procesos implicados, seguidos de las diferentes clasificaciones que se aplican a las técnicas de tratamiento de aguas. Finalmente, se presentan los criterios para seleccionar las técnicas apropiadas de tratamiento del agua.

2.4.1 Principales Procesos Involucrados en el Tratamiento del Agua

Las aguas afectadas por la actividad minera tienen características tales como altas concentraciones de metales(oides), sulfatos y bajos valores de pH. Se han desarrollado numerosas investigaciones y se han implementado nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas afectadas por la minería. Proyectos anteriores VODAMIN y VITAMIN presentaron una investigación y evaluación en profundidad de tecnologías de tratamiento de agua en la región de lignito de Lusacia. Se considerarán como base para este apartado las siguientes publicaciones:

- **El paquete de trabajo 4 del proyecto VODAMIN: “Proceso de depuración de aguas subterráneas y superficiales” (DGFZ, 2012)** revisa las tecnologías de tratamiento existentes para las aguas afectadas por las minas, considerando los procesos físicos/químicos y biológicos. Se presenta una clasificación de estos procesos.
- **Paquete de trabajo 9 del proyecto VODAMIN: “Depuración del agua de las minas: procesos y procedimientos” (Wolkersdorfer, 2013)** sigue la subdivisión de los procesos para el tratamiento de aguas mineras de Younger et al. (2002) y también los divide en métodos activos y pasivos. Se consideraron las aguas subterráneas, los lagos a cielo abierto, las aguas corrientes y las aguas mineras subterráneas.
- **El paquete de trabajo 14 del proyecto VODAMIN: “Procesos de captación, vertido y depuración de aguas subterráneas contaminadas por actividades mineras” (GEOS, 2013)** se centra en la prevención de las entradas de sustancias difusas como resultado de la recarga de las aguas subterráneas en la región minera del lignito de Lusacia.
- **Proyecto VITAMIN (DGFZ, 2018)** analiza en detalle los diferentes procesos (micro)biológicos para el tratamiento en aguas afectadas por la minería y su aplicabilidad en las condiciones de Sajonia.

Los principales procesos implicados en las tecnologías de tratamiento del agua se analizan en el proyecto VODAMIN. Las siguientes definiciones proceden de DGFZ (2012), a menos que se indique lo contrario.

- La **Neutralización** es necesaria debido al carácter ácido de las aguas afectadas por las minas. Los metales son a menudo muy solubles en el agua, en particular a valores de pH bajos, por lo que es necesario elevar el pH a un rango neutro o ligeramente alcalino. Además, el hierro (normalmente en altas concentraciones en el agua de las minas) suele precipitarse en forma de hidróxido. Para conseguir esta precipitación se recomienda oxidar primero el Fe (II) a Fe (III), pero la cinética de la oxidación del hierro depende en gran medida del pH y sólo procede con suficiente rapidez a valores de pH superiores a 7.0 (Sung y Morgan, 1980).

- Los agentes de neutralización comunes son la piedra caliza (CaCO_3), la cal hidratada (Ca(OH)_2), la cal viva (CaO), el hidróxido de magnesio (Mg(OH)_2), la sosa cáustica (NaOH) y la ceniza de sosa (Na_2CO_3).
- **La oxidación y reducción (Redox)** se define como la transferencia de electrones de un átomo a otro (Apello y Postma, 2004). Como resultado de las reacciones redox, un elemento o compuesto se reduce y el otro se oxida. Los procesos redox desempeñan un papel clave en la formación y disolución de fases minerales y controlan la especiación química, la biodisponibilidad, la toxicidad y la movilidad de muchos elementos (Tandon y Singh, 2016).
 - El oxígeno atmosférico puede ser suficiente para la oxidación del hierro y su aporte puede realizarse, por ejemplo, mediante cascadas de aireación. Cuando la carga de metales unidos en complejos orgánicos es alta, o en el caso del manganeso, puede ser necesaria la adición de un agente oxidante. Algunos agentes comunes son el ozono o el permanganato potásico.
- **Sorción e intercambio de iones. La sorción** es un proceso agua-sólido en el que un constituyente del agua (adsorbente) se adhiere a otro constituyente del agua (normalmente sólido, adsorbente). Los mecanismos más importantes son la adsorción (bidimensional), la absorción (tridimensional), la polimerización (unión de moléculas) y la complejación (Wolkersdorfer, 2013). En una reacción de **intercambio iónico**, se intercambia un ion por otro con carga similar desde una solución acuosa a una fase sólida inmóvil (Dahman et al., 2017). Los iones del agua de mina (por ejemplo, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-}) se intercambian por iones presentes en una materia de intercambio iónico (Na^+ , H^+ , K^+ , Cl^-), eliminando así estos iones (Wolkersdorfer, 2013).
- **Proceso electroquímico y tecnologías de membrana.** En los **procesos electroquímicos**, los campos eléctricos o las reacciones químicas provocan el movimiento de los iones, contribuyendo a la purificación del agua. Por otro lado, las **tecnologías de membrana** fuerzan el agua a través de las membranas mediante presión mecánica o diferencias de potencial eléctrico, provocando la retención de la carga iónica.
- **Precipitación y sedimentación.** La precipitación de sólidos se produce en soluciones sobresaturadas durante el tratamiento del agua de la mina. Estos sólidos pueden eliminarse del agua de la mina por coagulación y sedimentación. En el tratamiento activo, esto puede lograrse mediante la adición de floculantes, una alta sobresaturación y la formación de grandes agregados sólidos. Por otro lado, el tratamiento pasivo requiere periodos de tiempo más largos, aumentando la superficie

2.4.2 Clasificación de los métodos de tratamiento del agua

2.4.2.1 Métodos activos y pasivos

Los **métodos activos** implican procesos físicos o químicos para eliminar los contaminantes del agua de la mina. Se requiere la acción humana para mantener en funcionamiento los procesos de tratamiento. (Wolkersdorfer, 2008). En los tratamientos activos se pueden controlar o regular los flujos volumétricos, se pueden determinar continuamente los flujos de materiales y se produce un suministro y retiro continuo, controlado y regulado de materiales (DGFZ, 2012). El ajuste de los valores de pH o Eh de las aguas de mina para reducir la solubilidad de los metales es común en las plantas de tratamiento activo (Wolkersdorfer, 2008).

Los **métodos pasivos**, por otro lado, se basan en reacciones químicas y biológicas naturales, que ocurren sin agregar nutrientes que no sean compost o energía (Wolkersdorfer, 2008). Solo se requiere mantenimiento periódico para la operación de estos métodos, lo que los hace menos costosos que los métodos activos (Younger et al., 2002).

Los reactivos del **tratamiento pasivo** tienen tasas de transferencia de masa más bajas por área y, por lo tanto, pueden permanecer en el sitio o, como máximo, requieren una eliminación poco frecuente. En cambio, los **tratamientos activos** requieren una remoción de material más periódica, lo que también requiere una planificación para su disposición (DGFZ, 2012).

Una comparación entre métodos pasivos y activos se presenta en **Tabla 2-8**. Debido a las características de cada método, los **métodos pasivos** se utilizan principalmente en minas cerradas con caudales bajos y constantes. Los **métodos activos**, por otro lado, son los preferidos en minas activas con condiciones más dinámicas (DGFZ, 2012).

Tabla 2-8. Comparación de métodos de tratamiento activo y pasivo

	Métodos pasivos	Métodos activos
Costes de inversión y funcionamiento	Variable: Depende en gran medida de las necesidades de personal y del tiempo de permanencia	Alta: Depende en gran medida de los recursos de explotación y de los costes de personal
Uso de energía	Bajo	Alto
Uso de máquinas	Bajo	Alto
Uso de reactivos peligrosos para el medio ambiente	Poco	Frecuente
Despliegue de personal	Variable	Alto
Esfuerzo de mantenimiento	Variable	Alto
Identificación del proceso	Elaborado, específico del lugar; gran necesidad de análisis; escasa capacidad de medición.	Estandarizado; poca necesidad de análisis; capacidades de diseño existentes.
Control del proceso	Malo	Bueno
Flexibilidad en cuanto a la calidad y cantidad del agua de entrada	Bajo	Alto
Requerimiento de espacio	Alto	Bajo
Caudal tratable	Mayormente bajos 10 a 100 m ³ /h	Variable; mayormente alto: 100 a 3000 m ³ /h
Cargas de material removibles	Bajo	Alta; adaptable a diferentes condiciones de entrada
Eliminación de los productos	Permanencia en la cámara de reacción o discontinua	Necesidad de eliminación continua
Costes de inversión y funcionamiento	Variables: Fuertemente dependiente de la necesidad de personal y del tiempo de permanencia	Alta: fuertemente dependiente de los recursos operativos y de los costes de personal

Fuente: Adaptado de VODAMIN, DGFZ (2012)

2.4.2.2 Métodos en el sitio (on-site) e in situ

Los **procesos en el sitio (on-site)** se refieren a aquellos en los que el equipo necesario para el tratamiento del agua se encuentra en la superficie de la mina, por lo que el agua de la mina debe ser transportada desde la fuente hasta la zona de tratamiento. Este tipo de instalación permite el libre acceso a todos los elementos técnicos, materiales y productos de desecho pudiendo realizarse sin inconvenientes. Una desventaja es la energía utilizada para bombear agua desde la fuente hasta la superficie. Por lo tanto, estos métodos son preferibles para tratar aguas que ya han sido captadas y desviadas a la superficie (p. ej., agua de tajo) (DGFZ, 2012).

Los **métodos in situ** se ejecutan cuando no se requiere o no se desea una mejora. El subsuelo se convierte en el espacio de reacción para los pasos esenciales del proceso y la transferencia de masa. Cuando se configura el proceso, los reactivos necesarios para la transferencia de masa se ubican en el subsuelo (p. ej., paredes reactivas), según el proceso específico. Se prefieren los métodos in situ cuando la carga de contaminantes es baja y las aguas a tratar deben permanecer bajo tierra (DGFZ, 2018).

Una breve descripción se muestra en la **Tabla 2-9**.

Tabla 2-9. Métodos de tratamiento de agua

N°	Objetivo del tratamiento	Métodos	Tipo	Tecnología principal
Agua Subterránea				
1	Metal(oid)es - Sulfato - Generación de alcalinidad - Neutralización	Reducción autotrófica de sulfato	Activo	Reactor
2	Metal(oid)es - Sulfato - Reducción de la acidez	Reducción heterotrófica del sulfato	Activo In-situ	Zona de reacción
3	Sulfato – Metal(oid)es	Barreras reactivas In-situ	Pasivo In-situ	Barreras reactivas
Agua superficial				
4	Metal(oid)es	Humedales artificiales aeróbicos	Pasivo On-site	Humedales
5	Sulfato - Metal(oid)es - Aumento del pH	Humedales artificiales anaeróbicos	Pasivo On-site	Humedales
6	Hierro - Sulfato	Proceso de Schwertmannita	Semi-activo On-site	Reactor
7	Sulfato - Calcio	Proceso de membrana (nanofiltración)	Activo On-site	Membrana
8	Hierro - Sulfato Neutralización	Alfombra de reacción para el tratamiento de afluencia de aguas superficiales	Activo In-situ	Alfombra de reacción
9	Metal(oid)es – Neutralización	Tratamiento oxidativo de aguas de mina	Activo On-site	Reactor
10	Sulfato - Metal(oid)es - Neutralización	Electrolisis de membrana	Activo On-site	Membrana
Aguas superficiales (tajo abierto-lago)				
11	Sulfato – aumento de la alcalinidad (reducción de la carga ácida)	Reducción heterotrófica del sulfato (reactores en el lago para la separación reductora de sulfatos)	Activo	Reactor
12	Neutralización	Proceso en el lago para la neutralización del agua	Activo	Reactor
13	Incremento de la capacidad tampón	Acondicionamiento del lago	Activo	Reactor

Fuente: DGFZ (2012) y DGFZ (2018)

2.4.3 Criterios de selección del proceso de tratamiento

La selección de un proceso de tratamiento específico depende de muchos factores y debe basarse en los resultados de las investigaciones del sitio y las pruebas de la planta piloto. DGFZ (2012) discute los diferentes factores que determinaron directamente la selección del proceso de tratamiento, los cuales son:

- Espectro de contaminantes disueltos en agua de mina a tratar, define las tecnologías disponibles para la inmovilización de contaminantes.
- Capacidad tecnológica y económica. Los costos de capital y los costos de operación son factores relevantes que considerar.
- Condiciones físicas definidas por el clima, la geomorfología, la geología y el uso de la tierra que promueven o limitan ciertas opciones de remediación.
- Disponibilidad de recursos operativos: energía, materias primas, espacio y personal.
- Marco legal, que determina las acciones de remediación necesarias mediante la clasificación cualitativa del agua, determinación de las propiedades del efluente, determinación del sitio de medición y asignación de responsabilidades.

Por otro lado, los factores que caracterizan la **fuentes de contaminantes** y que indirectamente determinan la selección de un proceso de limpieza son:

- Volumen de la fuente (m^3), densidad (kg/m^3 sólido), y masa (kg), y la extensión espacial de los sitios contaminados y, junto con el régimen de flujo hidráulico, el curso de las vías de transporte que definen la extensión espacial de una posible captación de sumidero de material (sistema de captación, sistema de descarga, humedal).
- La cantidad de sustancia móvil (mol/m^3 sólido) dentro de la fuente, que define la cantidad total de sustancia a tratar (mol) desde la fuente,
- El proceso de liberación geoquímica que actúa sobre la fuente [$mol/(m^3 \text{ sólido} \cdot s)$], que define la tasa de liberación de la sustancia en un tiempo dado.
- La carga de sustancia (velocidad de liberación o fuerza de la fuente) (mol/s) se puede definir mediante la superposición del volumen de la fuente [m^3], la concentración inicial de la sustancia (mol/m^3) y el régimen de flujo hidráulico (m^3/s).
- Sumideros a lo largo de la ruta de transporte, que reducen la carga de sustancia, la concentración de sustancia y los procesos de dilución, lo que reduce la concentración de material.

3. Sitios de referencia

Se seleccionaron tres sitios de estudio en Perú para el Proyecto BLP Sajonia – Perú y se describen en este capítulo. Los sitios están ubicados en el sur de Perú y presentan problemas de recursos hídricos relacionados con la industria minera. Las descripciones se refieren a los antecedentes generales, los componentes físicos (geología, hidrología) y la minería en el área (operaciones y relaves). Se realizó una investigación histórica de cada sitio de estudio con la información existente, según la metodología Saxon para el manejo de sitios contaminados, descrita en el **Capítulo 2**.

Además, se seleccionaron sitios de referencia de Sajonia como casos de experiencia positiva en la gestión del agua en sitios posteriores a la minería. Estos también se describen de la misma manera que los sitios de estudio de Perú.

Finalmente, se presenta una metodología de comparación de los sitios de referencia sajones, basada en el documento GKZ (2018) “Apoyo al desarrollo de competencias y capacidades en la gestión de pasivos ambientales mineros en los países andinos (proyecto número 81216685)”. Se presentan los resultados de los diferentes sitios sajones.

3.1 Descripción de sitios de referencia peruanos

3.1.1 Los Rosales

3.1.1.1 Antecedentes generales

Los Rosales se encuentra ubicado en el distrito de Vilque. La ciudad más cercana es Puno, a 28 km al Este, capital de la Región de Puno, mientras que Vilque es el pueblo más cercano, a 5 km al noreste. Desde el año 2009, Los Rosales es propiedad y está operada por la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada Acumulación Los Rosales (*SMRL Acumulación Los Rosales*, en adelante Compañía Minera Los Rosales), desde diciembre de 2019, reprocesando relaves y roca estéril. La Sociedad Minera Los Rosales está clasificada como pequeño productor minero.

La mina Candelaria es una antigua mina subterránea ubicada en Los Rosales, con historia de extracción de cobre. La Compañía Minera Los Rosales tiene previsto reacondicionar y procesar las vetas auríferas.

Dentro de las propiedades mineras se han depositado relaves, producto de la actividad minera desde hace casi 40 años. La actividad minera en la zona por parte de empresas formales se remonta a 1982, mientras que la minería artesanal se encuentra desde 2014, por mineros locales.

Actualmente, en Los Rosales se encuentra una planta de lixiviación y flotación con una capacidad de 120 TM/día, y existen planes para ampliar su capacidad a 320 TM/día. Para ello, la Compañía Minera Los Rosales ha presentado a las autoridades locales un Estudio de Impacto Ambiental semidetallado (EIASd)

La Compañía Minera Los Rosales también busca apoyar la minería informal en la zona, ayudando a formalizar a los mineros artesanales que trabajan dentro de las concesiones mineras de Los Rosales, así como a acopiar y procesar sus minerales.

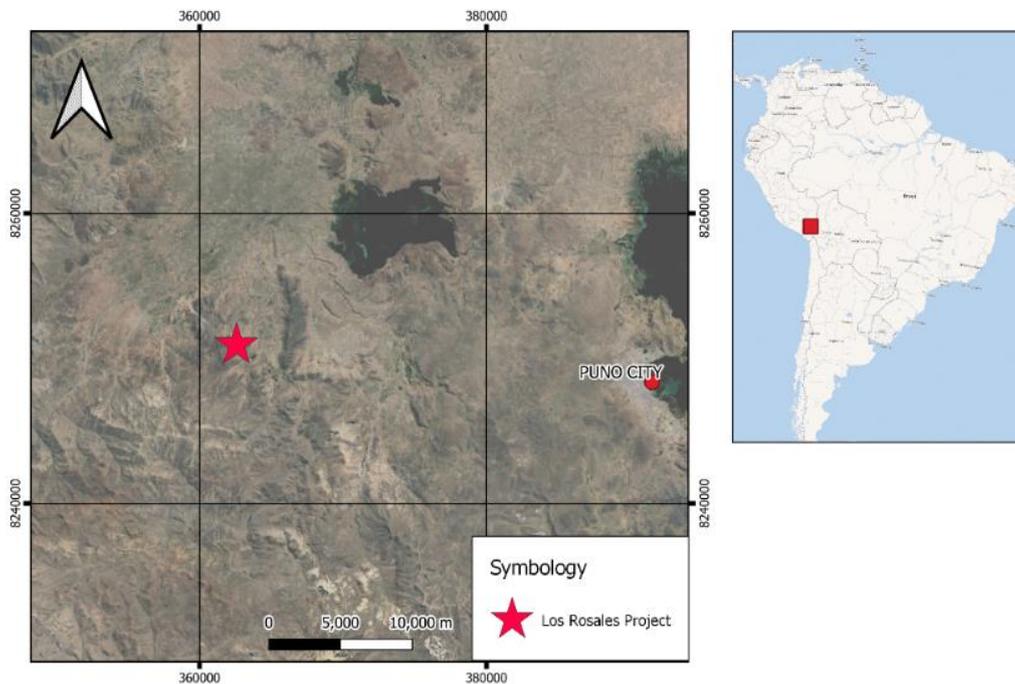


Figura 3-1. Ubicación de Los Rosales

3.1.1.2 Geología y mineralización

Los Rosales se encuentra ubicado en la cordillera sur de los Andes peruanos, que se divide en tres unidades morfoestructurales principales dispuestas en una orientación SO-NE, de suroeste a noreste: Cordillera Occidental, Altiplano y Cordillera Oriental. Los Rosales se encuentra sobre el Altiplano, 3 km al norte del límite con la Cordillera Occidental (Rodríguez et al., 2020).

El Altiplano es una meseta de gran altitud en los Andes centrales, compuesta principalmente por llanuras y colinas con altitudes superiores a 3800 msnm (Rodríguez et al., 2020), como se ve en la parte central y norte de la cuenca del Illpa. Hacia el sur y partes del Este de la cuenca, surgen morfologías más pronunciadas, controladas principalmente por sistemas de fallas locales y regionales (Valencia y Rossel, 2003).

Según Valencia y Rossel (2003), la geología local se caracteriza principalmente por la base del Grupo Puno. Diorita - monzodiorita de edad neógena están presentes intruyendo el grupo Puno al noroeste del proyecto en el sector de la mina Los Rosales. Los depósitos cuaternarios se extienden al Este de Los Rosales.

Los Rosales forma parte de un distrito metalogénico caracterizado por depósitos polimetálicos de Pb-Zn-Cu con superposición epitermal de Au-Ag, que se extiende por la parte occidental de la unidad Cordillera Occidental.

La mineralización en Los Rosales, más concretamente en la mina Candelaria, está controlada por un sistema de vetas con dirección NE-SW. La alteración se limita a las vetas, formando halos silicificados, en algunos casos con alteración argílica. La pirita diseminada y la especularita están presentes en las zonas argilizadas. La Compañía Minera Los Rosales realizó un estudio general en las pequeñas labores mineras cerca de Los Rosales. Se describió la mineralización de cuarzo y sulfuros en la mayoría de las pequeñas labores mineras.

3.1.1.3 Mina Candelaria y relaves

La mina Candelaria es una mina subterránea y fue explotada originalmente para la extracción de cobre. Actualmente se encuentra en obras de mantenimiento para asegurar su estabilidad. Históricamente, se explotó bajo el método de "corte y relleno", debido a la buena calidad de la roca.

Los relaves de Los Rosales están muy extendidos en la zona y forman parte de los diferentes pasivos mineros que se encuentran en la zona, que también incluyen escombreras y antiguas infraestructuras mineras. La Compañía Minera Los Rosales es responsable de la adecuada reubicación de todos estos pasivos.

Los relaves presentan evidencias de erosión e interacción con aguas meteorológicas. Todos los relaves serán procesados para la extracción de minerales con valor económico y luego serán depositados en diques impermeables.

3.1.1.4 Hidrología

Los Rosales se encuentra dentro de la cuenca del Illpa. El principal río de la cuenca es el Illpa, situado al norte, que desemboca en el lago Titicaca. Los afluentes provienen del sur y del este, donde se encuentran las pendientes más altas. Los ríos se alimentan de las precipitaciones que se producen durante la estación de lluvias (es decir, de octubre a abril), y durante la estación seca están secos (ANA, 1981).

El río Vilque es el más cercano a Los Rosales, a 2,5 km al noreste (**Figura 3-2**), fluyendo de sur a norte, pasando al lado del pueblo de Vilque, donde se fusiona con varios otros afluentes para finalmente convertirse en el río Illpa. El SENAMHI (2019) estima caudales medios para el río Vilque que alcanzan hasta 23 m³/h en febrero y tan bajos como 1 m³/h, evidenciando la fuerte dependencia de las precipitaciones.

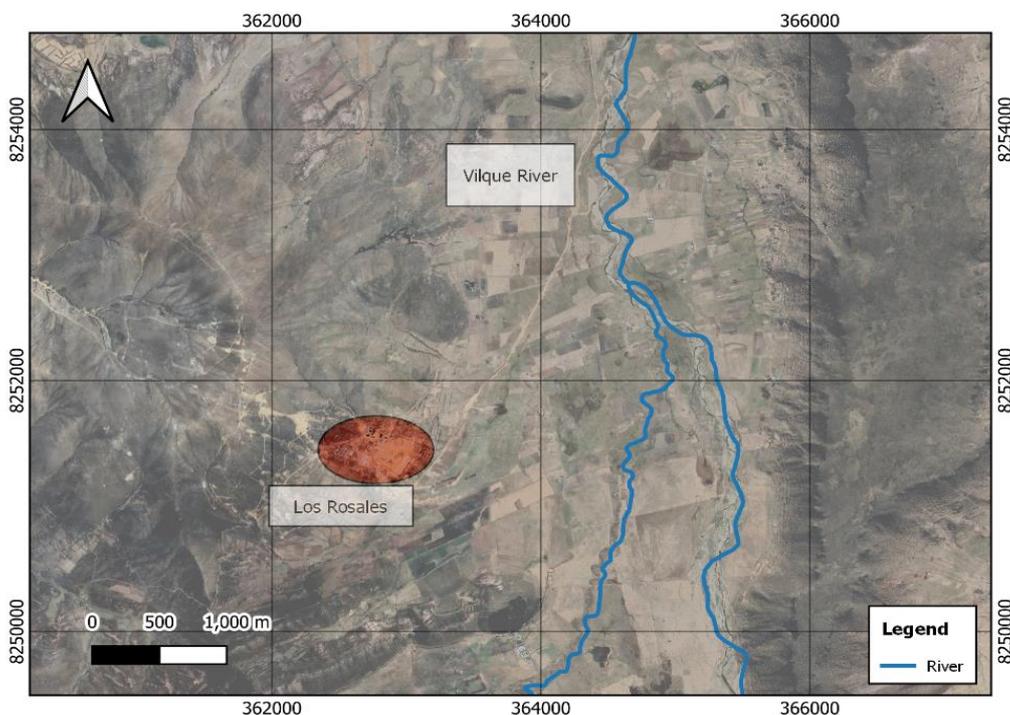


Figura 3-2. Río Vilque

Los datos históricos de lluvia se obtuvieron de PISCO (Datos interpolados peruanos de las observaciones climatológicas e hidrológicas del SENAMHI): un conjunto de datos mensuales basados en los datos de la red de pluviómetros del SENAMHI (Encuesta Nacional de Hidrología y Meteorología), disponible para el período 1981-2018 con una resolución espacial de $0.05^\circ \times 0.05^\circ$. Los datos de la estación meteorológica Mañazo, ubicada a 7 kilómetros al oeste de Los Rosales (**Figura 3-3**), fueron extraídos de la base de datos PISCO. La precipitación anual total se muestra en la **Figura 3-4**. Para el período 1981 - 2018, la precipitación anual oscila entre 286 mm en 1983 y 1000 mm en 1984

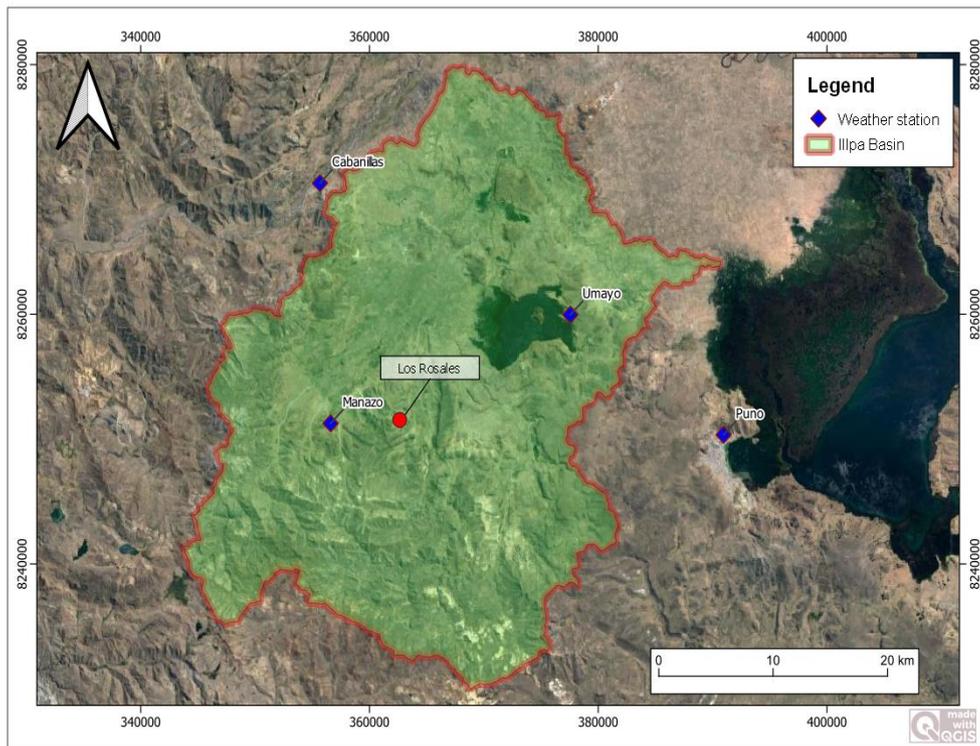


Figura 3-3. Ubicación de la estación meteorológica de Mañazo

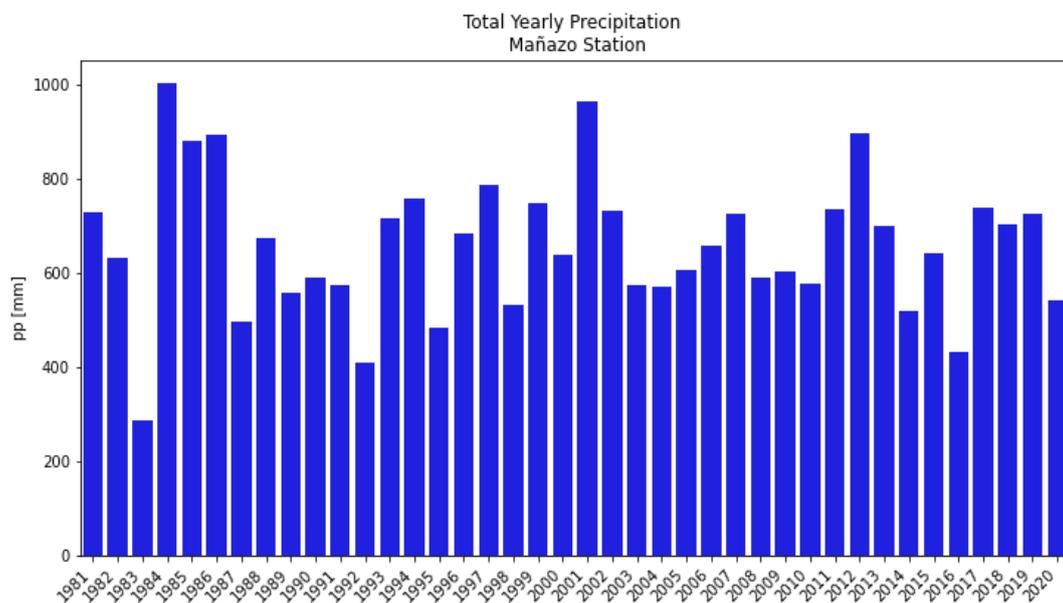


Figura 3-4. Precipitación total anual en la estación de Mañazo

Fuente: PISCO

La **Figura 3-5** muestra la precipitación mensual promedio para el mismo período. Es posible identificar dos estaciones bien diferenciadas, una estación lluviosa de noviembre a abril con casi el 90 % de la precipitación total anual y una estación seca de mayo a octubre.

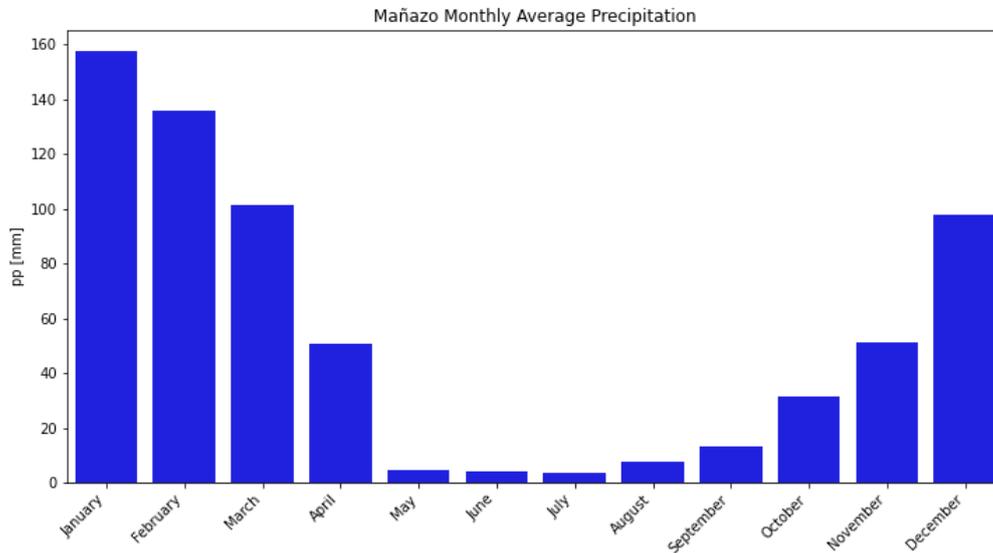


Figura 3-5. Precipitación media mensual para el período 1981-2018

Fuente: PISCO

3.1.1.5 Exploración Histórica

Se estudió información histórica de Los Rosales con el fin de determinar vías y bienes protegidos para la evaluación de peligrosidad. La información necesaria se obtuvo de los siguientes informes y fuentes:

- **Dos campañas de monitoreo** en marzo 2020 y 2021 (Quantum MVA, 2020; Sesam -Perú, 2021). Estos informes incluyeron análisis de suelo, agua y ruido.
- **Estudio hidrogeológico** de octubre de 2020 (Golden Growing, 2020a). Se presentan los resultados químicos de cuatro sitios de muestreo, incluidas muestras de agua de mina y agua subterránea de excavaciones exploratorias.
- **Estudio hidrológico** de octubre de 2020 (Golden Growing, 2020b). La caracterización de la cuenca y las precipitaciones y escurrimientos máximos esperados se calcularon a partir de datos meteorológicos.
- **Informe de exploración geológica de octubre de 2020** (Canllahui Duran, 2020). Un estudio general de las propiedades Los Rosales, la Mina Candelaria y los mineros que extraen material sin maquinaria en el área se centró en la mineralización del área.
- **Comunicaciones personales** con el jefe de permisos de Minera Los Rosales, Sr. Oliver Huaman

De la exploración histórica se obtuvieron los siguientes resultados:

- El agua de mina de la mina Candelaria reportó pH bajo, altas concentraciones de sulfato, fluoruro, aluminio, cobre, manganeso, níquel y zinc (**Tabla 3-1**). Las concentraciones de cobre, hierro y zinc superan los límites máximos permitidos para descarga de agua en faenas mineras determinados en la normatividad peruana.

Tabla 3-1. Datos históricos químicos del agua de mina en Los Rosales

Date	pH (-)	SO ₄ mg/L	Al mg/L	Cu mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	Zn mg/L
Marzo 2021	4.4	-	-	-	-	-	-
Marzo 2020	5.2	-	9.35	7.98	117.01	11.56	2.34
Octubre 2020	4.3	985	8.75	6.99	128.7	12.89	2.249

- El agua subterránea de la excavación exploratoria reportó un pH bajo y altas concentraciones de sulfato, aluminio, cadmio, cobalto, cobre, manganeso y zinc (
- **Tabla 3-2).** Estas concentraciones superan los estándares de calidad ambiental de la normativa peruana.

Tabla 3-2. Datos históricos químicos de las aguas subterráneas en Los Rosales

Date	pH (-)	SO ₄ mg/L	F- mg/L	Al mg/L	Cu mg/L	Mn mg/L	Zn mg/L
Octubre 2020	3.8	1968	7.81	14.25	61.38	44.43	9.58
Octubre 2020	4.5	1375	3.11	3.57	21.01	24.42	6.85

- No hay escorrentía permanente de aguas superficiales en la captación de agua de Los Rosales. Los cursos de agua son estacionales y están relacionados con las precipitaciones durante la temporada de lluvias (octubre – abril).
- La mineralización en la mina Candelaria y los trabajos mineros pequeños en el área está presente en vetas, con mineralización de sulfuros presente en todos los trabajos mineros estudiados (p. ej., pirita, calcopirita).

Con base en los resultados de la investigación histórica en Los Rosales, se identificaron las siguientes vías: agua superficial y agua subterránea.

Se requieren más investigaciones (investigación orientada) para estas vías específicas. Como parte del proyecto BLP Sajonia-Perú, se planificó la caracterización de aguas subterráneas y superficiales en Los Rosales y las actividades se llevaron a cabo en noviembre de 2021. Los resultados se presentan en el **Capítulo** Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..

3.1.2 Madrigal

3.1.2.1 Antecedentes generales

La mina Madrigal está ubicada en la provincia de la Región Arequipa. Forma parte de la parte alta de la cuenca del río Colca. El pueblo de Madrigal es el asentamiento más cercano, ubicado al sureste de la mina (**Figura 3-6**). La mina Madrigal es un depósito polimetálico (Cu-Ag-Zn-Pb) con mineralización de arsenopirita, calcopirita, galena, cuarzo y esfalerita. Se ubica en el distrito de vetas epitermales Caylloma, una región mineralizada a escala en el sur del Perú con mineralización de plata y metales básicos (Echavarría et al., 2006).

La operación de la mina comenzó en 1972, produciendo concentrados de cobre, zinc y plomo hasta 1991 a través de operaciones mineras subterráneas. Las propiedades mineras son actualmente propiedad de Mountain Minerals Perú SA Aproximadamente 2,2 TM de relaves de la mina Madrigal se encuentran en el río Chimpa, un afluente del río Colca sin paredes de embalse a alrededor de 75 metros de la margen izquierda del río.

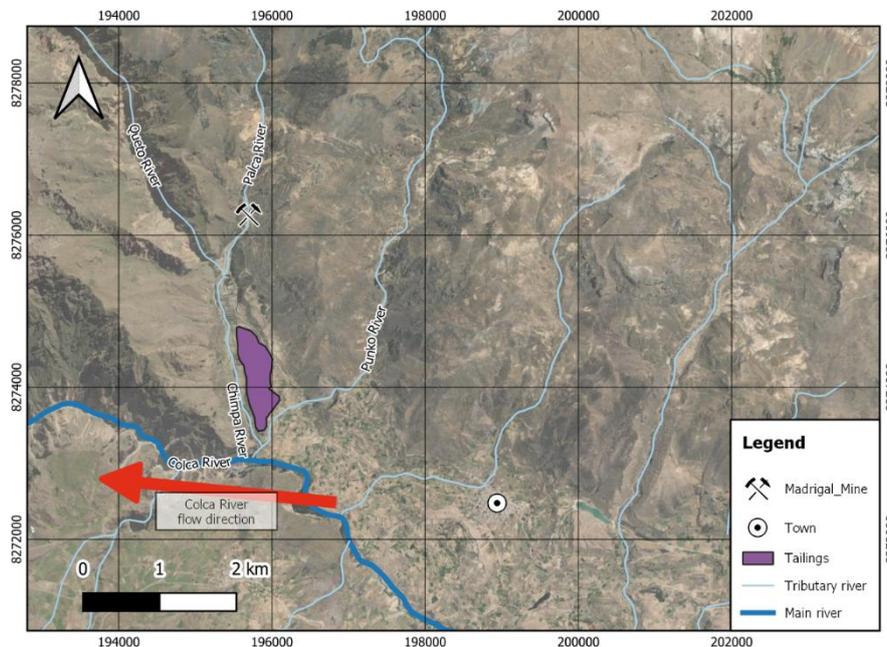


Figura 3-6. Pueblo Madrigal, mina Madrigal y relaves

3.1.2.2 Geología y Mineralización

Madrigal se encuentra en el arco volcánico del Neógeno, al sur del Perú, que forma parte de la estructura de la Cordillera Occidental. Las principales litologías encontradas son rocas volcánicas y tobas del Plió -Pleistoceno, domos de dacita del Mioceno y rocas sedimentarias del Jurásico (Echavarría et al., 2006).

Sobre una longitud de rumbo de 245 km hay una veta de Zn-Cu-Ag. Las estructuras tienen rumbo N80°O y buzamiento 72°NE y varían en espesor de 0,9 a 19 m en una zona principal de clavos mineralizados. El lecho rocoso está constituido por cuarcitas y pizarras del Grupo Jurásico Yura, que subyace en discordancia a las volcánicas del Grupo Tacaza; afloramientos de este grupo muestran aureolas de alteración como propilitización, silicificación y piritización (Chira et al., 2011; **Figura 3-7**).

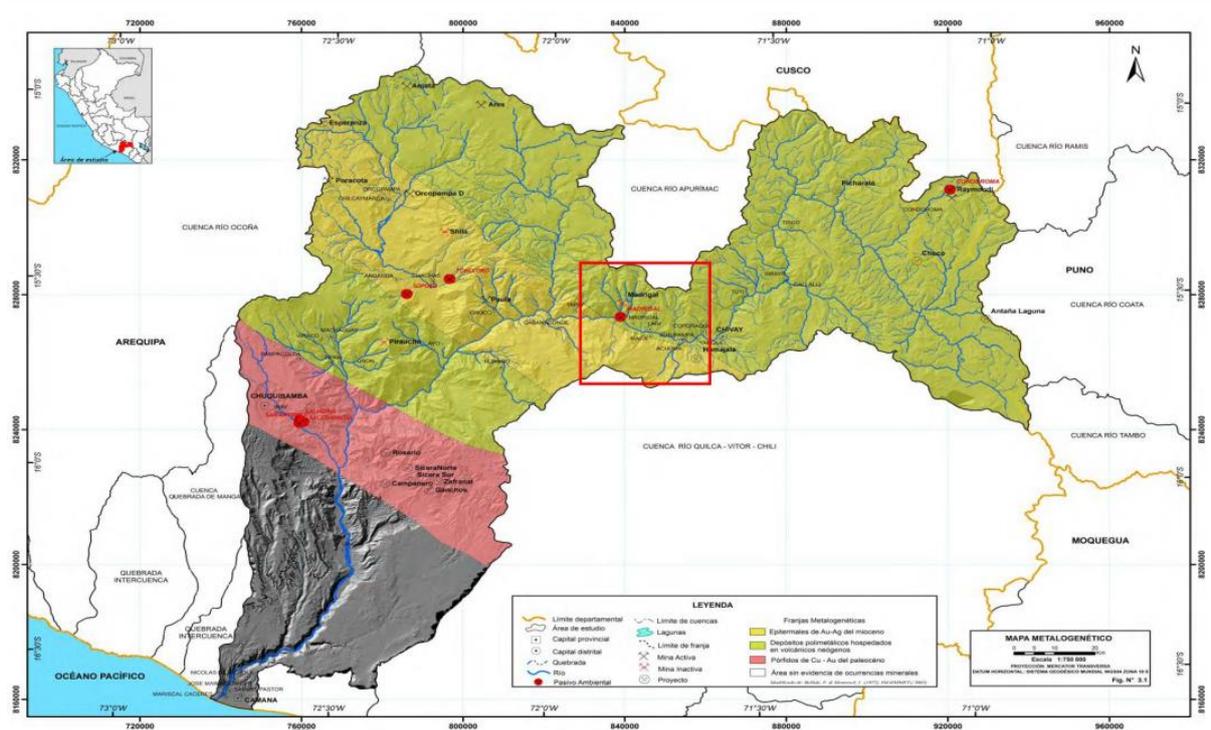


Figura 3-7. Mapa metalogénico en el área de Madrigal

Fuente: Chira, et al. (2011)

3.1.2.3 Hidrología

Los datos históricos de lluvia se obtuvieron de PISCO (Datos interpolados peruanos de las observaciones climatológicas e hidrológicas del SENAMHI): un conjunto de datos mensuales basados en los datos de la red de pluviómetros del SENAMHI (Encuesta Nacional de Hidrología y Meteorología), disponible para el período 1981-2018 con una resolución espacial de $0.05^\circ \times 0.05^\circ$. Los datos de la estación meteorológica Madrigal, ubicada cerca del Pueblo Madrigal, fueron extraídos de la base de datos PISCO.

La precipitación anual total se muestra en la **Figura 3-8**. Durante el período 1981-2018, la precipitación anual osciló entre 70 mm en 1992 y 813 mm en 2012.

La **Figura 3-9** muestra la precipitación mensual promedio en Madrigal para el mismo período de tiempo. Es posible identificar dos estaciones bien diferenciadas, una estación lluviosa de diciembre a abril con casi el 93 % de la precipitación total anual y una estación seca de mayo a noviembre.

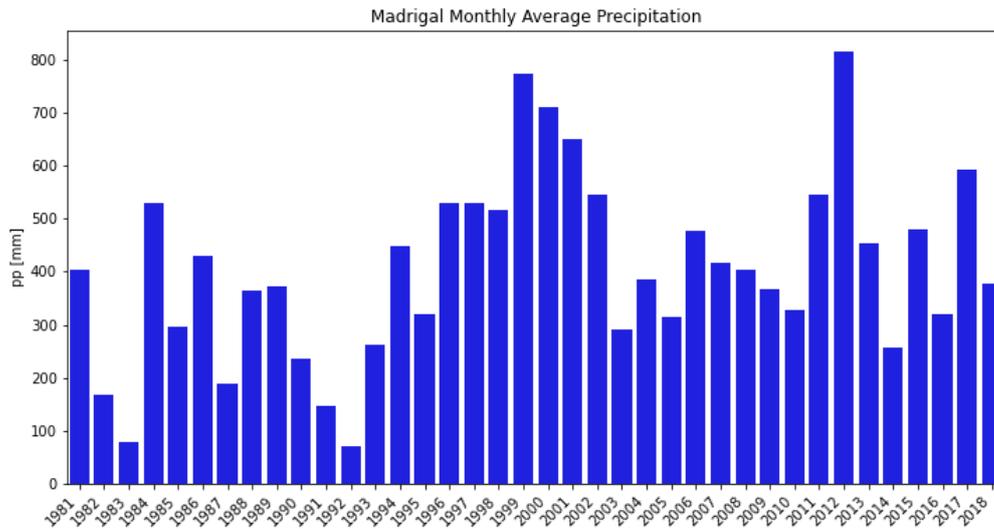


Figura 3-8. Precipitación total anual en Madrigal

Fuente: PISCO

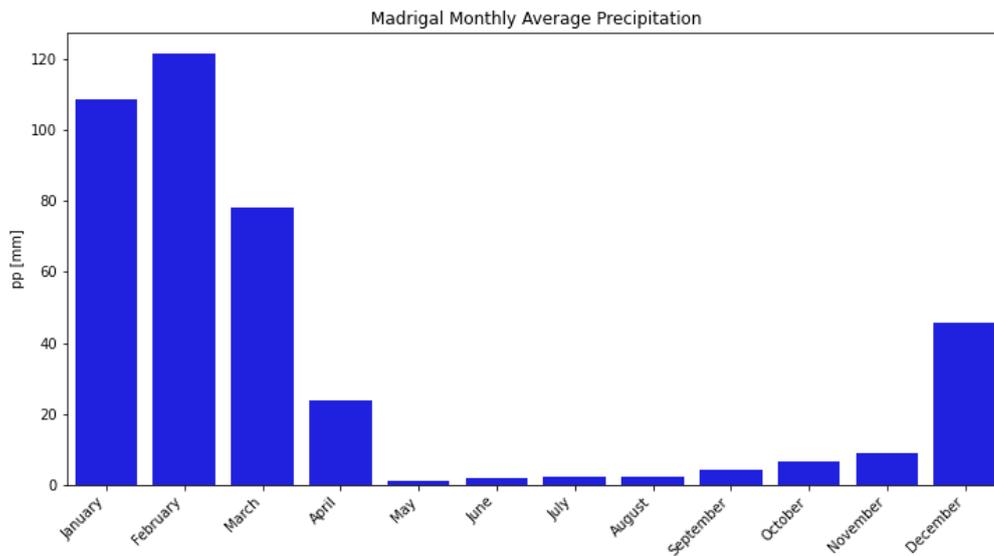


Figura 3-9. Precipitación media mensual en Madrigal

3.1.2.4 Mina Madrigal y Relaves

La mina Madrigal se encuentra ubicada en el área de estudio a una altitud de 3000 msnm. La mina Madrigal inició operaciones en 1972, con una producción de 30,000 (TM) de concentrados de cobre, zinc y plomo, hasta 1991. La mineralización de Madrigal es polimetálica: Cu-Ag-Zn-Pb (**Figura 3-10**), y los minerales u otros materiales presentes en la mina son: arsenopirita, calcopirita, galena, cuarzo y esfalerita. Las operaciones mineras consisten en trabajos subterráneos. La longitud del subsuelo se extiende por un máximo de 10.000 m. La mina utilizó el método de extracción de corte y relleno con posterior flotación selectiva de cobre, plomo y zinc, respectivamente. Los residuos finales de la última flotación selectiva (zinc) fueron conducidos por gravedad a través de una tubería de hierro hasta una presa ubicada al sur de la planta de beneficio. Mountain Minerals Perú SA es el actual propietario del área minera.

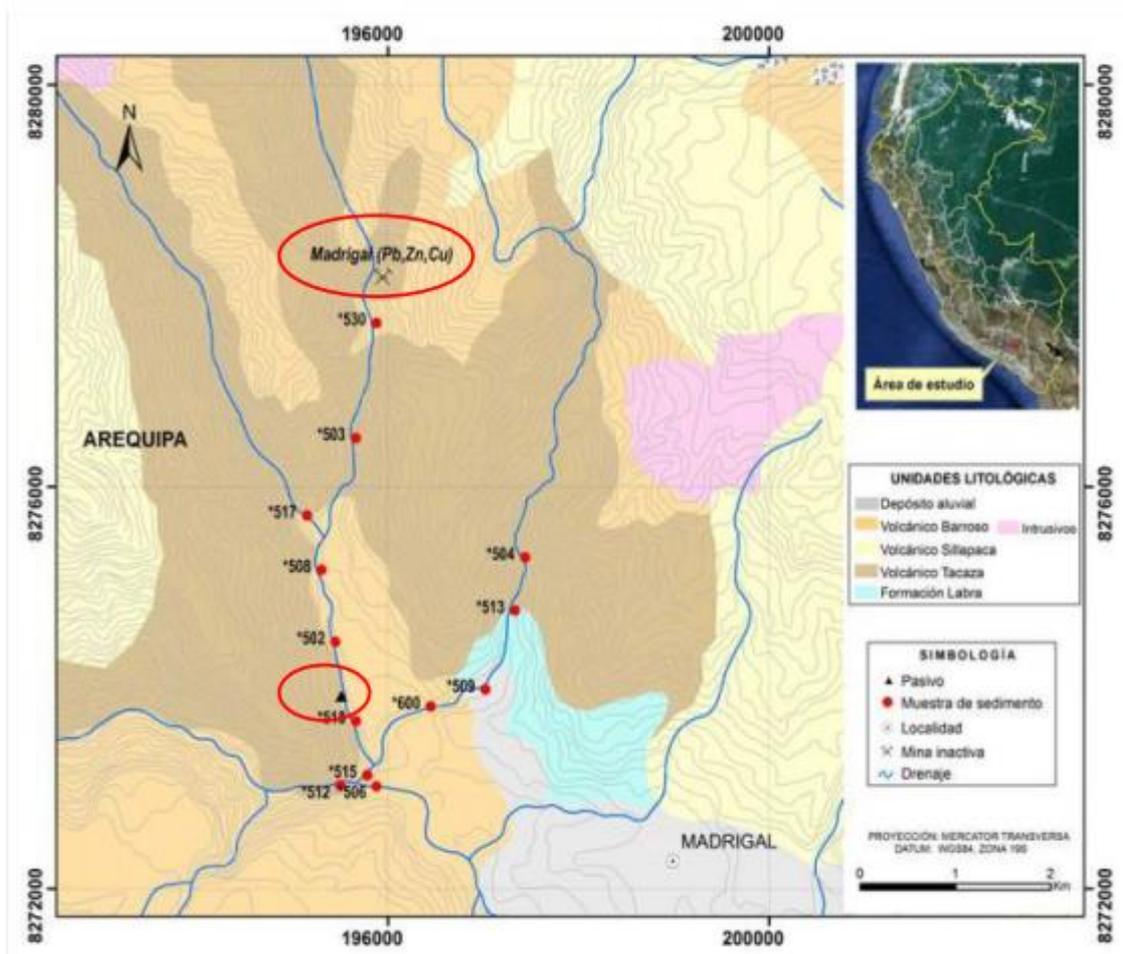


Figura 3-10. Ubicación de Mina Madrigal y relaves

Fuente: Guillén et al. (2013)

Producto de 19 años de explotación minera se cuenta con una balsa de relaves de aproximadamente 2.200.000 toneladas ubicada en la margen izquierda de la quebrada principal. Los residuos mineros se depositaron en un medio natural sin la construcción de muros de contención. Este baldío se encuentra aproximadamente a 75 metros de la margen izquierda del río Cahuira, que es una de las fuentes de riego de los cultivos cercanos y es uno de los afluentes del río Colca.

Las precipitaciones, que generalmente ocurren entre diciembre y marzo, facilitaron el crecimiento de las plantas, lo que nuevamente generó una capa de tierra sobre los relaves. Sin embargo, cuando el material de cola está seco, es transportado por el viento y luego depositado en el medio ambiente, por ejemplo, también en los campos cercanos.

3.1.2.5 Exploración Histórica

Se estudió información histórica de Mina Madrigal y relaves para determinar caminos y bienes protegidos para la evaluación de peligros. Los datos fueron limitados debido a que la Compañía Minera no pudo participar en el proyecto, debido a problemas relacionados con la crisis de COVID. Como parte de la exploración histórica se consultaron las siguientes fuentes de información:

- **Caracterización geoquímica de sedimentos** cercanos a la mina Madrigal (Guillén y Vasquez, 2013). Se analizaron 13 muestras de sedimentos para determinar la distribución de metales y metaloides en sedimentos de ríos cercanos a la Mina Madrigal.
- **Perú metalogénico mapa** (Chira et al., 2011). Perú alberga muchos distritos metalogénicos con características distintas. Este documento fue estudiado con el fin de obtener una caracterización regional del área.
- **Geoquímica ambiental de la cuenca del río Camana-Majes-Colca** (Chira et al., 2011). En este documento se encontró información general sobre la Mina Madrigal y los relaves asociados. También se analizaron muestras de sedimentos para este estudio.
- **Estudio geoambiental en la cuenca del río Colca** (Zavala et al., 2014). Se discute información histórica y general sobre la Mina Madrigal y sus relaves.
- Tesis doctoral de Martínez (2018), presentando un **diagnóstico sobre el estado de conservación de los suelos contaminados por los Relaves Mineros Madrigal y una propuesta de fitorremediación**.

De la exploración histórica se obtuvieron los siguientes resultados:

- La mina Madrigal está ubicada en el distrito metalogénico de Caylloma, caracterizado por mineralización de plata y metales básicos.
- Los sedimentos en el área de la mina Madrigal reportaron altas concentraciones de zinc, cobre y plomo, relacionadas con la mineralización de azufre en la mina Madrigal.
- Las aguas en Madrigal son sulfato de calcio, a diferencia de la mayoría de las aguas de esa parte de la cuenca, que están dominadas por bicarbonato de calcio-sulfato y sodio.
- Los relaves de la Mina Madrigal se identifican como uno de los principales pasivos ambientales en la Cuenca del Colca, con altas concentraciones de arsénico (307,1 mg/Kg), zinc (3485,7 mg/Kg) y mercurio (42,9 mg/Kg).
- Los relaves se ubican junto al río Palca, sin ninguna cubierta superior para evitar el transporte por el viento o la interacción con las aguas meteóricas.
- Hay informes de derrumbes y deslizamientos de tierra cerca de los relaves.

3.1.3 Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca

3.1.3.1 Antecedentes generales

La Reserva Nacional Salina y Agua Blanca está ubicada en el suroeste del Perú, ocupa 366,936 Ha entre las provincias de Arequipa y Caylloma en la Región Arequipa y la provincia General Sánchez Cerro en la Región Moquegua y se encuentra a 4.300 msnm.

Esta Reserva Nacional fue creada por Decreto Supremo 070-79-AA el 9 de agosto de 1979. Como Reserva Nacional, su principal objetivo es preservar la diversidad biológica, especialmente para la recuperación de las poblaciones de vicuñas, y además permite el aprovechamiento sustentable de la flora y fauna de la reserva. Desde su creación, Salinas y Agua Blanca fue supervisada y administrada por el Instituto Nacional de Recursos Naturales y Áreas Protegidas (INRENA), que luego fue reemplazado por el SERNANP. Bajo las políticas

de administración pública del INRENA, en 2007 el RNSAB fue cedido a DESCOSUR bajo un contrato administrativo de 20 años. (RNSAB, 2019)

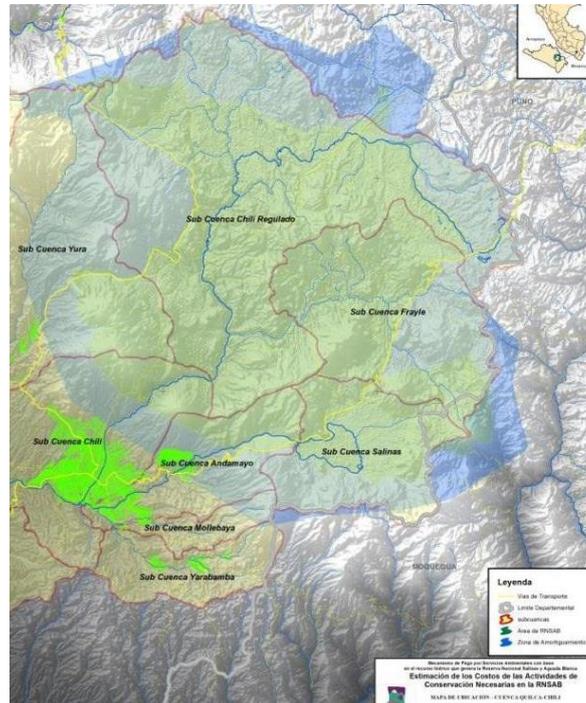


Figura 3-11. Localización de la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca

Fuente: Poma (2022)

Actualmente, la principal actividad económica productiva dentro de la Reserva Nacional Agua Blanca es la crianza de camélidos sudamericanos como llamas y alpacas. Además, la gestión hídrica de la reserva influye en el abastecimiento de agua para la ciudad de Arequipa y zonas aledañas, aportando aproximadamente 350 millones de metros cúbicos de agua de su red de embalses (sistema regulado de Cuenca Chili). (Poma, 2022).

Más de 1.300.000 de habitantes, 17.000 hectáreas de agricultura, la segunda mina de cobre más grande de Perú (Minera Cerro Verde) y algunas industrias, incluyendo la generación de energía hidroeléctrica, se abastecen del agua de la Reserva Nacional. Gran parte de las aguas de la RNSAB presentan un nivel naturalmente elevado de metal(oides) debido a la estructura hidrogeológica de la región. Además, hay un número aún no identificado de actividades mineras (de oro) informales en curso dentro de la reserva. Estas son realizadas por la población local de las comunidades rurales, así como por propietarios privados de tierras (en total, 7.000 personas aproximadamente) y se basan en condiciones de vida locales precarias. La contaminación ambiental del agua debido a las actividades mineras supone un riesgo para el abastecimiento de agua de la propia población local y para las actividades agrícolas. El control de la calidad del agua local y/o el tratamiento del agua potable no son prácticas comunes.

3.1.3.2 Hidrología

Hay dos sistemas de cuencas en el área de la RNSAB: la cuenca del río Chili y la cuenca de la laguna de Salinas. La cuenca del río Chili ocupa aproximadamente 300.000 ha y la cuenca endorreica de la laguna de Salinas ocupa aproximadamente 50.000 ha. (Zeballos et al., 2008).

Por otro lado, la reserva cubre la totalidad de las cabeceras de la cuenca del río Quilca Chili, la zona de mayor precipitación pluvial de la cuenca. La gestión hídrica de la cuenca es responsable de abastecer de agua a la ciudad de Arequipa a través de las lluvias, la capacidad de la infraestructura de regulación natural del agua y un sistema de embalses de pequeña y mediana escala construidos dentro de la Reserva Nacional. Los beneficiarios de la gestión hídrica de la reserva son: 1.300.000 habitantes, 17.000 hectáreas de cultivo, la segunda mina de cobre más grande del Perú y algunas industrias, incluida la generación de energía hidroeléctrica, se abastecen de agua de la Reserva Nacional.

Construcción de micro embalses: Su finalidad es almacenar e infiltrar agua para abastecer los acuíferos. Su implementación promueve la diversidad de flora y fauna y también se utiliza como fuente de agua para el riego de pastos naturales. Según el informe de gestión del agua, en los últimos 5 años se construyeron 315 reservorios de agua rústicos "Qohas", con una capacidad de almacenamiento de 600,908 m³ de agua.



Figura 3-12. Vista frontal del micro embalse "Mamaqocha"

Fuente: Poma (2022). DESCOSUR.

3.1.3.3 Responsabilidad social

La creación de la reserva nacional contempla objetivos y planes de acción para promover el desarrollo productivo-social de las comunidades a través del mejoramiento de las condiciones ambientales, para lo cual la RNSAB considera las siguientes estrategias:

- Formación y desarrollo de las capacidades técnicas de las poblaciones locales para el autocontrol de los recursos hídricos locales (almacenamiento y calidad) y la adaptación al cambio climático.
- Consolidación de las organizaciones y las administraciones locales, incluido el registro de la minería informal.
- Apoyo a la gestión de los recursos naturales (p. ej., plantación y captación de agua).

3.2 Descripción de los sitios de referencia alemanes

3.2.1 SAXONIA Freiberg

El proyecto de sitios contaminados SAXONIA (SAXONIA Site Development and Management Company Ltd.) se desarrolló entre 1993 y 2013 con 400 medidas en unos 50 sitios. El objetivo del proyecto era remediar los sitios contaminados en el área de Freiberg para prevenir o reducir significativamente la transferencia de contaminantes a través de las vías del aire y el agua. Las medidas de remediación incluyen, por ejemplo, la deconstrucción de edificios contaminados y el recubrimiento y sellado de relaveras y sitios de fundición contaminados. Los principales contaminantes son el arsénico y metales como el plomo, el cadmio, el cobre y el zinc. La efectividad de las medidas implementadas podría probarse a través del monitoreo del agua aún en curso.

La relavera Davidschacht fue uno de estos sitios. El sitio aún está bajo investigación y se hicieron muchas propuestas para la remediación, pero también para un uso posterior como lugar de investigación.

3.2.1.1 Descripción general

La minería comenzó en 1168 en Freiberg cuando se hicieron grandes descubrimientos de plata. En 1835 se excavó el Davidschacht como uno de los pozos principales del minado con una profundidad máxima de 736 m. Después del cierre de la mina, los pozos se inundaron. Hoy en día, numerosas empresas comerciales e industriales se encuentran en esta zona.

El sitio está ubicado en la parte este de la ciudad de Freiberg en Sajonia (Alemania). El complejo de Davidschacht en sí mismo representa un complejo de vertederos que consta de tres subáreas: la pila de relaves gruesos con las instalaciones a cielo abierto de Davidschacht y relaveras. La relavera Davidschacht está ubicado en el norte y la relavera Hammerberg está ubicado en el sur (**Figura 3-13**).

La relavera Davidschacht tiene una extensión de unas 6.3 ha y un volumen de 760,000 m³. La mayor diferencia de altura entre la meseta y la superficie del subsuelo original es de 42 m. El suelo se aplicó después del abandono para la revegetación.

Las medidas llevadas a cabo después del final de la explotación para recultivar las relaveras rara vez tuvieron éxito a largo plazo, en parte debido a los valores de pH muy bajos. Sin embargo, grandes áreas ahora están cubiertas de vegetación nuevamente (sucesión natural). Debido a los factores abióticos extremos del sitio (alto contenido de metales pesados, bajos valores de pH, baja humedad del suelo), los biotopos desarrollados en el depósito son únicos. Por lo tanto, el complejo de vertederos no solo es digno de protección de monumento por razones histórico-culturales, sino también digno de conservación de la naturaleza.

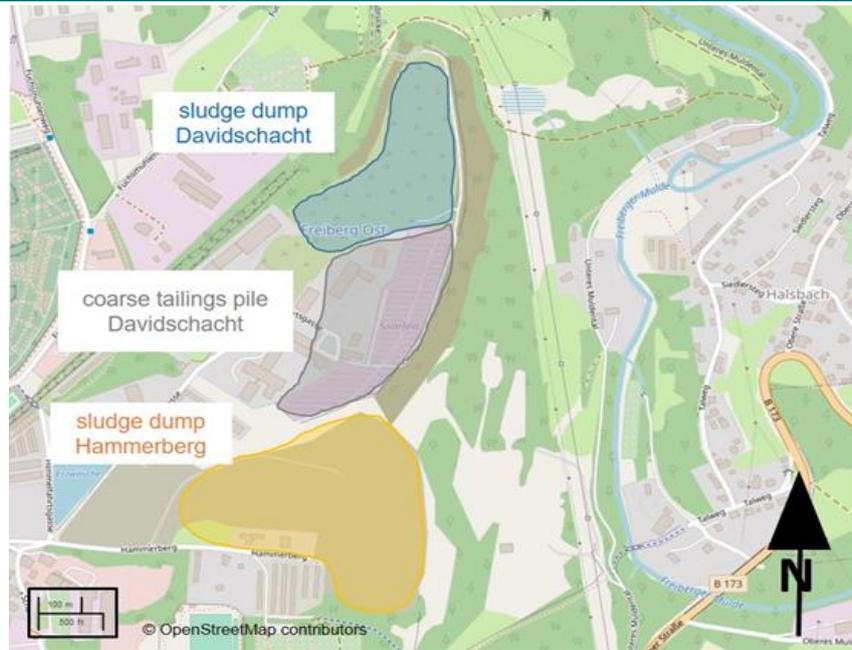


Figura 3-13. Ubicación del complejo de los vertederos de Davidschacht

3.2.1.2 Clima

Las siguientes condiciones climáticas están presentes en el área de estudio:

- Dirección principal del viento: oeste
- Precipitación media anual: 831 mm
- Temperatura media anual: 8°C

3.2.1.3 Geología

El distrito de depósitos de Freiberg se encuentra en la parte nororiental de los Montes Metálicos. El área alrededor de Freiberg consiste en ortogneis gris, el llamado domo de gneis de Freiberg. Este es un gneis de biotita-feldespato doble cristalino medio a grueso. Los eductos de este gneis fueron rocas magmáticas con composición granodiorítica intrusionadas en el Proterozoico superior. El metamorfismo y la sobreimpresión tectónica ocurrieron en relación con la orogenia varisca en el Carbonífero Inferior y la orogenia alpídica en el Cretácico.

3.2.1.4 Hidrología

La relavera de Davidschacht se creó cerrando un valle que conduce al este, al Freiberger Mulde, mediante un dique de amontonamiento de material rocoso grueso. El área de captación de precipitaciones del vertedero tiene una superficie de 0.166 km².

El Freiberger Mulde es el principal receptor de agua de la zona con un caudal medio a largo plazo de 4.10 m³/s. El agua de precipitación que se filtra en el vertedero de enjuague fluye hipodérmicamente sobre la superficie de la roca sólida o a través de fisuras en la roca hasta el Freiberger Mulde siguiendo la pendiente. Las vías de agua continúan existiendo debido a las antiguas operaciones mineras debajo del vertedero.

Una de las tres galerías principales que drenan el distrito minero de Freiberg es el "Königlich Verträgliche Gesellschaft Stolln" (KVGS), la cual desagua en el "Roter Graben" (Zanja Roja), que también recoge agua de otras minas y desemboca en el Freiburger Mulde en varios tramos.

La tasa promedio de recarga de agua subterránea es de 200 L/(m²a) o 0,67 L/s. En total, el volumen real de agua que sale del área de captación del vertedero es de 0,95 L/s de media. (Para detalles sobre el balance hídrico ver Martin et al. (2012))

3.2.1.5 Minería

Composición mineralógica

En Davidschacht se procesaban casi exclusivamente minerales del distrito minero de Freiberg. En consecuencia, la relavera de enjuague contiene cuarzo (aprox. 70 %), feldespato, mica, fluorita, barita, calcita, sulfuro de plomo, sulfuro de hierro, zinc, manganeso, arsénico, cadmio y cobre. Se han documentado los siguientes contenidos medios de sustancia de los residuos del tratamiento: plomo 0.14 %, zinc 0.3 %, cobre 0.04 % y azufre 2.3 %.

Los restos de reactivos de flotación también están contenidos en los relaves. Los reactivos utilizados principalmente en la flotación de Davidschacht fueron xilenol como espumante y xantato (xantato de isoamilo) como colector de sulfuro. A partir de 1952 se utilizó cianuro de sodio para prensar la blenda de zinc. Por lo tanto, la flotación debió tener lugar a pH mayor a 7 para evitar el desarrollo de ácido cianhídrico. La adición de sulfato de cobre sirvió para unir el cianuro liberado. Además, se agregó cal clorada a los efluentes de flotación.

Métodos/Proceso de trabajo

Desde 1936, la planta de procesamiento en el sitio de Davidschacht funcionó con el principio de procesamiento de espuma (flotación). El mineral se sometía a los siguientes **pasos** durante su extracción hasta que su procesamiento: Después del transporte por rieles y pique, el mineral se extraía de las cubetas a través de un volquete giratorio a la trituradora de mandíbula, donde primero se molía hasta un tamaño de grano menor a 60mm. Sin embargo, se necesitaban tamaños de grano aún más pequeños para el procesamiento del mineral, por lo que luego pasaba por varias etapas más de trituración y cribado hasta que obtenía un diámetro de aproximadamente 0.2mm. A partir del lodo producido del mineral pulverizado, se obtenía sucesivamente durante la flotación PbS con contenido de cobre, ZnS, y un concentrado de FeS₂ con un fuerte contenido de arsénico.

Las dos relaveras del complejo de Davidschacht se describen a continuación (**Figura 3-13**). Estos pertenecen a la planta de procesamiento que funcionaba en el siglo XX.

- Después de la saturación de un pequeño decantador que se había puesto en funcionamiento en 1944, se abordó la **relavera de Davidschacht**. Fue la única relavera de 1951 a 1964 y sirvió como vertedero de reserva para la nueva relavera Hammerberg de 1964 a 1969. Está ubicado al norte de la planta de procesamiento y el antiguo clarificador pequeño y representa el vertedero norte de toda la pila de relaves.
- De 1964 a 1969, la **relavera de Hammerberg** se utilizó como decantador. Las pequeñas balsas de decantación de lodos finos ubicadas en su tramo norte se utilizaron para disponer la fracción de grano más fino del material de lavado en los primeros meses después de la puesta en funcionamiento del vertedero de lavado, para mantener la capacidad de percolación de la nueva balsa central.

No existe un sellado inferior especial de las relaveras. Los vertederos de arcilla gruesa del este se llenaron directamente en el talud natural después de la remoción parcial del suelo de raíces. La estratificación del subsuelo probablemente corresponde aproximadamente a la del montón de arcilla gruesa. Una "capa de arcilla" sirvió para proteger la base del terraplén. No hubo un sellado específico del vertedero de lavado en su superficie.

Cantidades

Se realizaron un total de 39 pruebas de testigos de pilotes (18 en la zona de la base de las relaveras y 21 en la superficie de la relavera). Además, se tomaron 135 muestras sólidas (69 muestras en la zona al pie de la relavera, 66 muestras en la superficie de la relavera). Asimismo, se tomaron 6 muestras de lixiviados (3 al pie de la relavera, 3 en la zona de relaves). Se determinaron los contenidos de elementos de As, Pb, Cd, Cu, Zn en las muestras sólidas. Los eluatos de agua se prepararon con las mismas muestras sólidas y se analizaron para As, Pb, Cd, Cu, Zn, cloruro, sulfato, fluoruro, conductividad eléctrica; y valor de pH (**Tabla 3-3**). También se utilizó el mismo espectro de análisis para las 6 muestras de agua. (GEOS, 1993)

Tabla 3-3. Datos de investigación de materia sólida y eluato para la relavera Davidschacht

		Max.	Min.	Valor promedio
Solido				
Arsénico	mg/kg TS	16,300	50	4161
Plomo	mg/kg TS	10,480	460	1213
Cadmio	mg/kg TS	62	2	17,1
Cobre	mg/kg TS	2760	60	218
Zinc	mg/kg TS	24.000	130	1197
Eluato				
pH	-	9.4	1.9	5
Conductividad	µS/cm	2330	65	895
Arsénico	mg/L	2	0.04	0.13
Plomo	mg/L	2.8	0.02	0.19
Cadmio	mg/L	0.75	0.004	0.08
Cobre	mg/L	3.9	0.02	0.3
Zinc	mg/L	34	0.046	2.42

Fuente: G.E.O.S. (1993), representado en G.E.O.S. (2012), Tabla 10

3.2.1.6 Análisis orientado a la vía de origen y evaluación de riesgos

De acuerdo con la "Metodología sajona para sitios contaminados" del estado libre de Sajonia (ver **Sección 2.3**), también se han llevado a cabo las etapas de investigación para la relavera de Davidschacht. En 1993 se realizó una **investigación orientada** (OE) como primera evaluación de riesgos con un programa de exploración en el que se tomaron amplias perforaciones y muestras de suelo y agua. En 1995 se realizó la **investigación histórica** del

objeto. El resultado de la **investigación detallada** (2009-2018) fue la confirmación final del sitio presuntamente contaminado y la recomendación de acción para remediar el vertedero de lodos.

Las opciones de remediación luego se discutieron en el **estudio de remediación** que comenzó en 2013. Debido a las amplias preocupaciones de conservación de la naturaleza que debían tenerse en cuenta, se tuvo que planificar un tiempo de procesamiento de varios años. Los resultados finales, incluida una propuesta para la opción de remediación preferida, estarán disponibles a principios de 2017. Después de eso, se iniciará la planificación de la rehabilitación, a la que seguirá un procedimiento de aprobación de la ley de construcción.

El análisis de fuente-vía-bien protegido se ha llevado a cabo de las investigaciones mencionadas anteriormente (GEOS 1993; BIUG, 2009; GEOS, 2012; GEOS, 2016). Las **vías de contaminación** de la relavera Davidschacht son:

- Formación de polvo/dispersión por el viento:
 - o Absorción directa por humanos y animales a través de los pulmones,
 - o Deposición en tierras agrícolas/entrada en la cadena alimentaria de humanos y animales,
 - o Lixiviación de contaminantes del material cargado de polvo por precipitación y entrada de las sustancias en el ciclo agua/suelo o superficie.
- Lavado de material de relaves en lugares no estabilizados
- Disolución de contaminantes por precipitación/lixivios de taludes y su entrada en lixivios de taludes/aguas subterráneas cercanas a la superficie/aguas superficiales (Freiberger Mulde).

Un sistema de prevención de peligros debe evitar lo siguiente:

- Descarga de componentes polvorientos de pilas de relaves
- Enjuague de arenas de lavado con agua de precipitación
- Disolución de contaminantes por agua de precipitación y lixivios de taludes
- Entrada y transporte de contaminantes disueltos en lixivios de taludes, aguas subterráneas cercanas a la superficie y aguas superficiales

3.2.2 Gran Proyecto Ecológico: Dresden Coschütz/Gittersee

3.2.2.1 Antecedentes generales

Este capítulo describe el gran proyecto ecológico "Dresden Coschütz/Gittersee". El trabajo de remediación en este sitio y el siguiente sitio "Königstein" (descrito en el **Capítulo 3.2.3**) difiere no solo por los diferentes tiempos de sus historias operativas, sino sobre todo en términos de sus procesos de minería y extracción y, por lo tanto, en todas las instalaciones técnicas y procesos tecnológicos posteriores.

El relleno de sedimentos de la cuenca Döhlen, que forma el subsuelo de Dresden Coschütz/Gittersee, contiene principalmente areniscas, conglomerados y piroclásticos, se origina en el Carbonífero superior y el Pérmico inferior y se coloca en parte en Rotliegend , en parte todavía en Stefanium . La cuenca de Döhlen pertenece así a una serie de cuencas relictas posvariscas, a las que también se pueden atribuir la depresión de Vorerzgebirge en el área de Chemnitz, la serie permocarbónica del bosque de Turingia y la depresión de Saar-Nahe con la parte norte del bosque del Palatinado. La sedimentación en la cuenca de Döhlen estuvo controlada por la actividad de las perturbaciones del borde de la cuenca de esa época. El espesor acumulado del sedimento es de más de 800 metros.

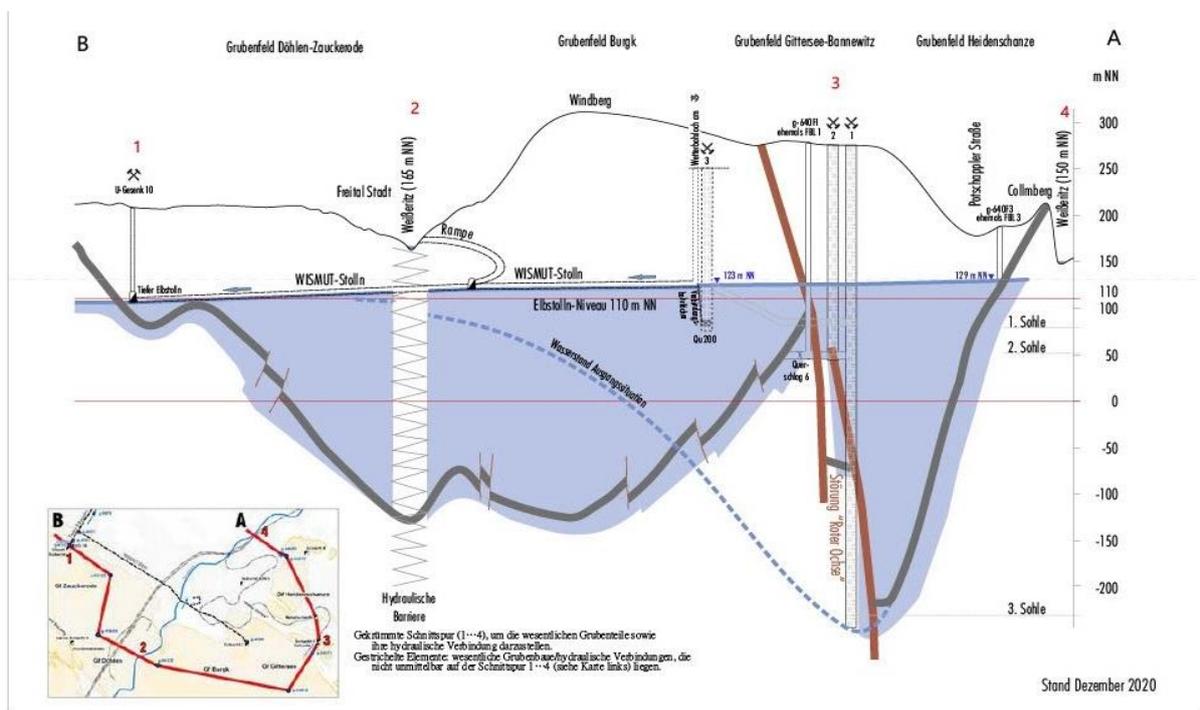


Figura 3-14. Sección transversal hidrogeológica de la cuenca Döhleener con la ubicación de Dresden Coschütz/Gittersee

[La línea roja horizontal superior indica la ubicación de los dos túneles de drenaje de la mina, fuente: Informe ambiental de Wismut GmbH 2020]

De importancia económica fueron las vetas de carbón de la Formación Döhlen, cuyas ocurrencias se conocían desde el siglo XVI y provocaron una intensa actividad minera, especialmente a fines del siglo XIX y principios del XX. Dado que la hulla contiene uranio, la cuenca de Döhlen se exploró a partir de 1947 con respecto a los depósitos de uranio y la producción comenzó poco después. A partir de 1968, la minería se limitó a la extracción de hulla con mineral de uranio en el extremo noroeste de la cuenca Döhlen por parte de la empresa minera "Willi Agatz".

En terrenos anteriormente utilizados para la agricultura en Dresden- Coschütz y - Gittersee, sobre el popular valle de Kaitzbach, la sociedad anónima soviética (Sowjetische Aktiengesellschaft) SAG Wismut o Wismut AG construyó la "Fábrica de uranio 95" (Uranfabrik) en un área de aproximadamente 42 hectáreas entre 1947 y 1950. Junto con los estanques de relaves industriales (Halde A y Halde B), el sitio cubría un área total de unas 76

hectáreas. Las actividades mineras continuaron después de la reorganización como sociedad anónima germano-soviética (Sowjetisch -Deutsche Aktiengesellschaft) SDAG Wismut en 1954.

La extracción de uranio en el sitio de Dresden Coschütz/Gittersee se interrumpió poco después de la reunificación alemana en 1989 y se iniciaron los trabajos preparatorios para el cierre de esa operación minera. La SDAG Wismut se transfirió a una sociedad de responsabilidad limitada Wismut GmbH, que hasta el día de hoy planifica y lleva a cabo las medidas de rehabilitación de los restos de la extracción de uranio de la RDA.



Figura 3-15. Los relaves de Gittersee en el sur de la ciudad de Dresde

Izquierda: Vista desde los relaves de Gittersee hasta la “Fábrica de uranio 95” de Wismut en 1958. Derecha: Vertedero de residuos mineros rehabilitado Gittersee en 2015

[Fuentes: <https://www.wismut.de/de/pressefotos.php>,
<https://www.dresden.de/de/stadtraum/umwelt/umwelt/boden/altlasten/stillgelegte-deponien/coschuetz-gittersee.php>]

Daños Estructurales por Actividades Mineras

El área utilizada durante todo el período de minería en la cuenca Döhlen fue de aproximadamente 25 km², de los cuales SDAG Wismut utilizó aproximadamente 2.1 km² para la extracción de carbón mineral de uranio (Nota: el uranio está parcialmente ligado a la hulla). Las áreas mineras utilizadas por SDAG Wismut, así como por las empresas extractoras de carbón del siglo XIX y principios del XX, se controlan mediante mediciones constantes.

Los hundimientos en la superficie causados por la minería subterránea han disminuido hace mucho tiempo. Posibles movimientos de tierra futuros pueden ocurrir como resultado de la inundación de las cavidades del tajo. El daño minero es principalmente agrietamiento de pequeña a mediana escala en objetos estructurales.

Seguridad de los trabajos mineros subterráneos

A finales de la década de 1990 se terminaron las obras de protección de las explotaciones mineras subterráneas. Se realizaron los trabajos necesarios para eliminar los contaminantes del agua (grasas, aceites, productos químicos) y rellenar los pozos cercanos a la superficie -

especialmente los piques- para evitar el hundimiento de la superficie del suelo. La inundación del pozo se inició con esas medidas.

Situación actual

La remediación central del sitio de Gittersee se ha completado desde 2017; la transición a las tareas a largo plazo de Wismut GmbH se completó por completo (Informe ambiental de Wismut GmbH 2020).

Ya no se requiere el tratamiento del agua de minería en el sitio de Dresden- Gittersee. Los trabajos de la mina subterránea de Gittersee se drenan en el río Elba a través del Wismut-Stolln y más allá del Tiefer Elbstolln. El seguimiento de los niveles de agua de los últimos años en los antiguos paneles de trabajo de la mina ha demostrado que, a intervalos de varios años, los pozos de conexión entre la mina y el Wismut- Stolln deben limpiarse de incrustaciones para evitar la acumulación de agua de la mina inundado. Para ello, el estado de los pozos se examina regularmente mediante inspecciones con cámaras.

El control del estado y la limpieza de los pozos de conexión son tareas a largo plazo, así como el mantenimiento de los túneles y los socavones de drenaje de la mina. Este último requiere la limpieza de lodos a intervalos de varios años. En 2020, no fue necesario limpiar los pozos de conexión y tampoco eliminar los lodos de Wismut- Stolln o Tiefer Elbstolln.

Se está llevando a cabo un monitoreo ambiental post-minero de las aguas superficiales y subterráneas, el suelo, el aire/polvo y la radiación en nombre de la Oficina de Medio Ambiente de la Administración de la Ciudad de Dresde (LH-DD UA). La antigua zona de operaciones y vertedero de residuos mineros rehabilitada en Dresde Coschütz/Gittersee, que se ha transformado en un biotopo secundario desde el final de la remediación, es un área muy interesante para la observación de especies animales y vegetales raras debido a su ubicación en las afueras de la ciudad y la valla protectora. Como parte de un proyecto de Nature Conservation Union Germany (NABU) y la ciudad de Dresde con el objetivo de crear un atlas de aves reproductoras para la ciudad, por ejemplo, se realizó un conteo de aves en el área con un ornitólogo al principio. de mayo de 2020.

3.2.3 Experiencias de los sitios de Wismut

3.2.3.1 Königstein

Antecedentes generales

Los llamados remediación operación Königstein ("SBK Sanierungsbetrieb Königstein") de la Wismut GmbH comprende dos ubicaciones, Königstein y Dresde Coschütz/Gittersee. Ambos sitios habían sido incluidos como ubicaciones de referencia en el proyecto BLP. Después de resumir la situación en el sitio de Dresde Coschütz/Gittersee en el **Capítulo Fehler!** Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. aquí se enumeran algunas figuras clave del sitio de Königstein, para brindarle al lector una descripción general de ambas ubicaciones.

En la **Figura 3-16** se muestra el sitio de Königstein (circulo negro KS) que se ubica en areniscas del Cretácico (verde claro). El sitio Dresde Coschütz/Gittersee descrito en el

Capítulo Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. (punto negro CG) se encuentra en rocas sedimentarias del Carbonífero y el Pérmico (naranja con círculos).

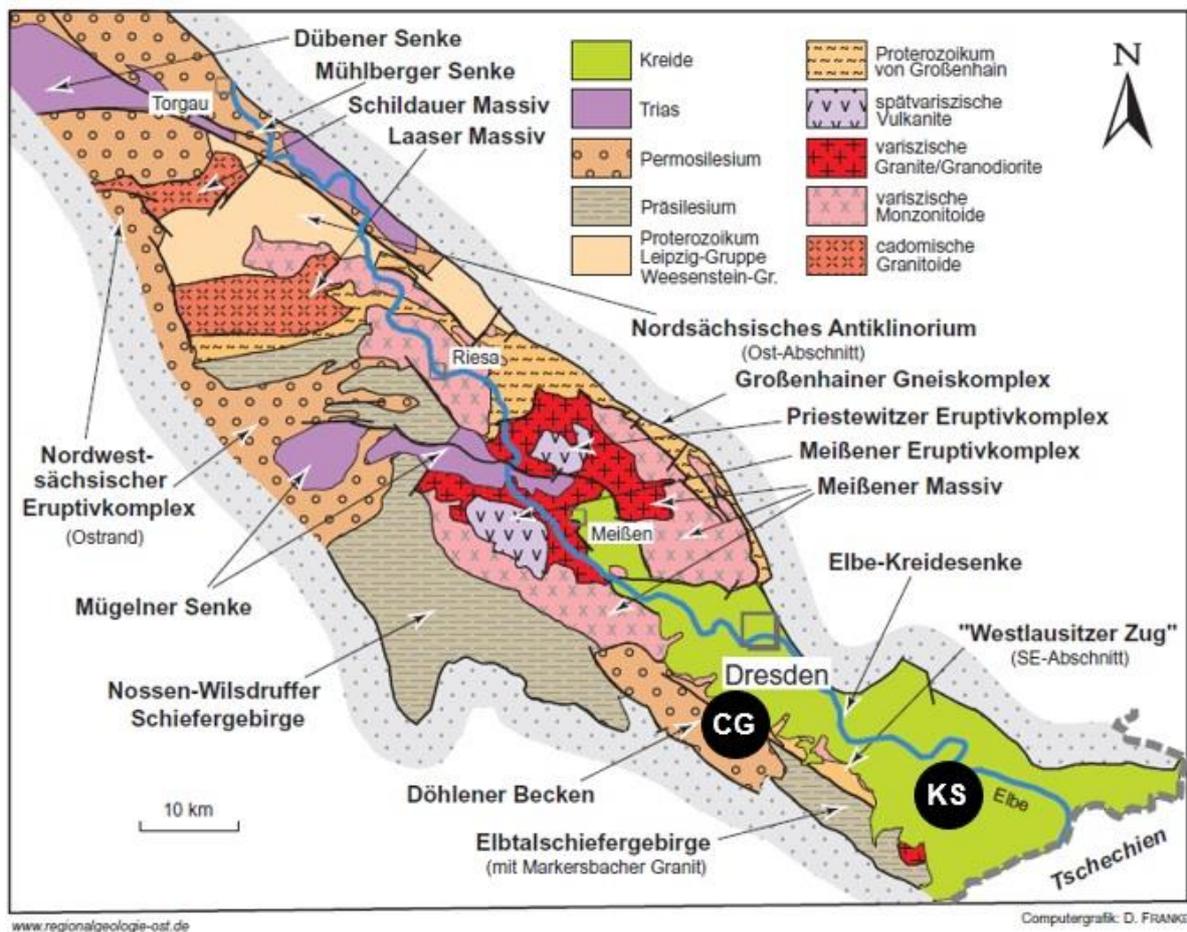


Figura 3-16. Mapa geológica del valle del Elba en Sajonia

Fuente: FRANKE, D. (2018)

En 1961, SDAG Wismut comenzó el trabajo de exploración en el área de los sedimentos del Cretácico del Valle Sajón del Elba. A partir de 1967, aquí se llevó a cabo la extracción convencional de mineral de uranio. El depósito de mineral de uranio, ubicado en varias areniscas de los sedimentos del Cretácico, se desarrolló en un área de aproximadamente 6 km² y se extrajo en el área de los pueblos Königstein – Bielatal – Langenhennersdorf (Nota: el sitio de Bielatal se describirá por separado en el **Capítulo 3.2.4**). El pueblo de Leupoldishain, ubicado en las inmediaciones de los piques principales en el sitio de Königstein, estuvo influenciado casi por completo por los trabajos subyacentes. Decisivo para toda la explotación minera y la posterior rehabilitación del tajo son las condiciones hidrogeológicas locales y regionales.

En la **Figura 3-17** se muestra una sección transversal geológica esquemática con exageración vertical a través del pozo Königstein. Areniscas del Cretácico Superior (color crema) con buzamiento plano hacia el río Elba y granodiorita de Lausitz suprayacente (rojo claro), condiciones hidráulicas antes y después de la inundación de la subzona I.

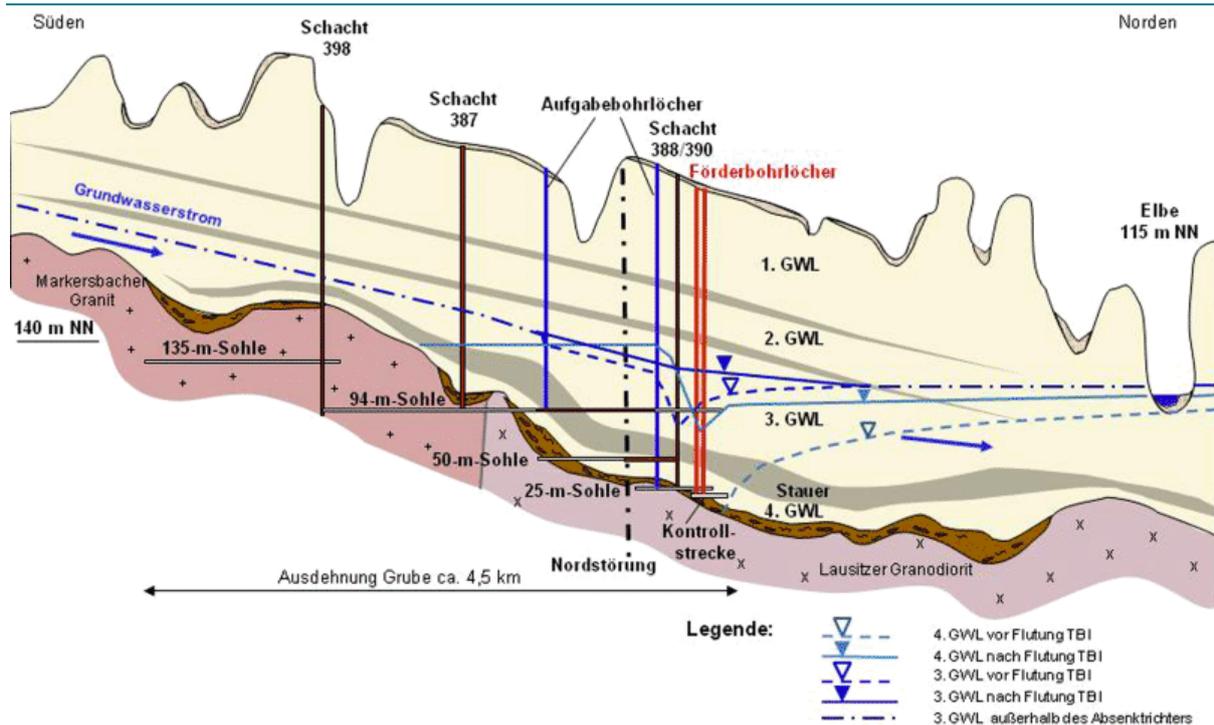


Figura 3-17. Sección transversal geológica esquemática del pozo Königstein

Fuente: WEDEKIND, C. (2017)

Extracción de uranio por lixiviación – Sitio de Königstein

Los recursos geológicos totales del depósito de Königstein ascendieron a un total de alrededor de 30,000 toneladas de uranio. En el período de 1967 a 1983, se utilizó el método de minería “trabajo de pilares de cámara” con relleno autoendurecible. A partir del 1 de enero de 1984, el método de extracción cambió: se introdujo la lixiviación subterránea como método de extracción alternativo.

La mina tiene una particularidad especialmente importante en cuanto a su seguridad y posterior inundación. Debido al contenido relativamente bajo de uranio en la arenisca, a principios de la década de 1970 comenzaron las investigaciones sobre procesos químicos más efectivos para obtener la materia prima. En 1984, la minería subterránea de uranio se convirtió al proceso de extracción química. Se utilizó agua mezclada con ácido sulfúrico como parte de varias tecnologías de lixiviación. Esto se comprimió en bloques de arenisca preparados a través de perforaciones o se llenó en cámaras subterráneas voladas. Después del proceso de lixiviación, la solución fue agarrar y bombear sobre tierra. Finalmente, el uranio fue seleccionado en una planta de procesamiento. A través de esta tecnología, más de 55 millones de toneladas de roca entraron en contacto con una solución que contenía ácido sulfúrico en 1990. Parte de la solución permaneció como agua intersticial en la arenisca y condujo a una mayor movilización de uranio y metales pesados. En caso de inundación descontrolada de la mina, estos elementos habrían ingresado a los acuíferos o aguas receptoras de manera descontrolada.

Daños estructurales por actividades mineras – Sitio Königstein

El área afectada por la extracción de uranio ha sido y sigue siendo monitoreada periódicamente mediante mediciones. Debido a los trabajos de minería subterránea, la

superficie del suelo se vio afectada de diferentes maneras. La extracción de mineral provocó deformaciones en la superficie, como hundimiento e inclinación. Los efectos explosivos como resultado de las voladuras que detuvieron la contracción causaron vibraciones sísmicas, lo que provocó grietas a pequeña escala en los objetos estructurales.

Protección de minas subterráneas y pozos – Sitio Königstein

Los informes de mecánica de rocas realizados en las labores subterráneas y socavones (aberturas superficiales) exigían un relleno completo de estas labores mineras con material de relleno cohesivo para evitar afectaciones relevantes en los socavones por razones mecánicas de la roca y garantizar un almacenamiento seguro permanente. Las áreas de los acuíferos tuvieron que ser selladas.

El relleno de las entradas de la mina, chimeneas de ventilación y piques de la mina no pudo llevarse a cabo inmediatamente de acuerdo con el programa de inundación confirmado de las cavidades del tajo. De hecho, este trabajo solo se llevó a cabo en la fase final de custodia (hasta 2021) y aún no está completo al cien por cien en 2022. Las instalaciones de superficie que se muestran en la **Figura 3-18** fueron necesarias durante casi todo el período de remediación, incluso más. que durante el período de extracción - y solo se desmanteló en la última fase.

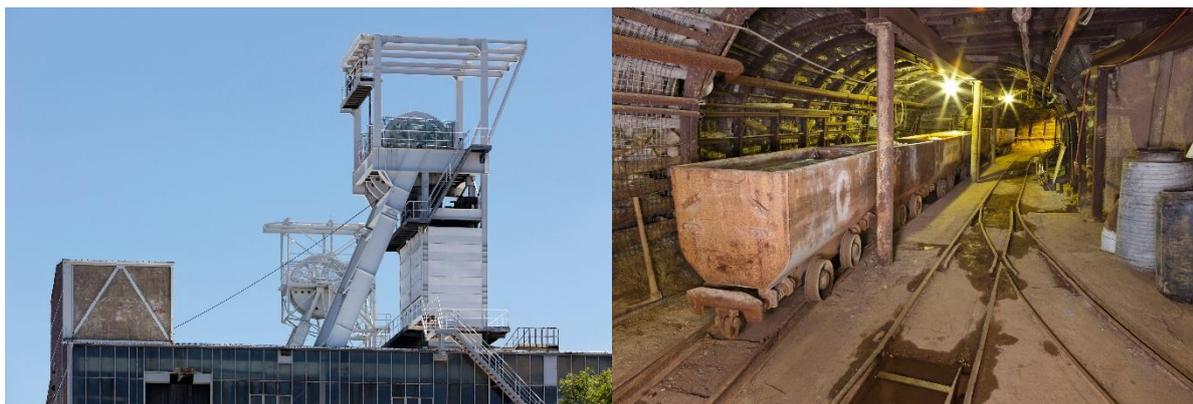


Figura 3-18. Instalaciones mineras de Königstein

Izquierda: Headframes de ejes. Derecha: nivel de 50 m antes del inicio de la inundación
Fuente: <https://www.wismut.de/de/pressefotos.php>, 22.07.2013 and 14.10.2010

Eliminación de Contaminantes de las Aguas Subterráneas – Estado de Rehabilitación Alcanzado

En el momento del cese de la extracción de uranio de SDAG Wismut (diciembre de 1990), todavía había alrededor de 1 millón de m³ de solución de lixiviación en circulación en el tajo de Königstein debido al proceso de extracción química utilizado, que no se pudo eliminar abruptamente. Para llevar a cabo este proceso de manera respetuosa con el medio ambiente, se tuvieron que construir instalaciones y plantas especiales para cada tarea; algunos de ellos todavía están en uso o están disponibles para su uso hasta el día de hoy. Se destacan las diferencias particulares en la remediación en la ubicación respectiva.

Para la clausura de minas en las que se realizaba la extracción química de uranio, había poca experiencia útil a nivel nacional e internacional. Por lo tanto, el proceso de lixiviación subterránea no pudo detenerse de inmediato. Se requirió un extenso trabajo de investigación y desarrollo para desarrollar soluciones para el cierre ordenado para las condiciones

específicas del tajo. Además de la destrucción de la solución ácida, se debían tener en cuenta las condiciones geológicas e hidrológicas del tajo para evitar daños por minería superficial y no permitir la entrada excesiva e inadmisibles de contaminantes en los acuíferos existentes y utilizados (Nota: Los trabajos asociados se presentan con más detalle en el **Capítulo Fehler!** Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.).

La concentración de uranio en el agua de la inundación es ahora tan baja que la eliminación de uranio en la etapa de proceso ya no es necesaria en la planta de extracción AAF convertida. El último uranio extraído en el proceso de limpieza del agua se vendió a un cliente en EE.UU. en 2021, poniendo así fin a la producción de uranio en Alemania. Esto significa que todas las instalaciones técnicas y las áreas asociadas con la eliminación de uranio ahora se pueden desmantelar y remediar; los marcos principales y otras instalaciones de superficie ya se habían desmantelado en 2014 y 2015.

El objetivo sigue siendo la inundación completa de la fosa. Junto con las autoridades se busca una solución tecnológicamente factible y homologable.

En 2020, 1 ha en las instalaciones de la empresa y 1,6 ha en el vertedero de minería y producción de Schüsselgrund se volvieron a utilizar o renovar. Sin embargo, según lo dispuesto en la decisión de aprobación de la planificación para la gestión del vertedero de Schüsselgrund, el área del vertedero aún no se encuentra en el proceso de mantenimiento posterior. Así, al igual que en 2019, 18 ha de la superficie total de 32 ha están en postratamiento. **Figura 3-19** muestra una vista general del área de operaciones de Königstein con la planta de tratamiento de agua en la parte superior central de la imagen y el montón de desechos mineros de Schüsselgrund a la derecha. Las dos minas estaban ubicadas en el arenal libre a la derecha del complejo de edificios blancos.



Figura 3-19. Vista aérea de la planta de operaciones de Königstein

Fuente: <https://www.wismut.de/de/pressefotos.php>, 16.11.2015

Perspectiva - Sitio de Königstein

El desmantelamiento de las instalaciones de eliminación de uranio en el sitio de Königstein, que había comenzado en 2021, es una tarea particularmente exigente, ya que los sistemas técnicos contienen residuos contaminados radiactivamente. La planta de tratamiento de agua AAF ha sido transferida a operación regular, luego de que la operación de prueba resultó ser exitosa (ver **Capítulo Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

El vertedero de residuos (AEE) Schüsselgrund seguirá gestionándose según lo previsto. Esto se aplica tanto a la zona de almacenamiento especial como al diseño y la seguridad a largo plazo mediante la construcción hidráulica y la construcción de caminos en las zonas ya cubiertas del vertedero de residuos.

El objetivo de inundar completamente el pozo de Königstein sigue adelante. En noviembre de 2020 se inició una prueba hidroquímica para influir en el agua de inundación, que continuó al año siguiente. Además, en 2021 está prevista la perforación de un nuevo pozo de alimentación para la introducción de fluidos en el campo sur del tajo, lo que ayudará significativamente al proceso de inundación.

Para el segundo trimestre de 2021, se ha solicitado la aceptación de la planta de tratamiento de aguas convertida AAF conforme a la ley de aguas por parte de la Autoridad Minera de Sajonia y la Dirección Estatal de Sajonia, así como por parte de la Oficina Estatal de Medio Ambiente, Agricultura y Geología (LfULG) en relación con la ley de protección contra las radiaciones. Se espera que la aprobación tenga lugar en 2022.

Efectos de la remediación en las personas y el medio ambiente – sitio de Königstein

En el emplazamiento de Königstein aún no se ha alcanzado un estado estable a largo plazo. Esto se debe principalmente a la situación de inundación del tajo, causada a su vez por la lixiviación in situ practicada entonces y sus efectos en las aguas subterráneas. Para proteger las aguas subterráneas, el nivel aprobado del nivel de embalse se mantiene por debajo de las condiciones naturales. El mantenimiento del nivel de embalse sólo puede lograrse extrayendo continuamente el agua de la mina y reintroduciendo el agua tratada. En 2020, se extrajeron aproximadamente 2.8 millones de m³ de agua del pozo y se trataron en la AAF. Para ello, se utilizaron los sistemas antiguos y nuevos en función de la fase de prueba. Ambas plantas persiguen el mismo objetivo: la mejor separación posible del uranio -ya terminado- y otros metales pesados. Los residuos resultantes se almacenan en el vertedero de Schüsselgrund.

3.2.3.2 Seelingstädt y Crossen

Antecedentes generales

La empresa de saneamiento de Seelingstädt de Wismut GmbH se fundó en 1991 mediante la fusión de las antiguas plantas de procesamiento Seelingstädt (Turingia) y Crossen (Sajonia), que originalmente funcionaban por separado. La distancia entre las dos partes del negocio es de unos 30 km. La sede de la dirección se instaló en la parte más nueva de la empresa, en Seelingstädt.

Estas plantas han sido cuidadosamente seleccionadas como ubicaciones de referencia adicionales, porque son proyectos importantes de Wismut GmbH, donde, por ejemplo, se puede rastrear la conservación de depósitos de sedimentación muy grandes y la reubicación completa de relaveras mineras más grandes. A diferencia de los sitios de referencia presentados hasta ahora, pertenecen a los distritos mineros de uranio en la parte occidental de los Montes Metálicos (Sajonia occidental) y alrededor de Ronneburg (este de Turingia).

Para el procesamiento de los minerales, SAG/SDAG Wismut operaba varias plantas de procesamiento, que en la mayoría de los casos había tomado de otras empresas industriales. En los primeros años, las plantas más pequeñas solían estar en funcionamiento cerca de los depósitos. Posteriormente, el procesamiento se concentró en los sitios de Seelingstädt y Crossen.

De las 230,400 toneladas de uranio extraídas por las operaciones mineras de SAG/SDAG Wismut, las plantas de procesamiento produjeron 216,300 toneladas de uranio a fines de 1990. Esto incluía los concentrados mecánicos enviados como concentrados químicos y otros productos.

Planta operative Seelingstädt

La planta de procesamiento más grande y moderna de SDAG Wismut se ubicó en Seelingstädt (objeto 102, de la planta de procesamiento 102 de 1968), adyacente al depósito de Culmitzsch en el este de Turingia. La planta se puso en marcha en 1961 como resultado de la creciente importancia del distrito minero de Ronneburg, que se encuentra a unos 15 km al norte de la planta.



Figura 3-20. Seelingstädt con depósito de sedimentación de lodos e instalación de relaves Culmitzsch, 1993

Fuente: <https://www.bergbautraditionsverein-wismut.de/ehemaliger-aufbereitungsbetrieb-102-seelingstaedt.html>

La mineralización en el área minera de Ronneburg está alojada en lutitas paleozoicas y metabasaltos. La mineralización de uranio se produce en cuerpos de forma irregular de tamaño y contenido de uranio muy variables (en promedio, 70 toneladas de uranio por cuerpo). Los minerales de uranio (principalmente pechblenda) se presentan como impregnaciones, finas vetas o en zonas de brechas en estos cuerpos. El depósito se formó por removilización de uranio ya enriquecido en las lutitas negras por procesos sinsedimentarios. La removilización fue causada por procesos hidrotermales y supergénicos que llevaron a un mayor enriquecimiento de uranio. El contenido de uranio de fondo en las lutitas negras es de 40 a 60 ppm. Al igual que los principales depósitos de uranio estilo veta

en los Montes Metálicos occidentales, el depósito de Ronneburg está ubicado en la zona de falla de Gera- Jachymov, que se denomina zona de falla de Crimmitschau en esta área en particular.

El depósito de mineral de uranio tenía un contenido de uranio promedio de aproximadamente 0.065 a 0.07%. Hubo bloques mineros individuales con leyes promedio de alrededor del 0.3% y pocas áreas donde la ley fue a veces del 1%, pero esta fue la excepción absoluta. El hecho de que el yacimiento de mineral de uranio de Ronneburg se extrajera con un grado promedio tan bajo se debe únicamente a la situación política especial en ese momento y la búsqueda del equilibrio nuclear después del final de la Segunda Guerra Mundial y durante la Guerra Fría. Incluso sin el cambio político en 1989, la extracción de mineral de uranio se habría detenido en el año 2000, que ya era un trato hecho. Desde un punto de vista puramente económico, el depósito de Ronneburg nunca se habría explotado (Mineralienatlas, s.f.)

Durante un período de casi 40 años, se operaron 40 pozos en el campo mineral de Ronneburg, cuyo edificio de mina alcanzó una profundidad de casi 1000 m y una extensión de 74 km². En ocasiones, la explotación también se realizaba a cielo abierto.

La planta de Seelingstädt era la instalación central para procesar el mineral de uranio, con las entregas más altas de Ronneburg, pero también de todos los demás depósitos de SDAG Wismut de los Montes Metálicos y más allá (consulte el mapa y la lista en la **Figura 3-21**). En 1991, la planta había procesado 108,8 millones de toneladas de mineral y productos de lixiviación en Königstein y Schmirchau y producido 86,273 toneladas de uranio en concentrado. Se utilizaron dos procesos químicos diferentes para la extracción de uranio, según la geoquímica del mineral. Estos fueron un proceso con lixiviación sosa-alcalina y un proceso con lixiviación sulfúrica. Ambos procesos generaron concentrados con contenidos de uranio significativamente diferentes y la propagación de uranio a partir del mineral. En promedio, el contenido de concentrado fue del 60% de uranio y la producción fue del 92%. El último barril de la llamada torta amarilla (el concentrado de uranio en estado seco) se embotelló en 1996.

A partir de 1991, durante esa última campaña de producción se realizó una disposición de minerales e intermedios de la minería de remediación, así como de minerales residuales de acopios y del proceso de tratamiento respectivamente para el reciclaje de la solución de lejía residual, y a fines de 1991 la totalidad se interrumpió el procesamiento del mineral. Solo la eliminación de los concentrados líquidos resultantes del tratamiento de agua de la planta de remediación de Königstein (ver **Sección Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) tuvo lugar hasta 1996 (Chronicle Wismut).



Figura 3-21. Planta operativa de Seelingstädt.

(Izquierda: vista 1962. Derecha: sala de procesamiento para concentrados de uranio 1991)

Fuente: <https://www.bergbautraditionsverein-wismut.de/ehemaliger-aufbereitungsbetrieb-102-seelingstaedt.html>

En las instalaciones de la planta procesadora, las plantas e instalaciones técnicas continuaron funcionando inmediatamente después de la reunificación alemana, que debían cumplir tareas centrales para toda la planta operativa o aún producían productos para la venta. Los ejemplos fueron:

- La fábrica de ácido sulfúrico, que producía sus propios requerimientos de ácido sulfúrico, pero utilizaba las cuotas de mayor capacidad para la producción y venta de óleo.
- La central eléctrica industrial, que no solo cubría la energía eléctrica, el vapor tecnológico y la demanda de calor, sino que al mismo tiempo tenía que suministrar energía eléctrica al sistema de red de las empresas mineras de Turingia en caso de accidente.
- Los talleres especiales para la producción de tubos engomados y otros materiales especiales

En 1991/1992, estas capacidades técnicas fueron muy reducidas en su alcance de servicios de acuerdo con los requerimientos de la demanda y luego puestas fuera de operación, desmanteladas y demolidas dependiendo del avance de la remediación.

Planta operativa de Crossen

El sitio de Crossen fue anteriormente una fábrica de papel, que se convirtió para el nuevo propósito. El denominado Objeto 101 con la fábrica 38, que entró en funcionamiento en 1951, se convirtió en una de las dos plantas centrales de procesamiento de SAG/SDAG Wismut. Estaba ubicado en Crossen en el extremo norte de Zwickau en Sajonia y pasó a llamarse "Aufbereitungsbetrieb 101" en 1968. Procesaba minerales de todos los principales depósitos SAG/SDAG Wismut y producía un total de 77,000 toneladas de uranio a partir de 74.7 millones de toneladas de mineral. En Crossen, tanto los concentrados mecánicos de Ore Mountains (principalmente de la operación minera de Aue) como los concentrados químicos se produjeron mediante lixiviación alcalina con soda. A mediados de la década de 1980, también se llevaron a cabo pruebas para el procesamiento de minerales de estaño de los minerales de Pöhla-Hämmerlein y se puso en funcionamiento un procesamiento experimental de minerales de plata para los minerales de Pöhla y Niederschlema-Alberoda. En 1989, la planta de procesamiento comenzó a cerrar debido a que muchas de sus plantas estaban obsoletas y la disminución de la producción de SDAG Wismut provocó dificultades en la utilización de la capacidad. El concentrado del último año de producción tenía un contenido de uranio del 75% con una recuperación de uranio del mineral del 93.3%.

El procesamiento del mineral de uranio se interrumpió en 1989 y luego se inició el desmantelamiento parcial de las plantas. Las capacidades parciales de las instalaciones de laboratorio y las instalaciones de producción continuaron utilizándose para trabajos de investigación para el procesamiento de minerales de depósitos en la región occidental de los Montes Metálicos para estaño y plata (ver **Figura 3-22**). Este trabajo de corta duración llegó a su fin en 1990 (Wismut, 2010).



Figura 3-22. Instalaciones de la planta operativa Crossen con botadero de residuos mineros

Fuente: <https://www.wismut.de/de/pressefotos.php>, 1991

3.2.4 Sitio cerrado de relaves de Bielatal

Las cabeceras del arroyo Biela se originan en la región oriental de los Montes Metálicos, no lejos de la capital, Dresde. El arroyo forma un valle local (Bielatal) de unos 40 km de longitud y el agua fluye hacia el río Elba. La cuenca del Elba es uno de los tres sistemas fluviales más grandes de Alemania. La región del arroyo Biela está en contacto con el área protegida de la llamada “Suiza sajona”. Esta es al mismo tiempo un Parque Nacional (reserva de protección de la naturaleza) y una región turística de importancia nacional.

La rehabilitación posterior a la extracción de la mina de mineral de estaño en Altenberg, que se cerró en 1991, está determinada por los legados mineros de Altenberger. Mina Pinge con el túnel de drenaje asociado y una instalación de relaves industriales. La planta IAA y el área de depósito de relaves se encuentran en contacto con la zona protegida de la Suiza Sajona. La planta inició en 1967 la descarga y almacenamiento de residuos y funcionó hasta 1991. Lavado de un total de aprox. Allí se produjeron 10.5 millones de m³ de relaves utilizados de la extracción de mineral de estaño. Se ha colocado un área de relaves de aproximadamente 1 km² en el valle y se ha desviado el arroyo Biela. La presa final tiene 90 m de altura y 1 km de longitud. La superficie del área de relaves se selló y se reverdeció después de 1991. Para garantizar la estabilidad permanente, se requirió un costoso trabajo de protección y rehabilitación del agua. La construcción de un canal de aliviadero a lo largo de la presa principal se hizo necesaria como medida para la prevención de inundaciones. Esta obra se terminó en 2014.



Figura 3-23. Área de relaves de Bielatal cerca de Dresde, Sajonia

Izquierda: vista de mapa del sitio de Bielatal en los Montes Metálicos.

Derecha: presa de relaves de Bielatal y fuga de agua con acumulación de As en la base de la presa.

Además de todas las medidas implementadas, las fugas y filtraciones de agua al pie de la presa de relaves no cesaron lo suficiente. Los filtrados de fuga aguas abajo del valle de Biela acumulan en su recorrido arsénico y metales pesados y constituyen un grave riesgo para las zonas turísticas y de protección natural.

3.3 Concepto de comparación de sitios

Para comparar los sitios de referencia, se debe utilizar una metodología que permita evaluar y comparar cuantitativamente sitios de diferentes contextos (por ejemplo, social, económico, tecnológico).



Figura 3-24. ODS de la ONU relevantes para sitios de estudio de remediación posterior a la minería

GKZ (2018) en el contexto del proyecto GIZ “Apoyo al desarrollo de competencias y capacidades en la gestión de pasivos ambientales mineros en los países andinos (proyecto número 81216685)” desarrolló una metodología para evaluar diferentes casos de estudio de remediación post-minera de América del Sur (Chile, Perú) y Europa (Alemania, Irlanda y Montenegro) según los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la ONU. En un primer momento, se seleccionaron los ODS relevantes para la remediación de pasivos ambientales mineros, que se muestran en la **Figura 3-24**.

La ONU presentó una lista de indicadores para medir la implementación de los ODS en 2016. Sin embargo, estos indicadores se centran en su impacto en el desarrollo macroeconómico y macrosocial de los países. La remediación de sitios afectados por minas tiene impactos positivos a escala local y regional, pero estos no son suficientes para impactar a nivel macro de una nación (GKZ, 2018).

La metodología presenta un enfoque pragmático sobre la contribución a los ODS pertinentes. Los criterios de evaluación cuantitativa y evaluación se presentan en la **Tabla 3-4**.

Tabla 3-4. Indicadores relevantes para la evaluación

N°	Criterios	Indicadores	Medición valor
1	Trabajo Preparatorio	Plan de restauración y recuperación	Aceptación de las autoridades
2	Principales actores	Profesionalismo de las partes involucradas	Evaluación basada en una escala de 5 puntos
3		Gestión de las partes involucradas	Evaluación basada en la complejidad de la toma de decisiones
4	Tiempo requerido	Tiempo de desbordamiento	Diferencia entre el tiempo estimado y el tiempo final
5	Modelo de organización	Cooperación entre autoridades: expertos – promotores – contratistas	Evaluación basada en una escala de 5 puntos
6		Control interno del plan de recuperación	Evaluación basada en gestión de plazos, presupuesto y desarrollo de proyectos
7	Modelo de financiación	Idoneidad o adecuación para el proyecto de restauración y recuperación	Volumen presupuestario, fuentes financieras, costes de capital, financiación y planificación del gasto
8	Costos efectivos	Exceder o no cumplir con el presupuesto	Diferencia entre presupuesto estimado y coste final
9a	Factores de éxito	Éxito de la restauración y recuperación	Informe de evaluación. Escala de 5 puntos
9b	Factores de riesgo	Éxito de la restauración y recuperación	Informe de evaluación. Escala de 5 puntos
10a	Aplicación de estándares ambientales y sociales alemanes en la gestión de sitios contaminados	Aceptación y cumplimiento	Evaluación basada en exigencias legales y administrativas
10b	Aplicación de estándares ambientales y sociales internacionales en la gestión de sitios contaminados	Aceptación y cumplimiento	Evaluación basada en exigencias legales y administrativas

Fuente: GKZ (2018)

Cada criterio se evalúa con una escala de 1 a 5, siendo 1 muy alta relevancia y 5 poca relevancia.

4. Caja de herramientas técnicas para la gestión del agua de mina en sitios posteriores a la minería

Con base en las experiencias de los sitios de estudio de Sajonia, se presenta una caja de herramientas técnicas para la gestión del agua de la mina en los sitios posteriores a la minería.

Esta es una guía técnico-metodológica, que contiene un resumen de conocimientos técnicos y evaluaciones de datos ejemplares de los sitios de referencia de Sajonia, así como investigaciones aplicadas y soluciones propuestas en los sitios de estudio de Perú. Las recomendaciones detalladas se entregaron durante los viajes a Perú (Anexo 1, Anexo 2 y Anexo 5).

La caja de herramientas está estructurada en cinco partes:

- **Investigaciones técnicas del sitio:** Con base en la metodología de Sajonia para el manejo de sitios contaminados presentada en el **Capítulo 2**, se realizaron investigaciones detalladas en ambos sitios de estudio de Perú y se presentan los resultados.
- **Áreas mineras cerradas y rehabilitación de cuencas:** Basado en la experiencia de los sitios de referencia de Sajonia y se presenta la remediación de instalaciones mineras y cuencas.
- **Remediación de aguas afectadas por minas:** Con base en lo último en tecnología de las técnicas de tratamiento de agua presentado en el **Capítulo 2**, se evalúan y comparan las diferentes técnicas con el fin de proponer técnicas de tratamiento de agua apropiadas para aplicar en el Perú. Además, se presentan experiencias de plantas de tratamiento de agua de los sitios de referencia de Sajonia.
- **Medidas de protección o contención:** Sobre la base de la experiencia de los sitios de referencia de Sajonia, se presentan medidas de protección o contención.
- **Monitoreo de los efectos de la remediación del sitio y de la cuenca local:** Sobre la base de la experiencia de los sitios de referencia de Sajonia, se presentan estrategias de monitoreo del agua. Asimismo, se presenta una propuesta de estrategia de monitoreo de agua para Los Rosales

4.1 Investigaciones Técnicas del Sitio

4.1.1 Los Rosales: Investigación Orientada (OU)

Con base en los resultados de la investigación histórica, se planificó y llevó a cabo una investigación orientada durante los meses de octubre y noviembre de 2021, cuando un equipo de la DGFZ visitó Los Rosales para realizar trabajo de campo. La investigación histórica indicó la presencia de agua de mina con características DAM y agua subterránea afectada en Los Rosales. Los objetivos para las investigaciones orientadas fueron los siguientes:

- Caracterización de aguas subterráneas en Los Rosales, aguas abajo del área de relaves.
- Caracterización adicional del agua de mina de la mina Madrigal y agua tratada.
- Determinar un esquema general de aguas en Los Rosales, identificando las diferentes vías de agua en la zona y su recorrido.

Para el cumplimiento de los objetivos se realizaron las siguientes actividades de campo:

- Instalación de tres pozos de monitoreo poco profundos aguas abajo del área de relaves para el monitoreo cualitativo y cuantitativo de las aguas subterráneas.
- Muestreo de agua de mina de Mina Candelaria y agua tratada.
- Relevamiento general de las diferentes aguas que se encuentran en Los Rosales, con mediciones de pH y conductividad eléctrica.

Una descripción detallada y discusión de los resultados de estas actividades se encuentra en el **Anexo 1**. Los resultados obtenidos de la investigación orientada fueron los siguientes:

- Los resultados de los parámetros analizados en Los Rosales revelaron valores bajos de pH y altas concentraciones de sulfato y metales en el agua de mina y agua subterránea. Las concentraciones más altas en aguas subterráneas se reportaron en el sector de relaves. Estos resultados son consistentes con datos previos de investigaciones históricas y sugieren la presencia de DAM afectando el agua subterránea en Los Rosales (**Tabla 4-1**).

Tabla 4-1. Resultados químicos de la investigación orientada a Los Rosales

	pH	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Al	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Zn
	(-)	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Agua de mina	3.91	1006	0.34	3.37	0.02	0.86	4.78	102	12.8	2.06
Agua tratada	6.19	1018	0.23	0.08	0.01	0.50	0.52	15.2	10.8	0.81
PZ-1*	4.17	1050	2.30	7.97	0.08	0.77	14.3	0.02	15.8	4.39
PZ-2*	4.18	772	1.77	7.53	0.08	11.40	10	0.11	15.1	4.66
PZ-3*	5.64	1552	0.12	0.211	0.002	0.04	0.014	0.15	2.68	0.14

*: Muestra de agua subterránea

- El tratamiento del agua de la mina Los Rosales aumentó el pH a los valores aceptados por las regulaciones peruanas y disminuyó las concentraciones de hierro, cobre y zinc. Sin embargo, las concentraciones de hierro y cobre del agua tratada excedieron las normas peruanas sobre descarga de agua para industrias mineras (**Figura 4-1**).

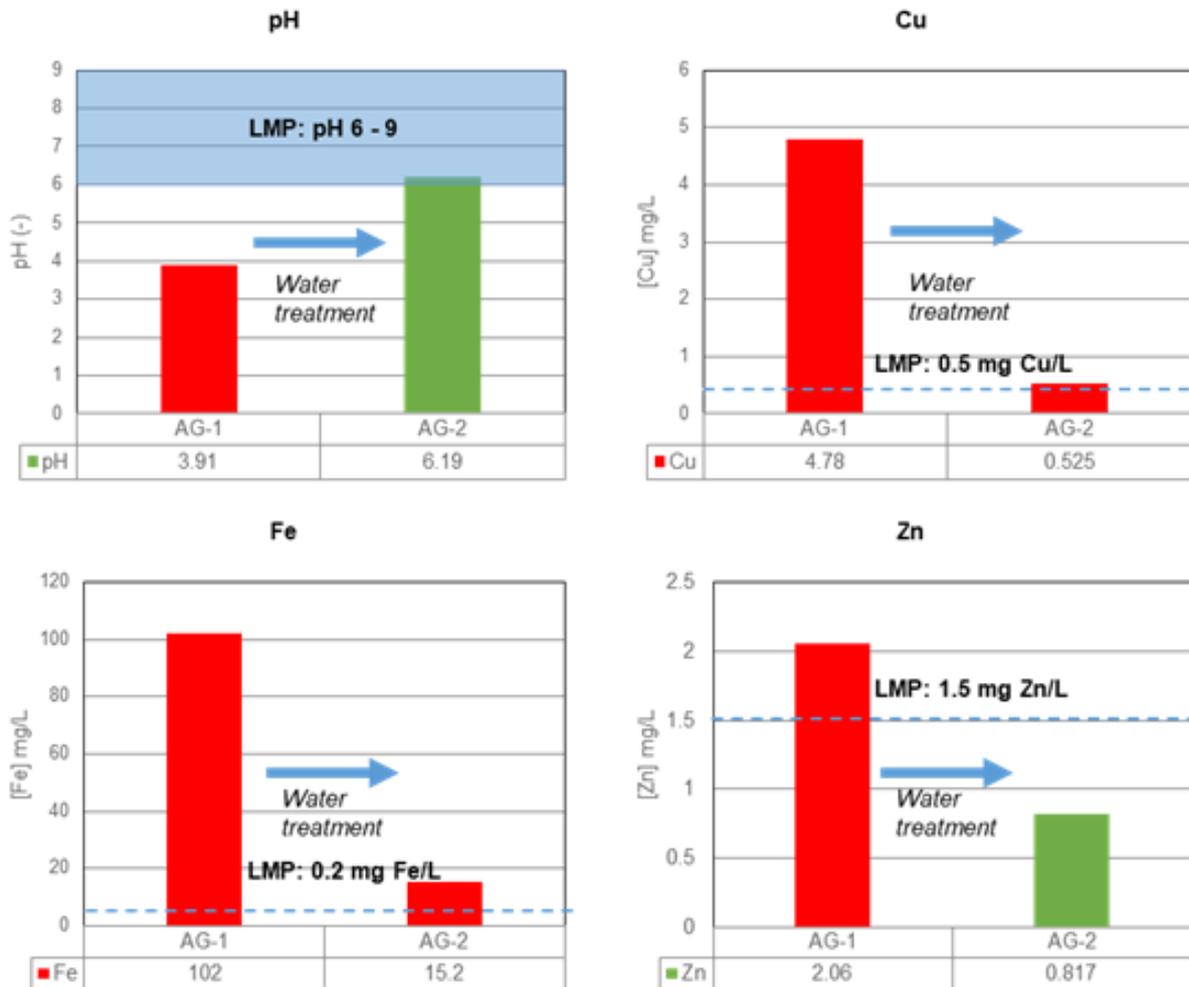


Figura 4-1. Parámetros de agua que superan los LMP en agua de mina Los Rosales (AG-1) y agua tratada (AG-2).

NOTA: Las barras rojas significan que los resultados exceden el límite. Las barras verdes significan que los resultados cumplen con las regulaciones

Fuente: Decreto Supremo 010-2010-MINAM

- Las concentraciones de cadmio, cobre, níquel, cobalto, manganeso, selenio y zinc de muestras de agua subterránea en Los Rosales excedieron los estándares de calidad ambiental de las regulaciones peruanas (**Figura 4-3**).

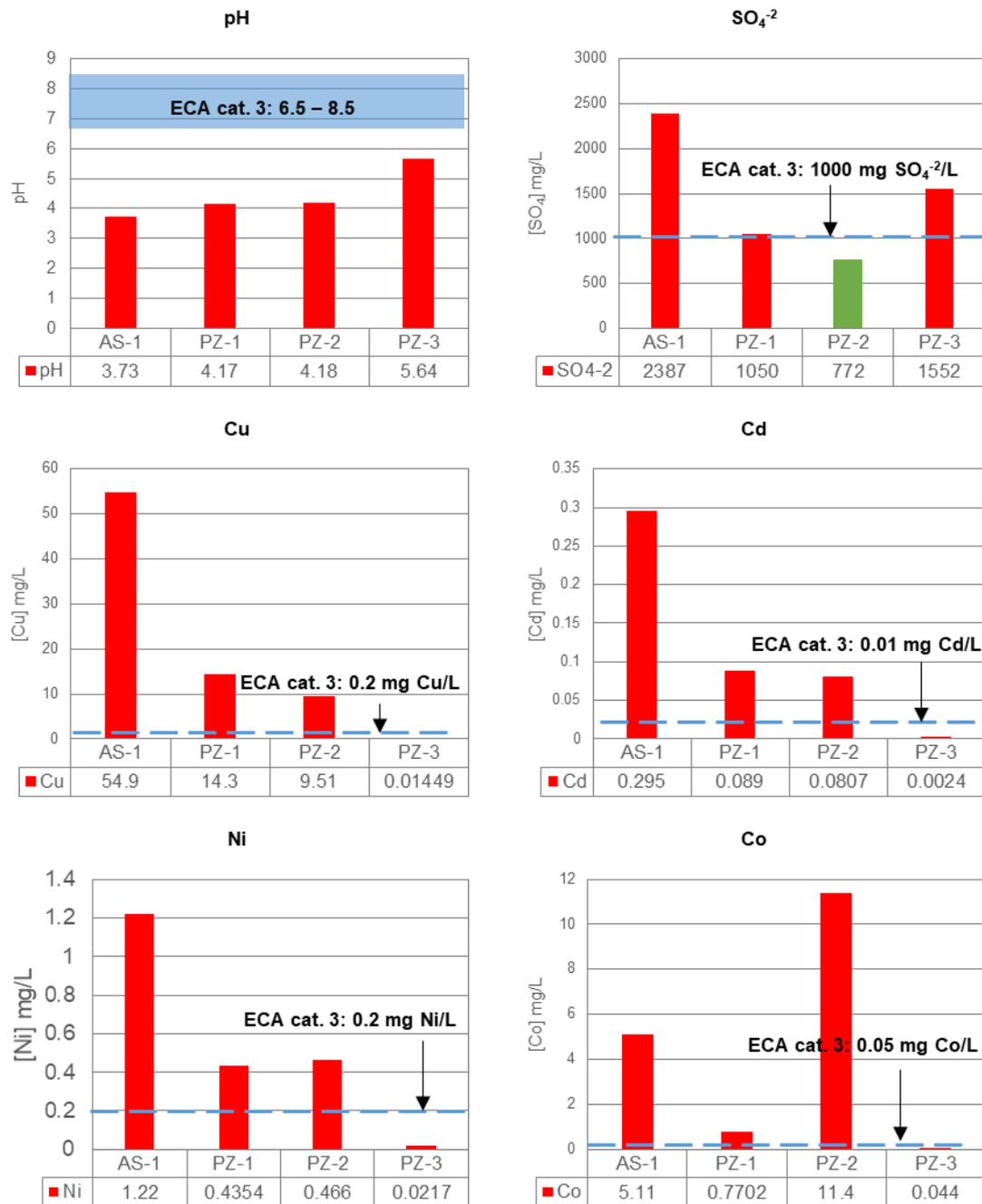


Figura 4-2. Parámetros de agua que superan los ECA peruanos (categoría 3) en muestras de agua subterránea de Los Rosales, Parte I.

NOTE: Las barras rojas significan que los resultados exceden el límite. Las barras verdes significan que los resultados cumplen con las regulaciones

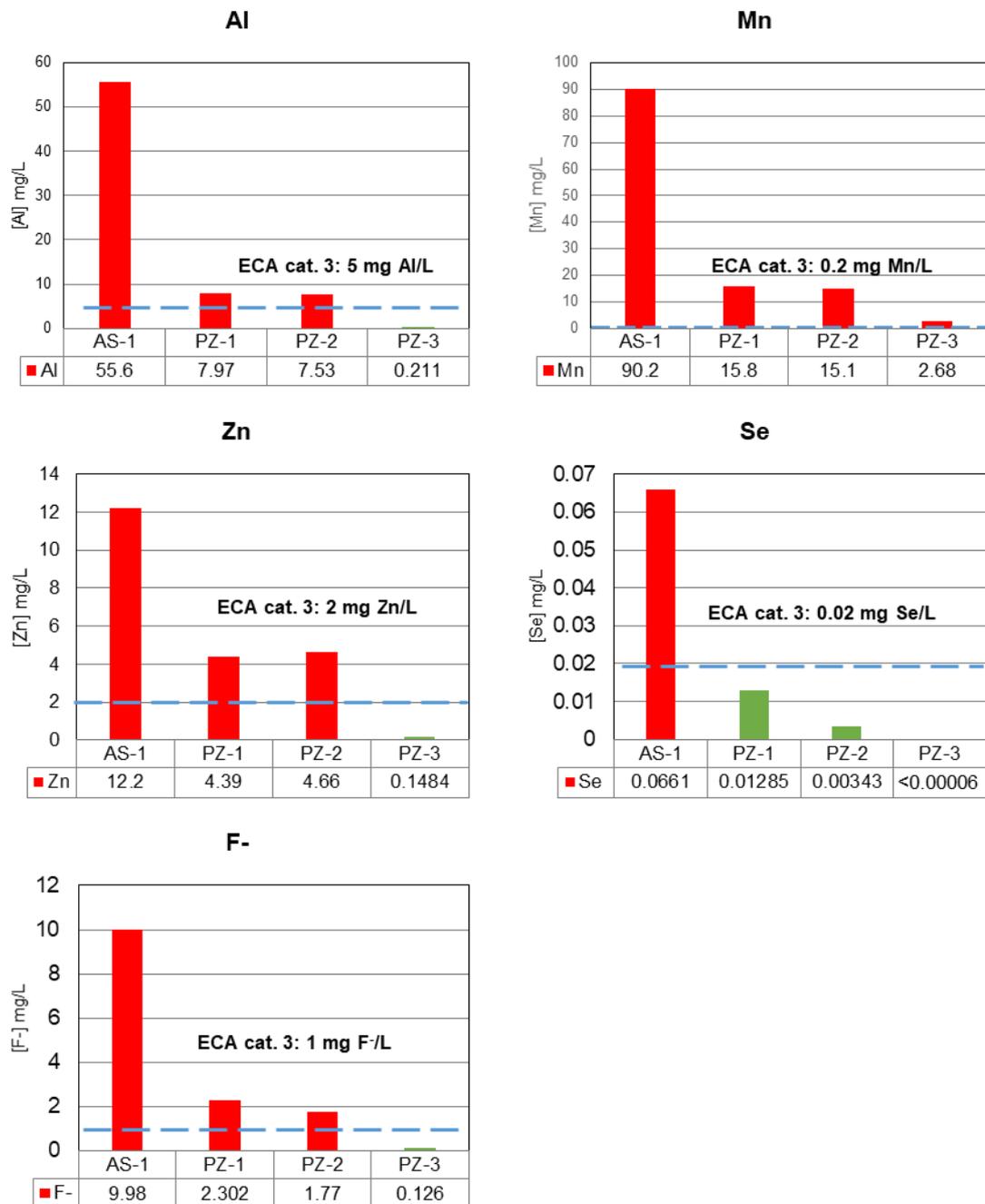


Figura 4-3. Parámetros de agua que superan los ECA peruanos (categoría 3) en muestras de agua subterránea de Los Rosales, Parte II.

NOTE: Las barras rojas significan que los resultados exceden el límite. Las barras verdes significan que los resultados cumplen con las regulaciones

Fuente: Decreto Supremo 004-2017-MINAM

- La instalación de pozos poco profundos en Los Rosales durante este proyecto permite el monitoreo de aguas subterráneas (niveles de agua y muestreo). La información geológica obtenida durante la instalación es consistente con los depósitos aluviales descritos en los mapas geológicos públicos. Las mediciones del nivel del agua subterránea muestran un aumento en los niveles desde noviembre de 2021 (**Figura 4-4**).

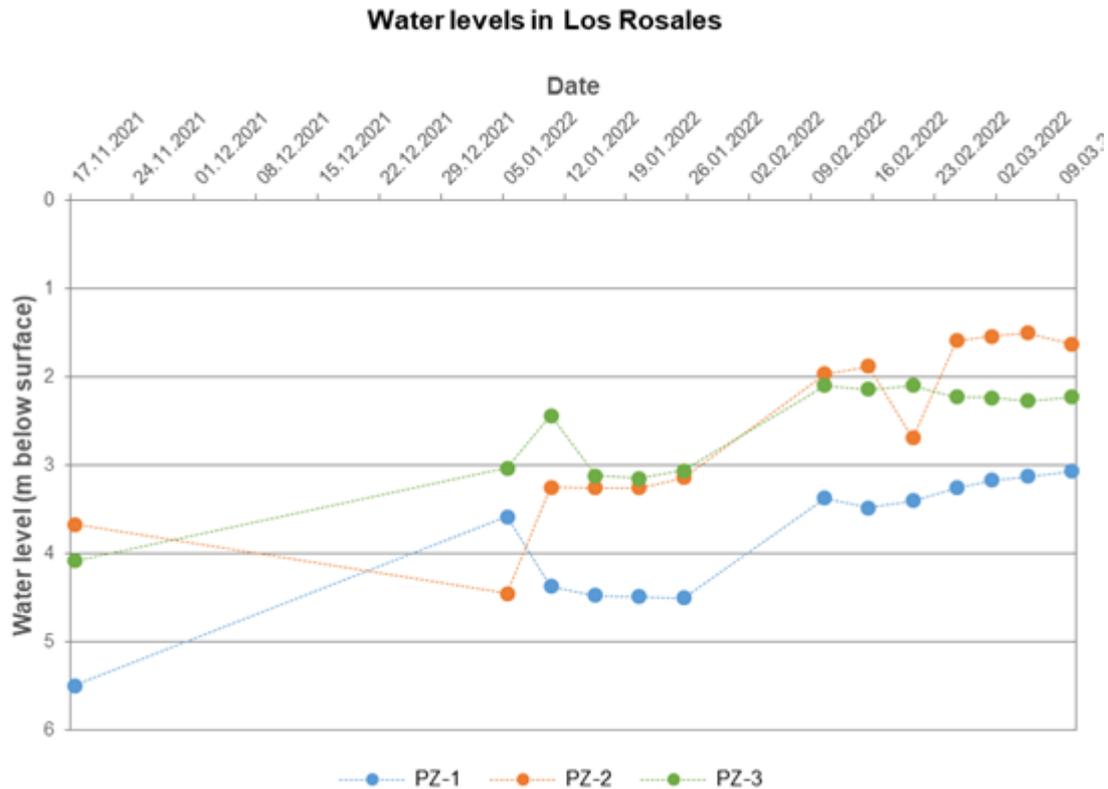


Figura 4-4. Niveles de agua medidos en pozos de monitoreo de Los Rosales

NOTE: La línea punteada no implica valores medidos.

- El levantamiento de agua en Los Rosales permitió determinar los siguientes cursos de agua en Los Rosales (**Figura 4-5**):
 - o **Agua de mina:** Agua descargada de Mina Candelaria que luego es tratada por Los Rosales. El agua tratada es finalmente descargada a un canal colector aguas abajo de Los Rosales.
 - o **Agua de escorrentía:** Se encuentran dos quebradas NO-SE limitando los relaves en Los Rosales. Estos arroyos solo están activos durante la temporada de lluvias, transportando el agua de escorrentía de las zonas elevadas a un canal colector aguas abajo de Los Rosales.
 - o **Manantial de agua:** Dos manantiales de agua se encuentran al SO de Los Rosales. El agua de estos manantiales es utilizada por Minera Los Rosales para fines de higiene en sus instalaciones. Después de ser utilizada, el agua se descarga en un estanque no sellado aguas abajo de las instalaciones.
 - o **Agua de descarga de Los Rosales:** La Compañía Minera Los Rosales construyó un canal colector ubicado aguas abajo de Los Rosales, recolectando agua de los dos arroyos, agua tratada de la mina Candelaria y descargas esporádicas de pequeños mineros ubicados aguas arriba de Los Rosales.

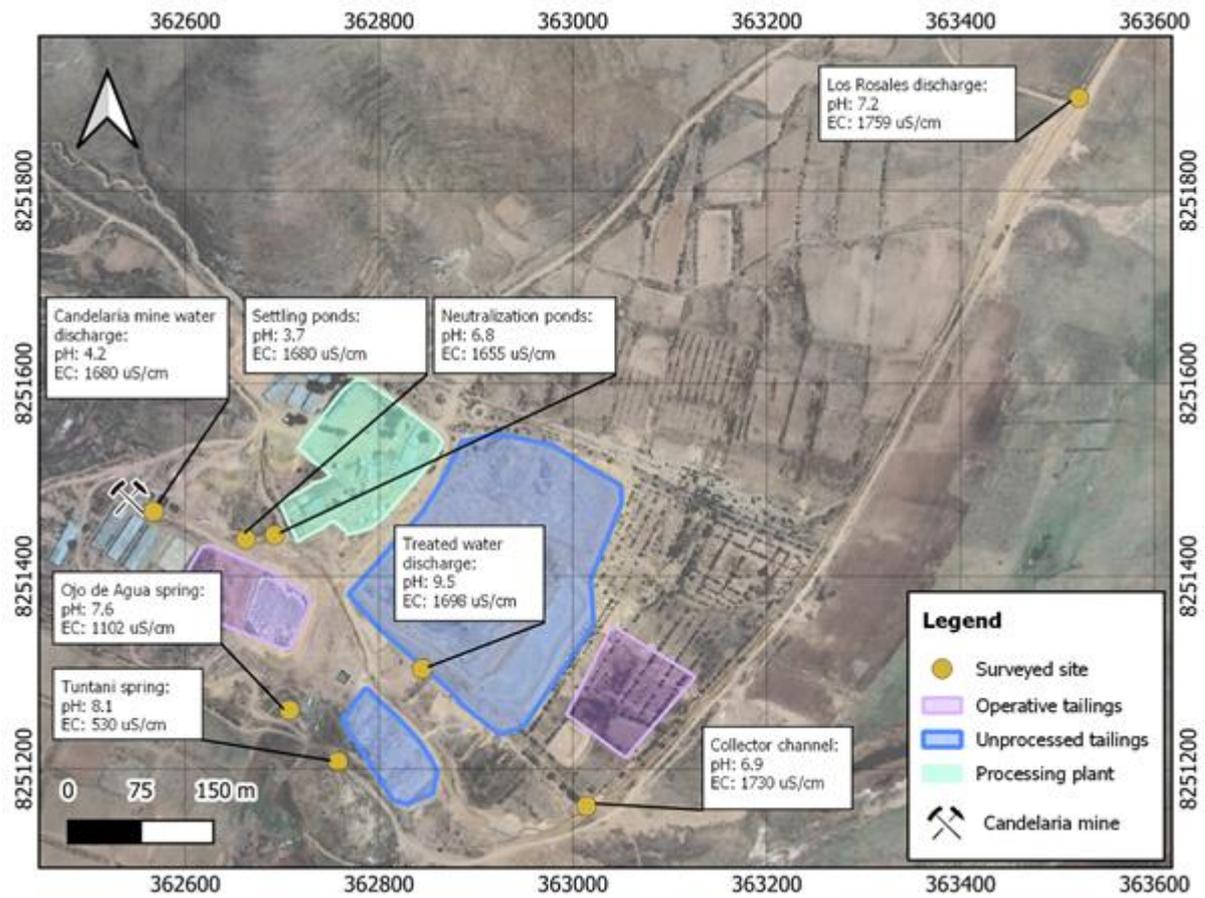


Figura 4-5. Resultados del levantamiento de agua en Los Rosales.

4.1.2 Madrigal: Investigación Orientada (OU)

Con base en los resultados de la investigación histórica, se planificó y llevó a cabo una investigación orientada durante noviembre de 2021, cuando un comité de la DGfZ visitó Madrigal para trabajo de campo. La investigación histórica indicó una calidad de agua distinta en el área de la mina Madrigal, diferente a la del río Colca, y también la presencia de relaves sin sellado superior e informes de derrumbes en el área. Los objetivos para las investigaciones orientadas fueron los siguientes:

- Obtener una caracterización de la calidad del agua en los diferentes ríos ubicados cerca de la Mina Madrigal, para evaluar el impacto de la Mina Madrigal y los relaves en la calidad del agua, y evaluar los resultados en las regulaciones peruanas.

En el **Anexo 1** se puede encontrar una descripción detallada y una discusión sobre los resultados de estas actividades.

Para ello se realizaron las siguientes actividades:

- Muestreo en 8 localidades, incluyendo el agua potable en Pueblo Madrigal. Los sitios de muestreo se muestran en la **Figura 4-6**.

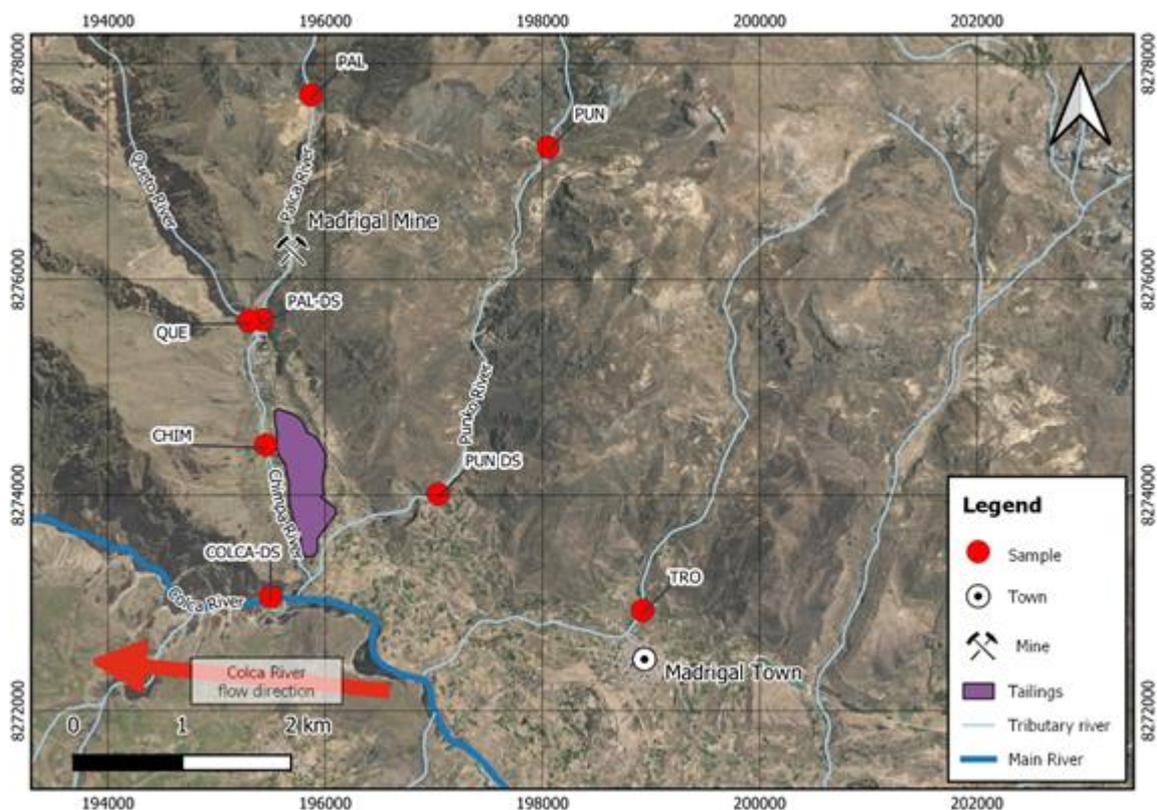


Figura 4-6. Ubicaciones de muestreo en la investigación detallada de Madrigal.

Los resultados obtenidos del muestreo en Madrigal fueron los siguientes:

- Los resultados de los parámetros analizados en los ríos Punko (aguas abajo y aguas arriba) cumplieron con los estándares de calidad ambiental de categoría 3 de la normatividad peruana. Los ríos Chimpa, Queto y Palca aguas abajo no lo hicieron (Figura 4-7).

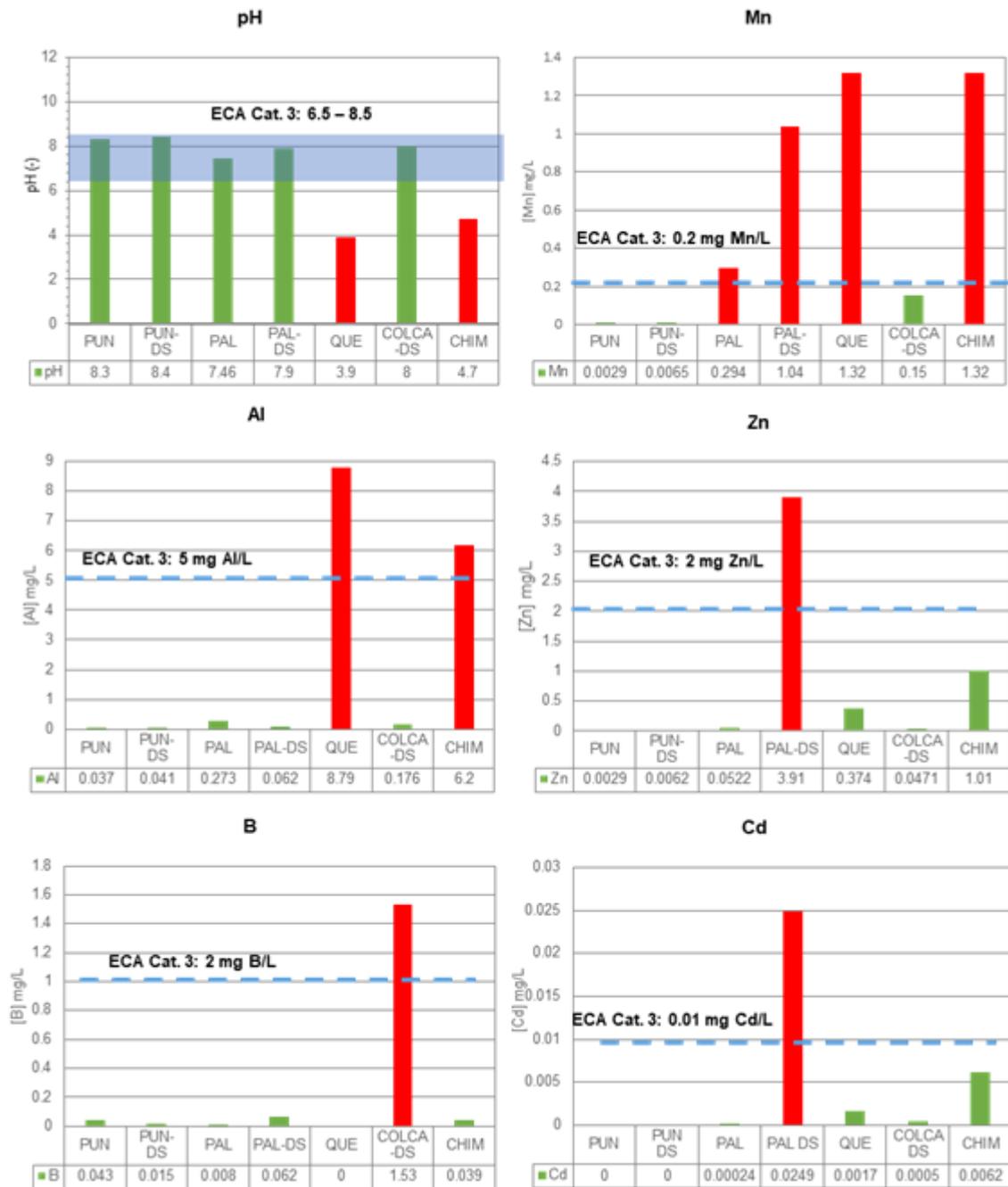


Figura 4-7. Parámetros de agua que superan los ECA peruanos en muestras de aguas subterráneas de Madrigal

NOTE: Las barras rojas significan que los resultados exceden el límite. Las barras verdes significan que los resultados cumplen con las regulaciones

Fuente: Decreto Supremo 004-2017-MINAM

- Los resultados de los parámetros analizados en el río Punko aguas arriba y el río Palca aguas arriba cumplieron con los estándares de calidad ambiental de categoría 1 de la normatividad peruana (para fuente de agua potable), mientras que los ríos Queto, Chimpa, Colca, Punko aguas abajo y Palca aguas abajo no los cumplieron. Por lo tanto, el río Palca es otra fuente potencial de agua potable para Madrigal (Figura 4-8).

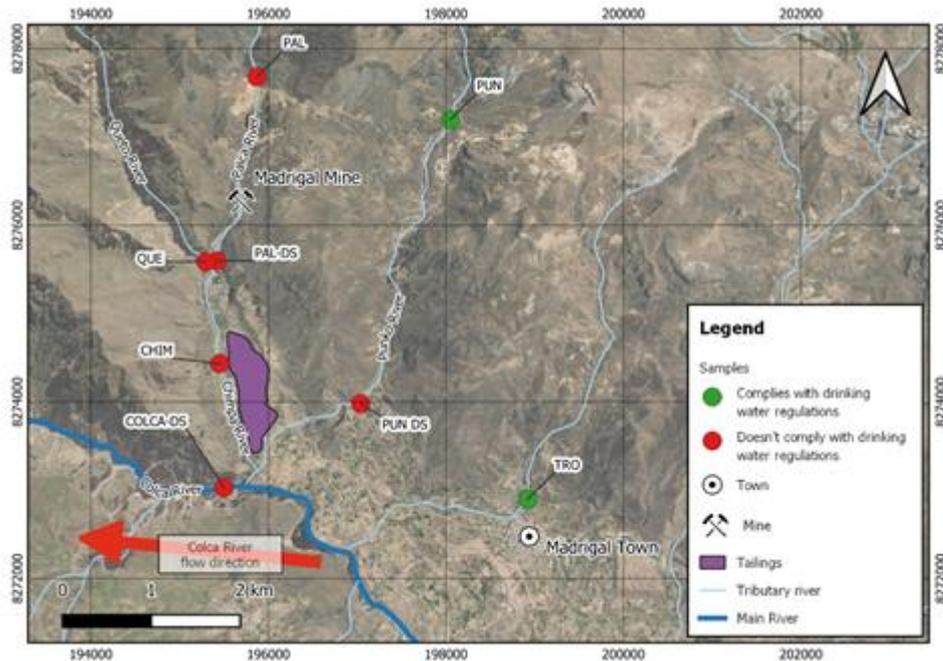


Figura 4-8. Muestras de madrigal comparadas con estándares de agua potable de Perú

- La calidad del agua de los afluentes del río Colca fue inferior a la del río Colca. Aunque se observó un aumento en las concentraciones de sulfato, manganeso y zinc en el río Palca, aguas abajo de la mina Madrigal, durante la visita se observaron otras minas subterráneas antiguas aguas arriba de la mina Madrigal con agua drenando hacia el río y también pueden contribuir a este aumento en concentraciones. Los ríos Queto y Chimpa mostraron pH bajo y altas concentraciones de sulfato, aluminio y manganeso, mientras que el río Punko mostró altas concentraciones de sulfato aguas abajo (Tabla 4-2).

Tabla 4-2. Resultados químicos de la investigación detallada de Madrigal.

	SO ₄ ⁻²	Al	B	Cd	Mn	Zn
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Agua potable de Madrigal	62	0.048	0.043	<0.00005	0.0082	<0.00004
Río Punko	50.8	0.037	0.043	<0.00005	0.0029	0.0029
Río Punko Aguas abajo	628	0.041	0.015	<0.00005	0.0065	0.0062
Río Palca	248	0.273	0.008	0.00024	0.294	0.0522
Río Palca Aguas abajo	399	0.062	0.062	0.0249	1.04	3.91
Río Queto	335	8.79	<0.002	0.0017	1.32	0.374
Río Colca	151	0.176	1.53	0.0005	0.15	0.0471
Río Chimpa	374	6.2	0.039	0.0062	1.32	1.01

4.1.3 Proyecto SAXONIA: Investigación detallada (DU) de la relavera de Davidschacht

El enfoque de la investigación se explica paso a paso en este capítulo. Las tareas de la investigación detallada de la vía del agua fueron el modelado de la recarga de agua subterránea y las condiciones de escorrentía para el área del vertedero de lodo de Davidschacht y el desarrollo de un balance hídrico. Sobre esta base, se determinaron estimaciones de las rutas de los contaminantes, una evaluación de peligros, opciones de remediación y declaraciones iniciales sobre un objetivo de remediación.

La información de este capítulo es de GEOS (2012). Encuentre conocimientos básicos sobre el complejo de Davidschacht en el **Capítulo 3.2.1**.

4.1.3.1 Modelo Conceptual y Estimación del Balance Hídrico

A partir de un modelo conceptual (**Figura 4-9**) de la relavera y sus alrededores, se realizó una estimación calificada del balance hídrico y se verificó mediante una verificación de plausibilidad. Para la verificación de la plausibilidad, se analizó posteriormente la cantidad de agua que sale del área de captación del vertedero (aguas abajo). Esto se hizo mediante la conducción de pozos, mediciones de salida de agua de pozo, determinación de puntos de goteo de agua en pozos, afloramientos de acuíferos de fisura.

Debido a las complicadas condiciones hidrológicas, esta estimación se realizó para la captación del vertedero de lodos. El botadero de lodos está compuesto por las siguientes unidades hidrológicas:

- Vertedero de lodos Davidschacht
- Presa de relaves gruesos
- Parte norte de la presa de relaves gruesos
- Área de captación restante aguas arriba del complejo de pilas de relaves

Se formaron hidrotopos a partir de estas unidades. El cálculo del área de las cuencas e hidrotopos se realizó con un programa GIS.

Al analizar el balance hídrico del área de estudio, en principio se deben considerar los siguientes flujos de agua:

Afluencia

- Recarga de agua subterránea de las diversas áreas de pilas de relaves de la cuenca
- Recarga de agua subterránea del resto de la cuenca
- Agua adicional que fluye hacia la cuenca (entrada de agua superficial "extraña", aquí: canal de agua de lluvia)

Escorrentía de las áreas de pilas de relaves

- Escorrentía cerca de la superficie en minas antiguas
- Escorrentía en niveles más profundos en antiguas operaciones mineras
- Escorrentía de la cuenca de drenaje en antiguas operaciones mineras
- Escorrentía en la parte superior de la roca o en la fisura GWL

Con base en los datos investigados, los hallazgos del sitio y los resultados de la investigación, se desarrolló un modelo de la estructura del vertedero de descarga, así como de las vías de agua y las vías de dispersión de metales pesados. Esto se muestra en la **Figura 4-9**.

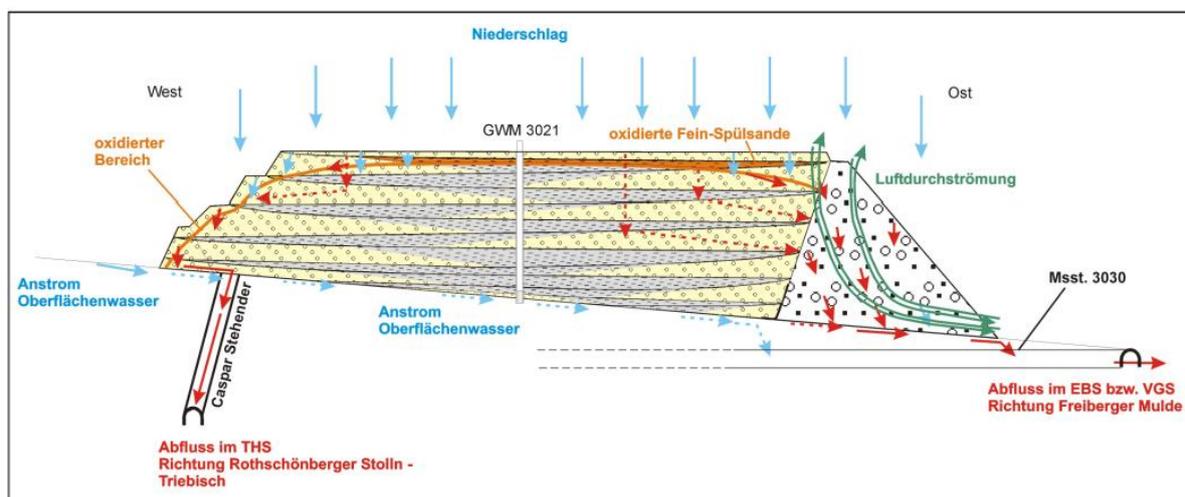


Figura 4-9. Modelo conceptual de la relavera Davidschacht

NOTA. Las vías de metal se muestran como flechas de colores. En azul: ligera contaminación, En rojo: alta contaminación.

Los resultados de la investigación muestran que

- La precipitación se filtra en el montón de lavado.
- El agua de infiltración fluye lateralmente sobre capas de baja permeabilidad.
- Las aguas absorben metales pesados, especialmente Cd, como consecuencia de la oxidación.

-
- La oxidación crea vías para el agua y el aire.
 - Las aguas de infiltración contaminadas con metales pesados son descargadas por la presa de relaves gruesos

4.1.3.2 Consideraciones de carga

No fue posible un cálculo exacto de las cargas descargadas, ya que no fue posible realizar mediciones de descarga fiables. Sin embargo, estos podrían estimarse de diferentes maneras mediante cálculos de balance: estimación a partir de la profundidad de oxidación, estimación a partir del balance hídrico y estimación a partir de las cantidades reales de agua vertida.

Los cálculos no solo proporcionaron un valor plausible de la carga de Cd, sino que la concordancia comparativamente buena de los resultados individuales también mostró que se había logrado una buena comprensión de los procesos que tenían lugar con las consideraciones anteriores. La comparación de las cargas de cadmio individuales mostró que la presa de relaves gruesos es la mayor fuente de Cd. Las emisiones de los relaves de lavado son ligeramente más bajas y las de la represa de relaves gruesos son mucho más bajas. Un total de 187 kg de cadmio se descarga anualmente de todo el complejo del pozo David.

Para detalles sobre el cálculo, ver G.E.O.S. (2012).

4.1.3.3 Vías de dispersión y objetos de protección afectados

Agua Superficial: Se desarrolló un modelo de la estructura del vertedero de lodos, así como de las vías de agua y de dispersión de metales pesados. Se pudo comprobar que la dispersión de los contaminantes ocurre principalmente con los lixiviados. Las vías de transporte incluyen derivas de antiguas operaciones mineras, fisuras naturales y zonas de fallas, y la zona de reemplazo de gneis. Debido a estas condiciones, la mayor parte de los elementos disueltos en el agua de infiltración llegan al sinclinal de Freiberg y, en menor medida, al río *Triebisch* a través del pozo *Rothschönberger Stolln*.

Así, se puede afirmar que el recurso protegido aguas superficiales se ve afectado por la dispersión de los contaminantes movilizados en el botadero de lodos. Con el agua superficial, los contaminantes se transportan más en forma disuelta y como materia suspendida y finalmente se depositan en el río o llanura aluvial unidos al sedimento. Los efectos de los vertidos de metales pesados de los antiguos legados mineros sajones pueden detectarse hasta el puerto de Hamburgo.

Aguas subterráneas: En el tramo inmediatamente inferior al botadero de lodos, también se producen impactos sobre las aguas subterráneas como recurso protegido. El transporte del agua de infiltración formada en la zona de la relavera se realiza inicialmente en la zona de meteorización por encima de la roca madre. En este proceso, los pozos de la antigua mina actúan como sistemas de drenaje que absorben una parte importante del agua de infiltración contaminada. La parte restante de la filtración continúa migrando en la zona de percolación, drena en secciones en la zanja Roter Graben o la inunda y luego llega al sinclinal de Freiberg a través de los sedimentos fluviales depositados en la llanura aluvial. De esta forma, toda la carga contaminante se libera a las aguas superficiales, en parte de forma selectiva y en parte de forma difusa. En el área aguas abajo del complejo del sitio de Davidschacht y en un área parcial de la llanura aluvial, se puede determinar un peligro localizado de las aguas

subterráneas como objeto de protección debido a la presente contaminación por metales pesados.

Otras vías de dispersión: En la medida de lo posible, puede excluirse una dispersión de contaminantes por erosión del suelo y viento.

4.1.3.4 Evaluación de riesgos

Sustancia peligrosa: Las aguas de infiltración que se forman en el área del vertedero de lodos, la presa de relaves gruesos y la pila de relaves gruesos están contaminadas principalmente con As, Al, Cd, Zn y algunos otros metales pesados. El cadmio ocupa una posición dominante debido a:

- Su toxicidad,
- Las altas concentraciones y cargas encontradas en el agua de infiltración, así como
- El comportamiento de este elemento en el medio ambiente.

Los cálculos de carga se usaron para la evaluación de riesgos y se discutieron para todas las vías de agua. A partir de las consideraciones, la derivación de la necesidad de acción es la siguiente:

Los cálculos de carga se utilizaron para la evaluación de riesgos y se analizaron para todas las vías de agua. A partir de las consideraciones, la derivación de la necesidad de actuación es la siguiente:

- Las cargas de Cd descargadas en el río *Freiberg Mulde* son detectables en todo el sistema fluvial, aparentemente hasta el puerto de la ciudad de Hamburgo. De la peligrosidad sustancial del Cd y su transporte en el sistema fluvial resulta la necesidad de reducir el aporte.
- Mediante la remediación del vertedero de lodos, es posible una reducción notable de las cargas de Cd descargadas. La necesidad de remediación surge así como consecuencia de las reducciones de carga necesarias que deben lograrse en el río *Freiberg Mulde* por ley.

4.1.3.5 Opciones de remediación para la relavera Davidschacht

Las siguientes opciones de remediación se discutirán de manera concluyente en una investigación de remediación posterior.

Los resultados de la investigación muestran que la relavera Davidschacht es una fuente importante de metales pesados, especialmente cadmio. Las emisiones de cadmio del material de descarga de lodos son causadas por una combinación de dos procesos:

- Oxidación de los minerales residuales en el material de la pila de relaves por la entrada de oxígeno y agua.
- Lixiviación y remoción de los metales pesados movilizados con las aguas de infiltración de salida.

Por lo tanto, las emisiones de metales pesados pueden reducirse impidiendo el acceso de oxígeno por un lado y el acceso de agua por el otro. Además, la remediación puede atacar básicamente en dos puntos:

- Remediación de la fuente contaminante (pila de relaves)

- Remediación de la vía de dispersión (vía del agua)

Remediación del Manantial

- Evitar que el agua de lluvia entre por el alcantarillado pluvial.
- Recubrimiento o sellado de la vertiente occidental y la meseta para reducir la recarga de aguas subterráneas. Además, esto evita en gran medida la penetración de oxígeno y, por lo tanto, también el proceso de liberación de contaminantes. De acuerdo con el estado de la técnica, el sellado se puede lograr mediante las siguientes medidas:
 - o Perfilado de la meseta, alineamiento con la meseta de la presa de relaves gruesos (aprox. 8 m) mediante aplicación de materiales adecuados (residuos de construcción, tierra excavada) y creación del talud necesario.
 - o Relleno del talud oeste y creación de talud adecuado.
 - o Aplicación de un sellado.
 - o Capa de drenaje
 - o Capa de cultivo
 - o Revegetación adecuada
 - o Drenaje regulado de aguas superficiales, integración en el sistema de drenaje Davidschacht.

Remediación de la ruta de propagación

Además de la remediación de la Fuente, la remediación también puede realizarse en la vía del agua. En este caso, las corrientes parciales de agua de la mina deben separarse previamente:

- Separación de corrientes parciales débilmente contaminadas, descarga en el río *Freiberg Mulde*.
- Combinando las corrientes parciales con mayor carga contaminante.
- Tratamiento de estas corrientes parciales.
- Construcción de un muro reactivo debajo de la presa de relaves gruesos y la pila de relaves gruesos, que se une al gneis in situ y recoge la escorrentía de aguas subterráneas cerca de la superficie en la zona de reemplazo

4.1.3.6 Metas de remediación

En general: Los objetivos de remediación generalmente deben basarse en la factibilidad técnica de las medidas de remediación y en el principio de proporcionalidad. La proporcionalidad no es una cuestión científica o técnica, sino principalmente una categoría jurídica que abarca la conveniencia, idoneidad, adecuación y necesidad de una medida. Debido a que no existe una metodología general y fácilmente aplicable para determinar la proporcionalidad, el proceso de determinación de los objetivos de remediación suele ser un proceso iterativo de varios pasos.

El valor objetivo de remediación preliminar derivado de la investigación detallada para la relavera Davidschacht es una reducción de las emisiones de Cd (carga) de ≥ 80 %. Esta reducción se logra utilizando el grupo de cubierta "B" con una capa aislante de materiales de construcción minerales (valor $k_f \ll 10^{-7}$ m/s, correspondiente a una reducción de la permeabilidad en comparación con la arena de lavado por al menos un factor de 100; véase

también el **Capítulo 4.2.2**), que por un lado reduce la cantidad de lixiviado y por otro impide el acceso de oxígeno. Esto elimina los dos componentes principales más importantes para la liberación de contaminantes del vertedero de lodos.

El valor objetivo de la remediación debe especificarse mediante una investigación de remediación y verificarse mediante modelos, así como investigaciones experimentales especiales (p. ej., pronóstico de lixiviados).

4.1.3.7 Recomendaciones para los impactos del agua y para un seguimiento de la remediación

La remediación de la relavera tiene como objetivo principal reducir las entradas de agua y oxígeno. Si se reducen, esto puede afectar las emisiones de metales pesados de varias maneras. Si continúan actuando los procesos de oxidación, se elimina el efecto diluyente del ingreso de agua de infiltración, es decir, aumentan las concentraciones y disminuyen las cargas. Si se cierran varios caminos de agua, el efecto de dilución también se elimina allí y las concentraciones permanecen iguales o disminuyen ligeramente, las cargas también disminuyen. **Por lo tanto, es esencial monitorear las cargas de metales pesados.** Pueden pasar varios años hasta que estas cargas se reduzcan visiblemente. Se debe realizar un monitoreo en sitios de monitoreo lo más cerca posible de la superficie, donde se miden tanto las concentraciones de metales pesados como las tasas de flujo. **El monitoreo de la remediación debe comenzar dos años antes del inicio de la acción de remediación para obtener suficientes datos sobre la condición de línea de base.** Se sugiere un ciclo de medición semestral (períodos húmedo y seco).

4.2 Saneamiento de zonas mineras cerradas y rehabilitación de cuencas hidrográficas

“Remediación en el sentido de esta Ley son medidas que previenen o reducen la propagación de contaminantes a largo plazo sin eliminar los contaminantes (salvaguardas)”.
[BBodSchG, §2 (7) No. 2]

Los procedimientos de salvaguardas previenen la liberación (emisiones y transmisiones) de contaminantes gaseosos, líquidos o sólidos o el contacto humano directo con el sitio contaminado. Sin embargo, a diferencia de la descontaminación, los contaminantes permanecen (asegurados) en el sitio. Los ejemplos son

- Sellado de la superficie (para evitar la emisión de gas, el contacto directo con humanos o para evitar que el agua ingrese al sitio),
- Procedimientos de inmovilización (mezcla de materiales aglutinantes para fijar los contaminantes),
- La construcción de pozos de barrera en las aguas subterráneas, así como
- La construcción de sistemas de sellado vertical (por ejemplo, muros pantalla).

Las salvaguardas suelen ser más rentables a corto plazo que la descontaminación. Sin embargo, queda un riesgo residual que debe ser monitoreado. Si el efecto de fijación disminuye, debe restaurarse como parte del cuidado posterior. Las medidas y los costos a largo plazo deben tenerse en cuenta en el desarrollo de escenarios de remediación (LfULG, 2003).

4.2.1 Sitio de extracción de uranio Königstein

4.2.1.1 Inundaciones Controladas

Debido a la compleja situación de la extracción de uranio por lixiviación, las inundaciones inmediatas eran un riesgo ambiental demasiado grande. Por esta razón, a partir de 1991 se desarrolló un concepto para inundar la mina Königstein. Diez años después, se pudo iniciar la inundación controlada de la mina.

En enero de 2013 se completó la inundación de la subárea I previamente aprobada - represamiento del tajo hasta un máximo de 140 m sobre el nivel del mar- con una cota de inundación de 139.5 m sobre el nivel medio del mar. En la actualidad, el nivel de inundación debe mantenerse en < 140 m sobre el nivel del mar. Esto significa que, hasta el momento, solo se ha inundado aproximadamente la mitad del volumen total del tajo. El nivel del agua de la inundación se controla mediante la extracción del agua de la inundación a través de dos pozos de 300 m de profundidad.

El agua de la inundación se trata en una planta de tratamiento. Después de la separación del uranio disuelto, el agua se alimenta a una planta de tratamiento de agua antes de verterla al río Elba. Este proceso es necesario hasta que no se pueda esperar una influencia significativa en los acuíferos y en el río Elba.

Debido a la situación actual de aprobación, el tratamiento de aguas de inundación del mismo orden de magnitud que antes seguirá siendo necesario por un período de tiempo indefinido.

El objetivo a largo plazo es la inundación completa del tajo a un nivel de unos 200 m sobre el nivel medio del mar como antes de la explotación minera.

4.2.1.2 Inundaciones de labores subterráneas

Cuando se interrumpió la lixiviación de uranio, faltaban tanto las investigaciones científicas preliminares como los valores límite y de descarga aprobados para los contaminantes en las aguas subterráneas y receptoras. Bajo estas circunstancias, la protección del tercer acuífero tenía máxima prioridad para Wismut GmbH de acuerdo con el público en el concepto de remediación de 1991.

Este objetivo básico debe lograrse esencialmente mediante la restauración extensiva del cuarto acuífero y la mayor prevención posible de la subida de las aguas de la inundación al tercer acuífero. Al mismo tiempo, debería ser posible tanto un control constante como una influencia activa constante en el proceso de inundación.

En el pozo de Königstein existe un potencial contaminante considerable, que se moviliza en el curso de ciertas variantes de almacenamiento y puede salir del espacio actual del pozo. Como resultado de esta liberación de sustancias desde el espacio del pozo, es posible que se produzca una condición en el área subterránea alrededor del pozo durante un período de tiempo más prolongado (varias generaciones) que no corresponda ni al estado actual ni al estado anterior. el comienzo de la extracción de mineral de uranio. Por estas razones, generalmente no fue posible la inundación inmediata o el relleno del pozo. Para la custodia del pozo, se desarrollaron varias variantes básicas durante varios años a través de trabajos de investigación basados en experimentos locales y recomendaciones de expertos. Este enfoque condujo a soluciones técnicas, ecológicas y comerciales constantemente mejoradas.

El consenso general de Wismut, las autoridades involucradas y sus expertos es que la rehabilitación del depósito de Königstein solo puede lograrse mediante inundaciones. En el transcurso del proceso de aprobación y evaluación, las consideraciones se centraron, entre otras cosas, en investigar formas de acelerar el proceso de inundación manteniendo el objetivo básico de "evitar la contaminación inaceptable del tercer acuífero".

Después de una extensa discusión de variantes sobre la base de los conceptos de rehabilitación de Wismut GmbH con las autoridades involucradas y sus expertos, se derivaron seis variantes básicas para la protección del pozo:

- Variante 0 Inundación inmediata no controlada,
- Variante A Inundaciones inmediatas no controladas con cortocircuito hidráulico al río Elba,
- Variante B Inundaciones controladas por etapas hasta la altura del embalse de 190 m sobre el nivel medio del mar,
- Variante B 1 Inundación controlada por etapas hasta la altura del embalse de 250 m sobre el nivel medio del mar,
- Variante B 2 Inundaciones controladas hasta la altura del embalse de 140 m sobre el nivel medio del mar,
- Variante C Inundaciones controladas hasta la altura del embalse de 140 m sobre el nivel medio del mar con tratamiento de agua en las instalaciones de la empresa y drenaje a largo plazo a través de un túnel del Elba.

Con base en la comparación de las variantes básicas, las declaraciones de expertos y oficiales disponibles, así como las discusiones de coordinación realizadas para este propósito, se consideraron y evaluaron variantes de implementación, que en principio son aptas para aprobación y técnica y tecnológicamente factibles en consenso con las partes. a las diligencias. Con la ayuda de una evaluación de atributos múltiples, se intentó tener en cuenta todos los posibles parámetros de influencia, la información disponible, las incertidumbres existentes, los riesgos, los diferentes períodos de tiempo, los riesgos para la salud y los aspectos publicitarios relevantes. En la evaluación multiatributo, las consecuencias esperadas de las variantes de custodia con respecto a los criterios de evaluación se expresaron en unidades de costo utilizando tradeoffs (relaciones de intercambio, valores de compensación). Por lo tanto, la comparación de las variantes entre sí se basó en sus costos equivalentes.

La variante básica de inundación inmediata no contempla ninguna otra medida de precaución con respecto a la prevención o reducción de la salida de elementos contaminantes o elementos del pozo durante la inundación. El objetivo de las otras variantes es lograr una reducción en la salida de elementos del pozo utilizando diferentes procesos técnicos. Estas diferentes variantes también pueden estar sujetas a ciertos requisitos destinados a cumplir con los valores guía o límite. Para garantizar una comparabilidad integral de las variantes, se definieron variantes de recaída. Se trata de medidas que, tras la inundación de la mina Königstein, resultan de un exceso de cargas tolerables sobre los activos protegidos y que representan una influencia técnica en el régimen hidráulico o geoquímico de la mina que va más allá de la variante de inundación originalmente prevista.

Como resultado de las conversaciones de coordinación en 1997 entre Wismut GmbH y las autoridades involucradas y sus expertos sobre el estado de la inundación de la mina Königstein, se puede afirmar:

- La necesidad general de inundar la mina Königstein no está en duda,
- Se reconoce prácticamente la existencia y eficacia de las rutas de control, se tuvo que completar el sistema de rutas de control,
- La inundación debe ser detenible,
- Las inundaciones pueden aprobarse inicialmente hasta un nivel de embalse en el que aún no se produzca la contaminación del tercer acuífero,
- Con el fin de aumentar el conocimiento y perfeccionar los parámetros y datos, se llevará a cabo un segundo experimento de inundación ampliado con investigaciones de campo y de laboratorio que incluyan el almacenamiento de chatarra y el lavado paso a paso de cada bloque de material rocoso y su posterior inmovilización. Se realizarán mejoras sustanciales para describir la evolución dependiente del medio ambiente del potencial contaminante, sus efectos y la selección y justificación de las medidas de apoyo.
- Se tuvo que mantener la capacidad de limpieza del agua para el agua ácida de la mina,
- La inundación del pozo planificada después del experimento de inundación requirió un nuevo permiso por separado. Durante el mismo período, Wismut GmbH podría solicitar una nueva planta de tratamiento de agua

Las variantes básicas 0, A, B y B 1 son menos favorables en la comparación de variantes en comparación con las variantes básicas B 2 y C. Las variantes B 2 y C como variantes de una inundación controlada son casi idénticas en los primeros años de inundación, para que en cualquier caso se pueda iniciar una inundación controlada del pozo. La decisión de construir una descarga directa de agua de inundación en el río Elba tuvo que tomarse más tarde.

Se desarrolló un sistema especial de monitoreo de inundaciones subterráneas para el método elegido "inundación controlada con sistema de ruta de control". El enfoque principal fue/es la recopilación de datos cuantitativos y cualitativos de la trayectoria del agua y el aire, así como de las condiciones geo hidráulicas, geotécnicas y geoquímicas en el curso de la inundación.

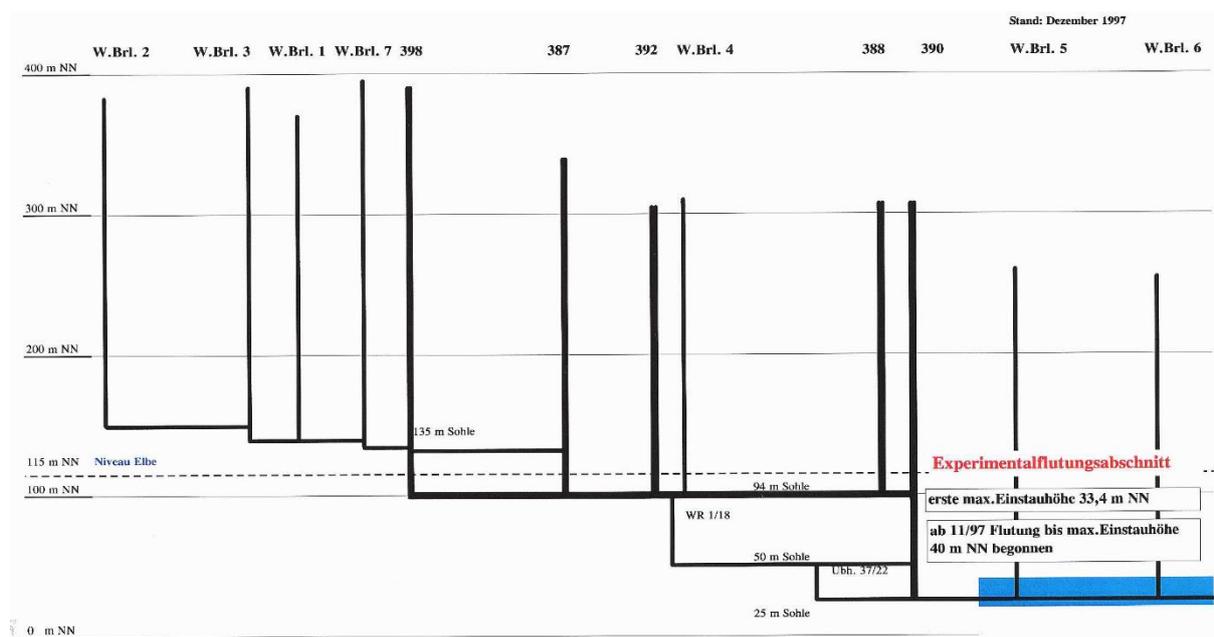


Figura 4-10. Vista general de los pozos y secciones de inundación de la mina de Königstein (a partir de 1997).

Fuente: Chronicle Wismut

4.2.1.3 Remediación de vertederos mineros y de producción

La creación del vertedero de desechos de minería y producción en Schüsselgrund se llevó a cabo de acuerdo con los requisitos del Área de Conservación del Paisaje de la Suiza Sajona. Después de eso, no se pudieron construir montones de conos en esta área. La construcción del vertedero tuvo que llevarse a cabo de tal manera que, al comienzo del relleno en una sección más alta de la meseta del vertedero respectivo, las bermas inferiores se cubrieron de acuerdo con las normas confirmadas y se volvieron reutilizables para uso forestal. al plantar.

El vertedero minero y de producción tiene un área de contacto de 24.5 ha, de las cuales 7.8 ha son terraplenes, y un volumen de aprox. 3.3 – 3.4 millones de metros cúbicos. Al vertedero se transfirieron principalmente roca procedente de la minería y mena pobre lixiviada, así como otros materiales contaminados radiactivamente (tortas de filtración, lodos, excavaciones del suelo y masas de demolición). Los materiales radiactivos resultantes de la remediación subterránea y superficial adicional también se depositaron y aún se depositan en el vertedero de Schüsselgrund.

Según un proyecto adicional relacionado con el vertedero de minería y producción de Schüsselgrund de 1988, hasta ahora se han plantado entre 16,000 y 20,000 árboles, por lo que las bermas inferiores ya tienen un carácter preforestal. En el vertedero, los terraplenes y las bermas, incluidas las captaciones de agua, se perfilaron y reconstruyeron a la altura final prevista, los terraplenes se cubrieron y reverdecieron. Hacia las instalaciones de la empresa, se rediseñaron las vías de transporte del material de cobertura para lograr una separación clara entre el área de botaderos contaminados y las instalaciones de la empresa no contaminadas.

Las aguas de infiltración del vertedero de Schüsselgrund se recogían/recogen a través de la balsa revestida de láminas situada al pie del vertedero. A través de una tubería subterránea resistente a los ácidos hasta un pozo de sondeo y otra tubería resistente a los ácidos -sellada a la roca con hormigón especial-, las aguas de infiltración del vertedero se vertían subterráneamente en la explotación minera designada y se conducían a las aguas subterráneas de la mina para su limpieza

Los vertederos de desechos de minería y producción más pequeños, que se depositaron principalmente con el hundimiento de pozos, ya se volvieron reutilizables antes del cese de la extracción de uranio en 1990 y se entregaron al consejo del distrito de Dresde.

Tabla 4-3. Alcance de los trabajos de remediación en vertederos mineros de ambas partes operativas de la operación de remediación Königstein

Tarea	Unidad	Alcance total	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	sum, 91/97
Retiro de material	10 ³ m ³	167	9	36	7	7	---	---	108	167
Relleno de material	10 ³ m ³	1,526	140	180	20	86	56	82	140	704
Cubertura	10 ³ m ³	667	28	22	-	10	11	7	1	79
Perfilado	10 ³ m ³	307	---	74	13	46	24	13	19	189
Área rehabilitada	ha	45	9	---	---	1	1	1	---	12
Sistema de recolección de agua	10 ³ m ³	300	26	26	20	19	25	22	12	150

Fuente: Chronicle WISMUT

4.2.1.4 Custodia de labores mineras subterráneas

Las autoridades, así como equipos de expertos nacionales e internacionales, desarrollaron, evaluaron y analizaron un gran número de instalaciones de custodia para minas subterráneas. Después de varios años de investigaciones científicas y técnicas y trabajos experimentales realizados, la opción "Inundaciones controladas y escalonadas con seguimiento subterráneo por un sistema de sección de control" fue examinada por las autoridades y confirmada en sus principales características.

Se rechazó la solicitud de Wismut GmbH para disponer de los minerales producidos en el campo del tajo suroeste como resultado de la contracción necesaria para detener las voladuras utilizando el método de lixiviación anterior para evitar una mayor contaminación posterior en el agua de la inundación debido a los compuestos de uranio fácilmente solubles. por las autoridades

La característica especial de la elección del método de custodia de las minas subterráneas fue completar sustancialmente la posible liberación de contaminantes en el contexto del proceso de inundación antes de la inundación final. Por lo tanto, las conexiones existentes entre el campo del tajo y el acuífero han sido y aún son prevenidas mediante el sellado. Dentro de un sistema de sección de control, se construyeron estructuras de presas para controlar la naturaleza del curso de agua de inundación y para evitar la posible salida de agua de inundación contaminada con contaminantes. El sistema de la sección de control está separado del resto de los trabajos subterráneos de la mina para influir en el proceso de inundación desde una estructura de la mina aún accesible y segura.

Del volumen total del depósito de aproximadamente 247 millones de metros cúbicos, aproximadamente 55 millones de metros cúbicos de roca fueron influenciados activamente por la lixiviación con ácido sulfúrico. Para la lixiviación de las rocas se utilizaron unas 120.000 toneladas de ácido sulfúrico de diferente calidad. La concentración de ácido sulfúrico en la solución circulante fue de aproximadamente 2 a 3 g/L. Los cálculos mostraron que en el volumen poroso existente de la roca había alrededor de 1,9 millones de metros cúbicos de agua acidificada, que fueron introducidos por el proceso de lixiviación.

Los experimentos de inundación realizados desde 1993 en una subárea del yacimiento confirmaron los parámetros previstos. Al represar las aguas geológicas entrantes en el volumen de poros de las rocas, la acumulación se reguló de tal manera que las condiciones de flujo son análogas a la situación que ocurrirá con la inundación total del pozo. El agua contaminada se alimenta al tratamiento de agua.

Paralelamente a la construcción de instalaciones para inundación controlada, se continuaron los trabajos de disposición de sustancias peligrosas de contaminación de grasas y aceites, así como la inserción de rellenos en fosas para estabilización mecánica de rocas en el área de zonas de debilidad geológica (zonas de arena y basaltoide).

Dependiendo de las capacidades técnicas existentes y de las posibilidades concretas del subsuelo, se dispusieron entre $80 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ y $100 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ de solución ácida.

Otros puntos focales del trabajo de rehabilitación subterránea fueron la protección/taponamiento (= obstrucción) de la gran cantidad de perforaciones, así como la perforación de orificios de drenaje en el sistema de la sección de control para el lavado previsto de los trabajos subterráneos de la mina.

4.2.1.5 Desmantelamiento de las instalaciones operativas y rehabilitación de las áreas operativas

El desmantelamiento de las instalaciones operativas tras el cese de la extracción de uranio en este sitio estuvo directamente determinado por el proceso de destrucción de la solución ácida en el ciclo y el método de inundación del yacimiento a utilizar.

El desmantelamiento de equipos y la demolición de edificios y plantas contaminados radiactivamente se llevó a cabo en paralelo con los trabajos de rehabilitación minera.

Por ejemplo, principalmente las instalaciones y edificios operativos que no estuvieran relacionados con el ciclo químico y la inundación del depósito podrían ser desmantelados y demolidos en un primer momento. Debido al tamaño y complejidad de los edificios, plantas e instalaciones, los trabajos de desmantelamiento y demolición fueron licitados y realizados por empresas especializadas. El material radiactivo contaminado fue/es almacenado en el vertedero de desechos mineros de Schüsselgrund con el permiso de las autoridades.

Las plantas del ciclo químico se redujeron según las capacidades anuales necesarias o se reconstruyeron y adaptaron a medidas técnicas de requerimientos oficiales. La destrucción anual de la solución ácida y la limpieza necesaria del agua radiactiva de la mina dieron como resultado un intermedio que contenía uranio que se entregó para su tratamiento posterior. El alcance del tratamiento/limpieza de agua estimado se muestra en la **Tabla 4-4**.

Tabla 4-4. Tratamiento y descarga de agua en el sitio de Königstein

Tarea	Unidad	Alcance total	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	sum, 91/97
Agua tratada	10 ³ m ³	163,340	7,520	7,463	7,316	6,823	6,040	5,255	4,823	45,240
Agua de descarga	10 ³ m ³	94,815	6,473	6,654	6,303	6,064	5,498	4,812	5,641	41,445
Formación de lodos	m	23,960	3,357	5,157	2,219	1,224	664	892	394	13,907
Eliminación de lodos	m ³	429	48	50	29	34	25	23	25	234

Fuente: Chronicle WISMUT

El área operativa del sitio de Königstein cubría un total de 160 ha y consistía en:

- Vertederos de residuos de minería y producción: aprox. 38.5 ha,
- Base de asentamiento: aprox. 2.3 ha,
- Instalaciones operativas, incluida la mina a cielo abierto de arena Struppen-Nauendorf, así como áreas para perforaciones, para inyección de relleno: aprox. 120 ha.

Todas las áreas fueron examinadas, muestreadas y evaluadas mediante mediciones de la tasa de dosis local en el marco del registro ambiental creado por Wismut. En particular, las áreas de las instalaciones operativas en el área operativa principal en el eje 388/390 y en la estación de Rottwerndorf, que se utilizaron para actividades de extracción y procesamiento con sus diversos procesos, son radiactivas y/o contaminadas de forma múltiple. Para áreas seleccionadas, como dentro del complejo de lixiviación de minerales y tratamiento de agua, se exploró la trayectoria del suelo mediante un muestreo de ventana dinámica o perforación con varilla de apoyo para determinar el rango de profundidad de las condiciones radiométricas y químicas de los contaminantes.

Tabla 4-5. Alcance de la remediación de áreas para ambos sitios

Definición	Unidad	Alcance total	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	sum 91/97
Retiro de material	10 ³ m ³	480	18	48	18	16	11	19	5	135
Relleno de material	10 ³ m ³	375	4	20	9	11	16	13	4	77
Perfilado	10 ³ m ³	95	---	22	7	---	1	5	3	38
Área rehabilitada	ha	74	---	1	1	1	---	1	---	4

Fuente: Chronicle WISMUT

El trabajo de rehabilitación de terrenos iniciado en la década de 1990 se lleva a cabo de acuerdo con los principios de protección radiológica de la Comisión de Protección Radiológica y de acuerdo con las regulaciones del Área de Conservación del Paisaje de la Suiza Sajona. Se han iniciado los trabajos preparatorios para la rehabilitación de las balsas de decantación y sus áreas.



Figura 4-11. Izquierda Demolición del complejo de pozos 388/390 (Königstein, 2014);
derecho de desmontaje de la bancada del eje 388 (2015).

Fuente: <https://www.wismut.de/de/pressefotos.php>, 13.10.2014 y 11.11.2014

4.2.1.6 Almacenamiento y eliminación de contaminantes.

Todos los residuos y materiales producidos en el proceso de custodia, liquidación y remediación han sido verificados por la posibilidad de recuperación antes de que se lleve a cabo la eliminación. La base para la eliminación de contaminantes fueron las disposiciones legales para los respectivos contaminantes, así como las empresas de eliminación aprobadas por el Consejo Regional de Dresde.

Los residuos y materiales por disponer del proceso de desmantelamiento de la extracción de mineral, el desmantelamiento de las instalaciones operativas y la demolición de edificios fueron recolectados y llevados a una instalación de almacenamiento provisional o almacenados en un vertedero minero de acuerdo con la aprobación oficial. Los contaminantes recogidos en los almacenamientos intermedios fueron/son principalmente aceites, grasas, ácidos, barnices, pinturas, residuos químicos orgánicos e inorgánicos de laboratorio, acumuladores NC, pilas secas, cartuchos alcalinos, disolventes, envases de pinturas y productos químicos, así como envases metálicos con sustancias nocivas. contenidos residuales. Cantidades muy pequeñas de estos contaminantes se depositaron en contenedores especiales para desechos. Los materiales y equipos que necesitaban especialmente vigilancia, como, por ejemplo, fuentes artificiales de radiación radiactiva encerradas, se almacenaron temporalmente en instalaciones de almacenamiento separadas, búnkeres de isótopos eB, hasta que se eliminaron.

Los residuos radiactivos de fibrocemento generados por los trabajos de desmantelamiento y demolición se colocaron en el vertedero de residuos de minería y producción de Schüsselgrund en el sitio de Königstein y en el vertedero de residuos de Gittersee en el sitio de Dresden- Gittersee siguiendo las aprobaciones oficiales.

Los residuos de cemento de asbesto no radiactivo en el sitio de Königstein podrían transportarse a la mina a cielo abierto de arena de Nauendorf después de la aprobación de la Oficina de Gestión de Agua y Residuos en la Oficina del Distrito de Pirna. En el período de 1991 a 1997 se dispusieron por empresas especiales contaminantes por 183 m³, 321 t y 703 piezas (tambores, contenedores, etc.).

4.2.1.7 Demolición y remodelación del área

En 2020, una empresa externa demolió los edificios de entrada, los edificios del cuerpo de bomberos, incluida la torre de mangueras, el edificio de MED/laboratorio, la antigua cocina y varias instalaciones más pequeñas. La demolición planificada del edificio administrativo, incluidas las alas sur y norte de la combinación de duchas, se pospuso hasta 2022. El motivo de esto fue un examen de conservación de especies del complejo de edificios. Esto dio como resultado una gran población de cuarteles y hábitats para murciélagos y golondrinas domésticas (aviones domésticos), así como posibles criaderos de especies de pájaros cantores europeos. Para no poner en peligro a los animales, se crean alojamientos de reemplazo antes de la demolición. La implementación de las medidas continuará hasta 2021.

El enfoque de la remodelación fue la finalización de la subárea 7 del llamado Südfeld. El mantenimiento de las áreas e instalaciones ya renovadas representó otra gran área de trabajo.

4.2.1.8 Planta de tratamiento de aguas de inundación

Desde mayo de 2018, el AAF ha sido reconstruido y adaptado a los requisitos del progreso de remediación logrado. El desafío particular fue implementar las medidas necesarias en paralelo con la operación en curso de la antigua planta. El cambio más importante es la eliminación de la eliminación de uranio en la etapa de proceso. Dado que la concentración de uranio y metales pesados ha disminuido significativamente durante la remediación en los últimos años, ya no es necesaria una mayor separación y procesamiento por separado del uranio. La nueva AAF se hace cargo del tratamiento completo del agua de inundación, con los pasos principales de neutralización/precipitación, sedimentación, desmanganización y deshidratación de lodos, antes de su descarga al río Elba.



Figura 4-12. Planta de tratamiento de aguas de inundación Königstein en el estado de 2015, que fue modernizada en 2020.

Fuente: <https://www.wismut.de/de/pressefotos.php>, 16.11.2015

En la primavera de 2020, se llevó a cabo con éxito la primera operación de prueba con una capacidad de 200 m³/h en el AAF parcialmente convertido. Posteriormente, se pudo concretar la culminación de la conversión del AAF. En noviembre de 2020, se inició según lo previsto la segunda operación de prueba para la operación excepcional con una capacidad de 650 m³/h.

El objetivo es probar el sistema completamente reconstruido para obtener el rendimiento máximo requerido para poder bajar el nivel del agua de inundación nuevamente en caso de efectos ambientales inaceptables en caso de nuevas inundaciones. La operación de prueba 2 continuará hasta el primer trimestre de 2021. Paralelamente a la operación de prueba, se realizaron trabajos residuales y ajustes tecnológicos.

En el pozo de Königstein, el nivel del embalse se mantuvo constantemente por debajo del nivel de inundación aprobado de 140 m sobre el nivel del mar. Para ello, hubo que bombear unos 2.4 millones de m³ de agua de inundación. Parte del agua de la inundación se volvió a sumergir en el pozo sin tratar. Esta operación circular fue necesaria en la operación de prueba de la nueva AAF para coordinar los procesos individuales. En la AAF reconvertida se trataron 1.24 millones de m³, en la antigua AAF solo 0.69 millones de m³. Esto incluye 0.37 millones de m³ de agua superficial. El agua tratada se vertió en el río Elba (1.81 millones de m³) y una proporción muy pequeña se vertió en la fosa (0.09 millones de m³).

4.2.1.9 Vertedero de residuos de minería y producción Schüsselgrund

En 2020, se realizaron trabajos en las fases de construcción 2 y 3 en la instalación de eliminación de residuos de Schüsselgrund. No se almacenó más material contaminado en la fase de construcción 2. Aquí, la capa de cobertura de material inerte se aplicó a un área de 1.62 ha para un almacenamiento seguro. Para ello se entregaron e instalaron 16,000 m³ de material. Se movieron un total de 32,000 Tn. Esto cubre completamente la fase de construcción 2. En 2021, se llevará a cabo la construcción de agua y caminos. Durante la construcción de la carretera de circunvalación de Pirna, Wismut GmbH pudo adquirir más material de cobertura para los próximos años. Se almacena temporalmente en las instalaciones de la empresa y en el acopio hasta su uso.

En el año bajo revisión, el material contaminado se almacenó exclusivamente en la fase de construcción 3 del acopio. En un área de almacenamiento especial dentro de esta etapa de construcción, se almacenaron de manera segura chatarras y residuos líquidos del tratamiento de aguas, que fueron clasificados como residuos peligrosos. La chatarra se almacena en zonas preparadas y se rellena con lodos y hormigón. También en 2020 se prepararon más de estos llamados lechos secos.

Los materiales recién almacenados en el vertedero de Schüsselgrund incluían masas eliminadas de la remediación de superficies, material de demolición, chatarra y residuos del tratamiento de aguas. La nueva AAF cambia el nombre de sus residuos. Hasta el momento, el lodo resultante ha sido decantado y generalmente denominado como residuos. En el AAF convertido, los residuos se deshidratan en un filtro prensa. Lo que queda es la llamada torta de filtración. Esto da como resultado la siguiente lista para el año 2020:

- Masas de remoción de rehabilitación superficial: Aproximadamente 11,800 m³
- Material de demolición y desmontaje: Aproximadamente 758 m³
- Chatarra: Aproximadamente 710 m³
- Residuos de la planta de tratamiento de aguas de inundación: Aproximadamente 218 m³

- Torta de filtración del AAF convertido o reconstruido: Aproximadamente 178 m³
- Material de balsa y limpieza viaria: Aproximadamente 95 m³

Durante la gestión del vertedero se deben crear caminos para el transporte de materiales hasta el área de almacenamiento; el año pasado fueron 240 m. Para ello, fue necesario adquirir unos 20,500 m³ de grava diabas de la cantera de Ottendorf. Otros trabajos en la AEE a principios de año fueron la eliminación de roturas por viento y nieve, el mantenimiento de las áreas ya rehabilitadas y el mantenimiento del sistema de caminos y acequias existente.

4.2.2 Gran Proyecto Ecológico Dresden- Coschütz/Gittersee

4.2.2.1 Custodia de los pozos de superficie

La protección de los socavones de superficie en la ubicación de Dresden- Coschütz/Gittersee se llevó a cabo de acuerdo con planes operativos especiales confirmados. En consecuencia, estos pozos tuvieron que ser completamente rellenados. Para evitar la fuga del material de relleno licuado de la construcción de la mina, se tuvieron que construir presas parciales en el área de los lugares de relleno. Para evitar una posible contaminación por el aumento de agua mineralizada de la mina en los acuíferos existentes, se construyeron represas y se impusieron requisitos especiales a los rellenos. Los trabajos de salvaguarda de las galerías superficiales en este lugar habían finalizado. Una característica especial en la implementación del trabajo de custodia fue que la torre sinuosa de la Marienschacht en Bannewitz, la llamada torre Malakoff, construida en 1886, fue incluida en la lista de monumentos estatales de Sajonia, ya que este edificio es uno de los último de su tipo y tuvo que ser conservado y restaurado (ver **Figura 4-13**).



Figura 4-13. Edificio de eje de la Marienschacht con torre sinuosa Malakoff, 1886 y en la década de 1990.

Fuente: Chronicle Wismut 2010; Fotografía: R. Jentzsch, <https://www.marienschacht.de/galerie.html>

Tabla 4-6. Alcance de la remediación en socavones superficiales de trabajos mineros de Gittersee en la década de 1990

Tarea	Unidad	Extensión total	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	sum, 91/97
Entibación minera	m	1,165	-	-	-	260	355	50	-	665
Desmontaje	t	1,253	-	-	-	-	5	-	-	5
Perforaciones	m	6,834	-	-	-	377	78	79	-	534
Estructuras de retención de agua	Pieza	50	-	-	-	6	4	2	-	12
Alcance de la protección	10 ³ m ³	78	-	2	8	-	16	1	1	28
Placa con carga de tráfico	Pieza	6	-	-	-	1	-	1	4	6

Fuente: Chronicle Wismut 2010

4.2.2.2 Custodia de labores mineras subterráneas

Los trabajos de salvaguardia de las labores mineras subterráneas finalizaron a fines de la década de 1990. Se llevaron a cabo los trabajos necesarios para eliminar los contaminantes del agua (grasas, aceites, productos químicos) y rellenar los pozos cercanos a la superficie, especialmente los pozos, para evitar el hundimiento de la superficie del suelo. Posteriormente se inició la inundación del pozo.

4.2.2.3 Remediación de los botaderos de estériles mineros

En el sitio de Dresden- Coschütz/Gittersee estaban el vertedero de desechos mineros de Gittersee y el vertedero de desechos mineros en Marienschacht con un área de contacto del vertedero de aprox. 14 ha y un volumen de aprox. 1.3 millones de metros cúbicos.

Estudios científicos y técnicos han demostrado que los vertederos presentan riesgos ambientales debido al potencial contaminante a largo plazo. De las variantes de remediación examinadas, la opción "Perfilado y recubrimiento del vertedero en sitio" fue evaluada como la más adecuada y confirmada por las autoridades (Wismut, 2010).

El vertedero de desechos mineros de Gittersee había sido creado por el llamado vertimiento en una pendiente en un flanco del valle Kaitzbachtal. En el vertedero de residuos mineros de Gittersee, la meseta y el flanco este se perfilaron y cubrieron por completo, el flanco oeste se volvió a perfilar hacia el desarrollo residencial, se cubrió y el área del vertedero contaminado se demarcó con las áreas privadas mediante una carretera de nueva creación con filtraciones y toma de agua superficial. En el flanco norte, se realizó una ampliación del vertedero (aprox. 2,3 ha) para absorber los residuos de la industria minera de hulla, los cuales se incurrieron en el contexto de las actividades de construcción municipales y privadas.

El vertedero de desechos mineros en Marienschacht tuvo que ser parcialmente removido, perfilado, cubierto y verdeado. El terraplén del basurero tuvo que ser rediseñado utilizando los canales y sumideros existentes para la colocación de materiales contaminados. La recogida de las aguas de infiltración que se infiltran en el vertedero y su vertido controlado a la beca. Se estableció Boderitzgraben, que es el agua receptora.

El área del vertedero de desechos mineros en Marienschacht en conexión con el complejo de monumentos catalogado en el área del pozo (por ejemplo, la torre de bobinado de Malakoff) se rediseñó en los años siguientes para convertirlo en un centro de recreación y excursiones versátil del municipio de Bannewitz.

Tabla 4-7. Alcance de los trabajos de remediación en vertederos de desechos y residuos mineros de Gittersee

Tarea	Unidad	Alcance total	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	sum, 91/97
Eliminación de material	10 ³ m ³	167	9	36	7	7	---	---	108	167
Relleno de material	10 ³ m ³	1,526	140	180	20	86	56	82	140	704
Cobertura	10 ³ m ³	667	28	22	-	10	11	7	1	79
Perfilado	10 ³ m ³	307	---	74	13	46	24	13	19	189
Rehabilitación de área	ha	45	9	---	---	1	1	1	---	12
Sistemas de recolección de agua de filtraciones o lixiviados	10 ³ m ³	300	26	26	20	19	25	22	12	150

Fuente: Chronicle Wismut 2010

4.2.2.4 Almacenamiento y eliminación de contaminantes.

Todos los residuos y materiales producidos en el proceso de salvaguarda, liquidación y remediación han sido verificados para la posibilidad de recuperación antes de que se lleve a cabo la eliminación. La base para la eliminación de contaminantes fueron las disposiciones legales para los respectivos contaminantes, así como las empresas de eliminación aprobadas por el Consejo Regional de Dresde.

Los residuos y materiales por disponer del proceso de desmantelamiento de la extracción de mineral, el desmantelamiento de las instalaciones operativas y la demolición de edificios fueron recolectados y llevados a una instalación de almacenamiento provisional o almacenados en un vertedero minero de acuerdo con la aprobación oficial. Los contaminantes recogidos en las instalaciones de almacenamiento provisional fueron principalmente aceites, grasas, ácidos, barnices, pinturas, residuos químicos orgánicos e inorgánicos de laboratorio, acumuladores de níquel-cadmio, pilas secas, cartuchos alcalinos, disolventes, envases de pinturas y productos químicos, así como envases metálicos con residuos nocivos. contenido. Cantidades muy pequeñas de estos contaminantes se depositaron en contenedores especiales para desechos. Los materiales y equipos que necesitaban especialmente vigilancia, como, por ejemplo, fuentes artificiales de radiación radiactiva encerradas, se almacenaron temporalmente en instalaciones de almacenamiento separadas, búnkeres de isótopos eB , hasta que se eliminaron.

Los residuos radiactivos de fibrocemento generados por los trabajos de desmantelamiento y demolición se colocaron en el vertedero de residuos mineros en el sitio de Dresden- Gittersee siguiendo las aprobaciones oficiales y después de que ese vertedero se preparara para almacenar residuos adicionales.

En el período de 1991 a 1997, se acumularon contaminantes por un total de 183 m³, 321 Tn y 703 piezas (tambores, contenedores, etc.) tanto en Dresden - Coschütz/Gittersee como en las partes operativas de Königstein de la operación de remediación Königstein durante la primera década y fueron enajenados por empresas especiales (Wismut, 2010)).

4.2.2.5 Desmantelamiento de las instalaciones y rehabilitación de las áreas operativa

Con la toma de posesión de parte del yacimiento Dresden- Coschütz/Gittersee para la extracción de uranio en 1968, también se tomaron los edificios e instalaciones mineros típicos de la antigua cosechadora de hulla Zwickau, algunos de los cuales ya tenían un valor de antigüedad correspondiente en ese momento. Para la extracción de uranio, por lo tanto, solo se construyeron en la superficie instalaciones operativas tecnológicas para la determinación cuantitativa y cualitativa de uranio en los minerales de uranio.

Con el cese de la extracción de uranio en 1989, se realizó una primera evaluación de los edificios e instalaciones con respecto a su posible reutilización, desmantelamiento necesario o demolición. Como parte del registro ambiental de Wismut, todos los edificios e instalaciones fueron reexaminados y evaluados con respecto a sus contaminantes y contaminación. En base a esta evaluación ambiental, se procedió al desmantelamiento y demolición de todas las edificaciones e instalaciones propias de la minería que no fueran aptas para su reutilización debido a la contaminación radiactiva o a su construcción sobre suelo contaminado o por su diseño y estado técnico.

El envío de los materiales contaminados radiactivamente se realizó sobre la base de las especificaciones del plan operativo especial aprobado "Vertedero de chatarra radiactiva y otros materiales" mediante la instalación en el vertedero de desechos mineros de Dresden-Gittersee como se describe anteriormente.

Los edificios e instalaciones que habían sido necesarios para la administración y la atención social no estaban demostrablemente contaminados, podían utilizarse hasta la finalización de la rehabilitación de las instalaciones de la empresa y eran totalmente aptos para su uso posterior.

Los edificios de esta categoría, que ya no eran necesarios para el proceso de remediación, en algunos casos podrían entregarse para uso comercial con bastante rapidez.

Para los edificios e instalaciones que se pretendían reutilizar para la conservación de monumentos históricos, se completaron los requisitos técnicos y legales para su entrega al usuario posterior (Wismut, 2010).

El área total utilizada para la extracción de uranio fue de unas 29 ha, de las cuales unas 15 ha correspondieron a áreas utilizadas para instalaciones y edificios y unas 14 ha a áreas de contacto cubiertas con vertederos de desechos mineros.

Las mediciones de la tasa de dosis local y el muestreo del suelo realizado como parte del registro ambiental de Wismut mostraron una contaminación radiactiva muy diferente en las áreas individuales. Se demostró que las zonas utilizadas por la extracción de hulla estaban parcialmente contaminadas con radionucleidos naturales. Al mismo tiempo, se realizó una evaluación de la contaminación por hidrocarburos existente (Wismut, 2010).

Dado que hubo ideas de los municipios vecinos para las áreas operativas para su reutilización como áreas industriales respectivamente áreas verdes/parque, los principios de radiación de la Comisión de Protección Radiológica formaron la base para las medidas de remediación necesarias. Como medida de remediación se llevó a cabo la remoción de las capas de suelo contaminado hasta un límite de medición libre/despeje. El material del suelo radiactivo excavado se transfirió al vertedero de desechos mineros de Dresden- Gittersee. Posteriormente, la aplicación de suelo cultivable se realizó de acuerdo con los valores orientativos recomendados para la liberación de las áreas y en función del uso posterior. Todas las medidas de rehabilitación se llevaron a cabo de acuerdo con los proyectos aprobados por las autoridades competentes.

Tabla 4-8. Alcance de la remediación de áreas superficiales en Gittersee

Tarea	Unidad	Alcance Total	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	sum 91/97
Eliminación de material	10 ³ m ³	480	18	48	18	16	11	19	5	135
Relleno de material	10 ³ m ³	375	4	20	9	11	16	13	4	77
Perfilado	10 ³ m ³	95	---	22	7	---	1	5	3	38
Rehabilitación de área	ha	74	---	1	1	1	---	1	---	4

Fuente: Chronicle Wismut 2010

demás de los volúmenes indicados en la **Tabla 4-8**, en 1990 se realizaron 36,000 m³ de trabajos de desmontaje y 4,500 m³ de puesta en servicio. Si los transportes de materiales contaminados deben realizarse en la vía pública, los sistemas de lavado de neumáticos deben ser generalmente atravesado al salir del sitio contaminado.

4.2.2.6 Inundación de los trabajos de la mina

El proyecto de inundación de las explotaciones mineras de Dresden- Coschütz/Gittersee debía tener en cuenta no solo el resurgimiento del agua en estas cavidades de los pozos, sino también el hecho de que la minería se había llevado a cabo en el Döhlener depósito de hulla de Becken desde el siglo XVI y que se habían creado extensos sistemas de túneles para el suministro y descarga de agua. Con el cierre de la extracción de hulla y el asentamiento bajo el agua de las cavidades de los pozos, la inundación/inundación parcial de campos mineros completos en este depósito se completó hace muchas décadas.

Tras el fin de las actividades de extracción de uranio de SDAG Wismut en 1989, se decidió inundar también las explotaciones de la segunda mitad del siglo XX. El aumento de las aguas de la inundación tuvo que drenar sobre los antiguos campos mineros de las minas de carbón en dirección a Tiefer Elbstolln y para ser alimentado al río Elba a través de este túnel. Se iba a construir un pozo profundo (pozo de producción n.º 1) en el área del sitio de Gittersee para servir como una variante de retroceso/retroceso en caso de descarga de agua insuficiente en dirección al Tiefer. Elbstolln . El permiso otorgado por el antiguo Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Regional del Estado de Sajonia para el manejo de sustancias radiactivas durante las inundaciones se supeditó a la condición de que la calidad del agua potable del pozo profundo #4 no se vea afectada por la inundación. El pozo profundo #4 representa uno de los usos de agua subterránea más profundos en el depósito de mineral de uranio y hulla de Freital . Las autoridades limitaron el nivel de inundación solicitado a un máximo de 130 m sobre el nivel medio del mar. En mayo de 1995 se inició la inundación final del tajo. El agua de inundación creciente del pozo de Gittersee tenía que pasar al antiguo campo de pozo de carbón duro de Zauckerode y fluir a través del Tiefer Túnel de Elbstolln hasta el río Elba que recibe agua. La **Figura 4-14** muestra la custodia y el relleno del " Schurfschacht 60" en 2002, que se había llenado parcialmente con productos químicos peligrosos en 1958, que no procedían de SDAG Wismut.



Figura 4-14. Custodia de la " Schurfschacht 60" en 2002

Izquierda: vista de ubicación. Derecha: vista del pozo con carcasa de madera

Fuente: environmental report Wismut 2002,
<https://www.wismut.de/de/downloads/umweltbericht2002.pdf>

En el proyecto de inundación de la mina Dresden- Coschütz/Gittersee , se tuvo que establecer la conexión con el problema " Schurfschacht 60", en el panel de trabajo de Heidenschanze . En 1958, en este pozo de exploración de la mina de antracita, que estaba destinado a ser relleno, se vertieron, de forma desordenada, productos químicos y otras sustancias no especificadas que habían quedado inservibles. En la antigua RDA, estos materiales se clasificaban como venenos del Departamento 1 (altamente tóxicos) y se consideraban contaminantes del agua. En caso de inundación del " Schurfschacht 60", se supuso que los productos químicos arrojados allí o los metabolitos resultantes de ellos ingresan a la corriente de agua de inundación de acuerdo con su solubilidad en agua y se descargarán con el agua de inundación a través del Tiefer. Elbstolln en el río Elba.

La depresión de agua de inundación en el área de Dresden- Coschütz/Gittersee respectivamente Bannewitz , que había surgido desde 1950, se repuso después del desmantelamiento de la retención de agua en 1995 después de aproximadamente dos años,

es decir, la marca de altura prevista de 130 m sobre el nivel medio del mar. fue alcanzado. Sin embargo, el comienzo del agua de inundación que pasa desde el área de inundación Dresden- Coschütz/Gittersee respectivamente Bannewitz al Tiefer Elbstolln claramente no ocurrió. En caso de inexistencia o retraso de la ruta del agua o de la ruta hidráulica desde el pozo Dresden- Coschütz/Gittersee hasta el Tiefer Elbstolln, se calcularon un total de seis variantes de recurrencia respectivamente.

Debido a la evolución esperada de los contenidos de hierro en las aguas de inundación, se hizo necesaria la puesta en marcha de la planta de tratamiento de agua (calcificación y aireación) en los pozos de producción FB #1 y #3 (en el área del yacimiento Heidenschanze). Debido a la retención de agua alternativa instalada a través de FB # 1 y # 3, el proceso de inundación podría controlarse, documentarse y controlarse lo suficiente. La gestión alternativa del agua tuvo que ser operada hasta la descarga desinhibida del agua de inundación de acuerdo con la dirección del proyecto de inundación. El proyecto de inundación de las explotaciones mineras subterráneas del tajo Dresden- Coschütz/Gittersee se desarrolló de tal manera que se completa la inundación total del depósito y no puede ocurrir transferencia de agua de inundación al acuífero superior.

En la **Figura 4-15** se muestra el Wismut- Stolln, que ha sido conducido entre 2007 y 2014, con una longitud total de 2,900 m, el sistema de túneles para la descarga segura del exceso de agua de inundación del sitio de Dresden- Coschütz/Gittersee.



Figura 4-15. Wismut-Stolln (2016),

Fuente: <https://www.wismut.de/de/pressefotos.php>; 11.01.2016

Dado que el Tiefer existente Elbstolln no se extendió a los trabajos de la mina Dresden- Coschütz/Gittersee, se colocó un winze en las inmediaciones del Tiefer Elbstolln , y desde allí se excavó una boca de mina que estaba interconectada con Elbstolln . Para utilizar el Tiefer Elbstolln como túnel de drenaje del depósito, se tuvieron que iniciar y llevar a cabo medidas

adicionales. Para garantizar la funcionalidad a largo plazo del Tiefer Elbstolln, hubo que llevar a cabo extensos trabajos de reconstrucción/seguridad minera en las secciones. A lo largo del Elbstolln hasta el límite de la mina Dresden- Coschütz/Gittersee, después de haber obtenido los permisos oficiales, el lodo acumulado tuvo que ser recogido, drenado y eliminado. El agua de la inundación que sale del Tiefer El túnel de Elbstolln pasó por una planta de tratamiento de agua antes de ser alimentado al río Elba que recibe agua (Wismut, 2010).

Si, después de la expiración del período de observación prescrito oficialmente, no pasa suficiente agua de inundación al Tiefer Elbstolln, para aliviar la carga se debe construir una nueva bocamina en dirección al Tiefer Río Elbstolln o Weißeritz.

Tabla 4-9. Extensión de la inundación anual de las operaciones mineras subterráneas en Gittersee

Tarea	Unidad	Alcance total	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Sum, 91/97
Inundación de labores mineras subterráneas	10 ³ m ³	13,000	---	9	216	225	535	866	1,221	3,072

Fuente: Chronicle Wismut, 2010

Inundación por etapas: La inundación del tajo comenzó en mayo de 1995 y se dividió en dos campos minados. El objetivo en esta zona era restaurar el nivel freático natural en el distrito minero de Freital. Característica del curso de inundación fue el aumento gradual o mantenimiento de los niveles de agua por medio de dos pozos de producción instalados en las faenas subterráneas de la mina. El objetivo de esta medida era evitar daños a la mina y otros efectos adversos que pudiera causar la mina en desuso. Con el logro de un nivel de inundación de alrededor de 180 msnm, se produjeron fugas de agua locales. Se supuso que las vías fluviales parcialmente desconocidas de la minería del carbón centenaria jugaron un papel decisivo. Para tener un conocimiento más detallado se solicitó el represamiento a una cota de 165 msnm.

El accionamiento del Wismut Stolln: La inundación va acompañada de un amplio sistema de control para detectar a tiempo dichas salidas de agua de inundación en la superficie y, si es necesario, evitar daños con las medidas adecuadas. Durante el nuevo embalse > 156 msnm, se confirmó la conexión hidráulica entre los paneles de trabajo Dresden-Coschütz/Gittersee/Bannewitz y Heidenschanze. Sin embargo, dado que no se pueden descartar más daños mineros en este nivel de inundación, una sección de conexión (Wismut Stolln) desde los paneles de trabajo Dresden- Coschütz/GitterseeBannewitz hasta el Tiefer Elbstolln se extrajo para el drenaje permanente y seguro del agua de inundación de las operaciones mineras subterráneas a la derecha de Weißeritz a un nivel geotécnicamente no crítico de 120 msnm. A lo largo de esta ruta, el agua de la inundación fluye desde los paneles de trabajo de los antiguos distritos mineros de hulla y mineral de uranio hasta el Tiefer Elbstolln y sobre éste hacia el río Elba de forma controlada. El nivel de agua de inundación se mantiene así permanentemente en 120 msnm.

El Wismut Stolln, que se extrajo recientemente a partir de abril de 2007, tiene una longitud total de alrededor de 2,900 m. El acceso al túnel se realiza a través de una rampa y luego se conduce en dirección a Tiefer. Elbstolln o en la dirección del pozo #3. La distancia vertical mínima del arrastre a la superficie del día es de unos 40 m en la zona del río Weißeritz. Después de 1.910 m de avance del Wismut Stolln hacia el oeste, el 14 de agosto de 2012 tuvo lugar la penetración en el túnel profundo del Elba. Con la aproximación del pozo

meteorológico en el pozo 3# el 11 de junio de 2014, la excavación del Wismut Stolln en Dresden- Freital se completó según lo planeado.

Esto hizo posible crear una conexión continua desde el río Elba cerca de Dresde a través del Tiefer Elbstolln hasta el pozo de intemperie no lejos del antiguo pozo #3 de la mina subterránea Dresden- Coschütz/Gittersee. El trabajo restante se completó en octubre de 2014.

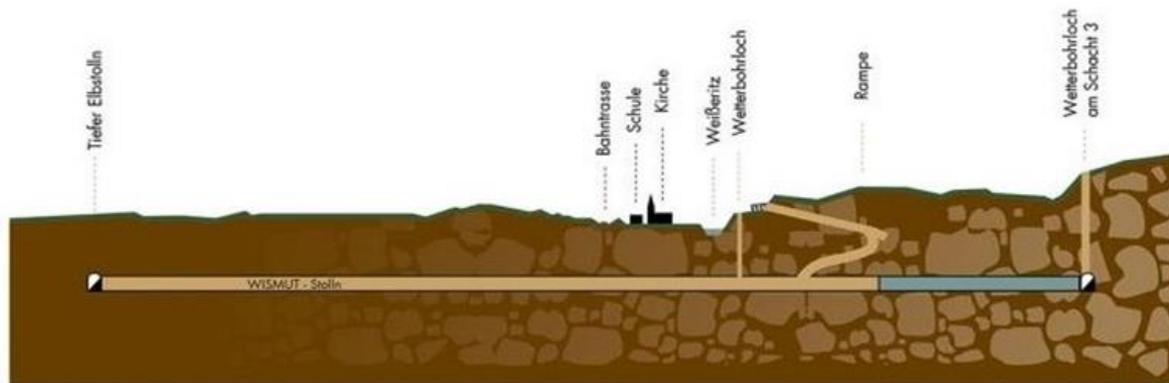


Figura 4-16. Esquema de conducción del Wismut Stolln en Dresden- Coschütz/Gittersee 2007-2014, hacia el Tiefer Elbstolln

Fuente: https://www.wismut.de/de/nl-koenigstein_projekte.php?id=101&back=nl-koenigstein_projekte.php%3Fyear%3D%26index%3D0

La conexión hidráulica de Wismut Stolln a la mina subterránea de Gittersee se estableció mediante cuatro perforaciones con un diámetro de 200 mm cada una desde el final del túnel en la perforación meteorológica #3. Después de que se completó el trabajo de perforación, se completaron las esclusas de agua en el túnel (canaletas para drenaje de agua) y se instaló temporalmente un elevador de agua para el momento del trabajo de desmantelamiento en el túnel. Desde el 7 de octubre de 2014, el agua de inundación de las explotaciones mineras subterráneas de Dresden-Coschütz/Gittersee y Heidenschanze ha estado drenando desde Dresden- Freital a través del Wismut Stolln hasta el Tiefer Elbstolln con éxito.

El bombeo del agua de la inundación practicado con anterioridad a través del pozo de producción, el tratamiento del agua y la descarga del agua tratada en el Kaitzbach cerca de Dresden- Gittersee se interrumpieron. Con la demolición de los edificios e instalaciones y la remoción del suelo contaminado en unas 21 hectáreas, también se completaron las obras del área de operaciones. Esto completa todas las medidas de renovación en el sitio de Dresden-Coschütz/Gittersee..

Tareas a largo plazo: Ya no se requiere el tratamiento del agua de minería en el sitio de Dresden- Coschütz/Gittersee. Los trabajos de la mina subterránea Dresden-Coschütz/Gittersee se drenan en el río Elba a través del Wismut Stolln y más allá del Tiefer Elbstolln. El seguimiento de los niveles de agua de los últimos años en las cavidades del tajo ha demostrado que, a intervalos de varios años, los pozos de conexión entre el tajo y Wismut Stolln deben limpiarse de incrustaciones para evitar la acumulación de agua de mina en la mina subterránea inundada. trabajos. Para ello, se examina regularmente el estado de los agujeros mediante inspecciones con cámara. El control del estado y la limpieza de los pozos de conexión son tareas a largo plazo, así como el mantenimiento de los canales de drenaje

de agua Wismut Stolln y Tiefer Elbstolln. Este último requiere la limpieza de lodos a intervalos de varios años.

4.2.3 Sitios de desechos de minería de uranio Seelingstädt y Crossen

4.2.3.1 Remediación de vertederos de desechos mineros y cuencas de sedimentación - Seelingstädt

Debido a los métodos de procesamiento hidrometalúrgico utilizados, en este sitio no se llenaron vertederos de residuos de procesamiento. Las minas a cielo abierto agotadas adyacentes se utilizaron como plantas de sedimentación y como instalaciones de relaves durante la operación del procesamiento. Los vertederos de residuos mineros depositados en el borde o dentro de las minas a cielo abierto durante la fase de explotación fueron utilizados en parte para construir represas de las plantas de decantación, respectivamente, las áreas de los antiguos vertederos de residuos mineros fueron inundadas por los relaves depositados y, por lo tanto, actuaron como diques de barrera.

El área de contacto del vertedero de desechos mineros es de aprox. 332 ha y el volumen de botadero de residuos mineros es de aprox. 80 millones de metros cúbicos. La mayoría de los vertederos individuales fueron recultivados durante el período minero anterior a 1990 y están forestados. Sus mesetas fueron en su mayoría niveladas. La influencia de los contaminantes que escapan de los desechos mineros y los relaves sobre el medio ambiente se detectó y demostró respectivamente mediante muestreo y mediciones. Esto es relativamente bajo, pero localmente diferente. A partir de las investigaciones realizadas (mediciones de tasas de dosis locales, muestreo de núcleos de perforación), se identificaron diferentes niveles de radionúclidos. La remediación de las áreas de botaderos de relaves o residuos mineros inadmisiblemente altamente contaminados se preveía mediante la excavación y traslado de los mismos a una balsa de decantación, la cual estaba preparada para ello (Wismut, 2010).

La rehabilitación de los botaderos de relaves y estériles mineros depende de la secuencia tecnológica y temporal de la remediación de las balsas de decantación. Cerca de la planta de decantación de Trünzig, los vertederos con una superficie de contacto de unas 184 ha se cultivaron antes de 1990 y su morfología se adaptó al relieve del terreno anterior, pero hubo que mejorarlo. Las mesetas están cubiertas de hierba, los terraplenes están cubiertos de bosques.

4.2.3.2 Remediación del vertedero de desechos mineros y residuos de procesamiento - Crossen

Crossen solo tuvo un vertedero de desechos mineros y residuos de procesamiento creado durante el período operativo. El área de contacto se vertió inicialmente con residuos del procesamiento mecánico húmedo como un recipiente de unos 4 m de espesor y luego se cubrió completamente con residuos de procesamiento radiométrico de grano fino a grueso de unos 40 m (Wismut, 2010).

El área de contacto fue de aprox. 22 ha y el volumen de descarga aprox. 3,2 millones de metros cúbicos. Los escombros de construcción contaminados radiactivamente resultantes de la demolición de edificios, así como la excavación del suelo contaminado radiactivamente como parte de la remediación del área de la granja, se almacenaron temporalmente en áreas especiales de la reserva desde 1993 en adelante.

En las inmediaciones del vertedero de residuos de minería y procesamiento se encontraba el distrito urbano Crossen de la ciudad de Zwickau. Las parcelas se cultivaron a pocos metros del pie de la pila, y la distancia mínima al edificio residencial más cercano era de unos 50 m.

Según los datos obtenidos del Catastro Ambiental de Wismut, los riesgos ambientales emanaban del vertedero. Como medidas de seguridad, el vertedero se cercó en 1992/1993 y la planta de recogida de lixiviados se completó y se puso en funcionamiento en 1993. El agua contaminada radiactivamente se alimentó al depósito de sedimentación de Helmsdorf.

Se llevaron a cabo extensas investigaciones geológicas, hidrológicas y geofísicas de la pila de relaves. Como resultado de las investigaciones técnicas y tecnológicas, se decidió trasladar todo el vertedero de desechos mineros y de procesamiento a la cercana cuenca de decantación de Helmsdorf, para utilizarlo allí como material de construcción para la cubierta intermedia y para hacer el área de contacto en Crossen, utilizable de nuevo. Por lo tanto, la reubicación de esta pila de desechos y relaves mineros estuvo estrechamente relacionada con la protección de la cuenca de sedimentación de Helmsdorf. Otras investigaciones tecnológicas relacionadas con la transferencia o reubicación del vertedero, en particular para el transporte de las masas de vertedero excavadas hasta el punto de transferencia en el área de la planta de sedimentación de Helmsdorf (aprox. 2 km), llevaron a la conclusión de que un transportador de tubería podría cumplir mejor con los requisitos de las normas de protección del medio ambiente.

Junto con la configuración del equipo para la excavación de la masa del botadero de relaves y relaves mineros y para la alimentación continua de la tubería transportadora de aprox. 2 km de longitud así como la tecnología de remoción del material del botadero de desmonte minero desde el búnker hasta la planta de decantación, la tecnología general para el traslado de todo el botadero fue aprobada por las autoridades competentes en 1996 y luego se inició la reubicación de la mina masas de vertederos.

El transportador de tuberías, un sistema en el que la cinta se curva mediante una disposición especial de los rodillos de transporte para formar un tubo (ver **Figura 4-17**), se puso en funcionamiento en 1997 para el transporte ecológico de las masas de residuos mineros y de procesamiento, el material de demolición de las instalaciones de la empresa y el suelo excavado desde Crossen hasta Helmsdorf. El sistema de transporte fue diseñado de tal manera que no hubo contaminación del medio ambiente con polvo durante la transferencia.

En su longitud de unos 2 km, el transportador de tuberías de 300 mm de diámetro cruzó el río Zwickauer Mulde, la antigua Bundesstraße 93/175 y las vías del tren de Deutsche Bahn AG. Una diferencia de altitud de aprox. Se han puentado 102 m.



Figura 4-17. Transporte de desechos mineros Crossen y residuos de procesamiento a la planta de sedimentación industrial Helmsdorf con Pipe Conveyor

Fuente: https://www.wismut.de/de/pipe_conveyor.php

Como parte de la rehabilitación del sitio de Wismut en Crossen, el 16 de febrero de 2016 se transfirieron 3,25 millones de m³ de material radiactivo a la planta de sedimentación industrial Hermsdorf con el transportador de tubería. podría así evitarse el medio ambiente. El material de la pila de relaves se transportó a prueba de polvo, de forma segura y respetuosa con el medio ambiente.

Después de 20 años de uso continuo, el transportador de tubería con todos los sistemas auxiliares ahora tuvo que ser demolido. Esto incluyó varias estructuras de puentes, tuberías y sistemas para operar el sistema transportador. En la última fase de construcción, se realizaron reforestaciones y plantaciones hasta 2018. Las propiedades afectadas fueron restauradas a su estado original y devueltas a sus dueños.



Figura 4-18. Antigua zona de la planta operativa de Crossen y zona de escombreras remediadas.

Fuente: <https://www.wismut.de/de/pressefotos.php>, 07.06.2016

4.2.3.3 Desmantelamiento de las instalaciones de procesamiento - Seelingstädt

Los edificios e instalaciones se construyeron principalmente entre 1958 y 1960. Algunos edificios e instalaciones (plantas de lixiviación, flotación, etc.) se construyeron más tarde, a veces solo unos años antes de la clausura. Como resultado de la operación de la planta de tratamiento, los edificios y las áreas de operación quedaron fuertemente contaminados y provocaron una contaminación radiactiva del medio ambiente. El equipo, incluidas las estructuras de acero, a menudo se había contaminado en la superficie con restos de mineral. Ciertas piezas de acero que han entrado en contacto con soluciones ácidas que contienen uranio tenían contaminación de uranio adherido como resultado de la cementación. Las

mediciones realizadas mostraron que tanto el grado de contaminación como la homogeneidad eran diferentes. El desmantelamiento de equipos e instalaciones, así como la demolición de edificios, fue diseñado desde principios de 1991 de tal manera que no hubo que construir nuevas capacidades para posteriores trabajos de remediación (Wismut, 2010).

Las excepciones fueron, por ejemplo, la conversión del nivel de tensión en la subestación de transformación de energía eléctrica Berga realizada en 1992/1993 por Ostthüringer Energieversorgung AG y, por lo tanto, la construcción de una nueva planta de cliente, así como la sustitución de transformadores y motores de accionamiento; la construcción de una nueva planta de suministro de calor como resultado de la legislación federal que restringe la vida útil remanente de las viejas plantas con valores límite excedidos para las emisiones contaminantes hasta el 30 de junio de 1996; la reconversión y ampliación de las instalaciones tecnológicas existentes de pequeña capacidad para la disposición de residuos radiactivos y productos de limpieza resultantes de la demolición de los edificios, contenedores e instalaciones, así como la reprecipitación del denominado producto intermedio Königsteiner (resultado de la destrucción de solución de uranio, transferida desde el sitio de Königstein) en diuranato de amonio desechable, que se llevó a cabo a fines de 1996.

Se completó la reprecipitación, secado y llenado de productos de disposición (diuranato de amonio) en toneles. Se procesaron los materiales que contienen uranio producidos durante la limpieza exhaustiva de contenedores tecnológicos, búnkeres y tuberías. El 12 de septiembre de 1997 se trasladó el último barril lleno de torta amarilla desde el empaque de la mina final hasta el depósito de concentrado de uranio natural. Esto finalmente puso fin al procesamiento de la torta amarilla en la planta operativa de Seelingstädt, casi 25 años antes que en Königstein.

La eliminación de escombros de construcción contaminados radiactivamente se ha examinado varias veces desde el punto de vista técnico, tecnológico y económico. Como resultado de las investigaciones se demostró que los escombros de construcción debían ser quebrantados y, debido a sus favorables propiedades mecánicas del suelo al ser instalados en la cubierta intermedia de botaderos de estériles mineros u otro tipo de rellenos sanitarios, conducían a un aumento de la estabilidad de las capas de cobertura y a la sustitución material de los compuestos de cobertura necesarios para las plantas de decantación. Como medio de transporte, el camión fue diseñado como la opción más adecuada en las carreteras de la empresa. En comparación con el transporte hidráulico, esto significaba que ciertos sistemas podían retirarse, desmantelarse y demolerse mucho antes.

La contaminación radiactiva de la chatarra se produjo principalmente por incrustaciones. Mientras tanto, la chatarra de desmantelamiento de las plantas de procesamiento de minerales se había almacenado temporalmente en las superficies de hormigón de los antiguos espesadores (4 x 2,800 m²). La chatarra no contaminada con uranio de la fábrica de ácido sulfúrico y de la central eléctrica industrial podría reciclarse como materia prima. Las investigaciones realizadas sobre el traslado de la chatarra contaminada demostraron que el almacenamiento de la chatarra en la depresión del terreno de la zona norte de la presa de la balsa de decantación de Culmitsch era el más adecuado porque no entorpecía la salvaguardia final de dicha balsa. La tecnología para la instalación de la chatarra contaminada y otros materiales de demolición se diseñó por razones tecnológicas en la llamada construcción de casetes, con las cavidades a rellenar. El bloque de almacenamiento diseñado como una estructura de casete ofrece un alto nivel de estabilidad y es duradero en su forma.

Tabla 4-10. Desmantelamiento de las instalaciones operativas en la ubicación de Seelingstädt

Tarea	Unidad	Alcance total	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	sum, 91/97
Eliminación de material	10 ³ m ³	12,295	105	22	20	---	17	77	410	651
Relleno de material	10 ³ m ³	450	11	1	---	---	---	15	3	30
Rehabilitación de área	ha	143	---	---	---	---	---	---	---	0
Sistemas de recolección de agua de filtraciones o lixiviados	10 ³ m ³	320	---	---	5	23	32	16	18	94

Fuente: Chronicle Wismut 2010,

<https://www.wismut.de/de/veroeffentlichungen.php?id=614&back=veroeffentlichungen.php%3Fyear%3D0%26index%3D0>

El laboratorio existente fue parcialmente reconstruido y utilizado sistemáticamente como laboratorio central para toda Wismut GmbH. Los cambios condujeron a una mayor utilización de tecnología de equipos de alto costo, a una precisión de medición más precisa y a una reducción en la subcontratación de análisis.

4.2.3.4 Desmantelamiento de las instalaciones de procesamiento - Crossen

Una evaluación de protección radiológica realizada a fines de 1989 por la Oficina Estatal de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica (SAAS) sobre el uso posterior de la planta de procesamiento mostró, entre otras cosas, que no era posible reutilizar los antiguos edificios de producción: varios de principios del período anterior a la guerra, cuando la planta operaba como una fábrica de papel, para una producción diferente.

Sobre la base de este hallazgo y de investigaciones posteriores, en particular también sobre el estado estructural de los edificios, se determinaron las obras de desmantelamiento y liquidación. Como resultado de esta determinación, más del 70% del antiguo equipo de las instalaciones de producción de la planta de procesamiento de mineral de uranio ya había sido desmantelado y preparado para su eliminación a finales de 1990 (Wismut, 2010).

El desmantelamiento de los equipos de proceso se completó esencialmente dentro de las instalaciones a fines de 1993. Se excluyeron de esto los equipos necesarios para trabajos de renovación adicionales, como sistemas eléctricos, estaciones de bombeo y otros. La chatarra producida durante el desmantelamiento se separó según grados y contaminación y se almacenó temporalmente en áreas de concreto en las instalaciones de la empresa, la chatarra no contaminada se vendió.

Debido a los depósitos de polvo contaminado y las descargas de los sistemas de tanques y tuberías (desbordamientos, fugas), las paredes interiores de los edificios de producción estuvieron expuestas a diversos grados de contaminación con sustancias químicas y que contienen radionúclidos. El uso de desechos mineros y materiales de procesamiento como material de construcción, por ejemplo, como agregado para hormigón, y la infiltración parcial de soluciones radiactivas y químicamente contaminadas en la estructura del edificio también condujo a altos valores de tasa de dosis de radiación gamma.

Se crearon documentos de planificación para cada demolición de edificios, se documentaron y archivaron los datos relevantes. El derribo de plantas más grandes y complicadas se realizó mediante licitación y adjudicación del servicio a empresas externas. El trabajo de demolición se completó esencialmente en 1996.

Tabla 4-11. Alcance del desmantelamiento de edificios e instalaciones operativas de las plantas de Seelingstädt y Crossen, y eliminación de uranio

Tarea	Unidad	Alcance total	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	sum, 91/97
Desmantelamiento y demolición de edificios e instalaciones de procesamiento										
Residuos de desmantelamiento	t	106,156	13,867	2,052	5,255	6,560	6,538	9,178	9,121	52,571
Escombros de demolición	m ³	279,710	3,186	2,959	2,617	18,987	29,670	28,492	29,617	115,528
Eliminación de materiales que contienen uranio										
"Königsteiner producto intermedio"	t	471	---	162	189	16	51	53	---	471
Productos de limpieza	t	14,095	---	---	5,164	6,641	1,000	1,290	---	14,095
Escombros de demolición	t	29,588	---	---	---	---	4,880	24,708	---	29,588
Yellowcake (Urania)	t	1,140	---	73	280	393	260	134	---	1,140

Fuente: Chronicle Wismut 2010,
<https://www.wismut.de/de/veroeffentlichungen.php?id=614&back=veroeffentlichungen.php%3Fyear%3D0%26index%3D0>

Los materiales radiactivos resultantes de los trabajos de desmantelamiento y demolición fueron posteriormente dispuestos de acuerdo con los permisos oficiales; Los escombros de construcción triturados se transportaron a través de la tubería transportadora desde el vertedero de desechos mineros hasta el depósito de sedimentación de Helmsdorf. La chatarra contaminada se colocó en la llamada construcción de casetes en áreas fijas de la antigua área de playa de lavado intermedia cubierta de la planta de sedimentación. También se colocaron madera y otros materiales de demolición contaminados en áreas seleccionadas y después de una compactación específica.

Los paneles de cemento de asbesto se recubrieron con láminas de acuerdo con los requisitos oficiales y se eliminaron con permiso en la mina Schlema-Alberoda.

4.2.3.5 Remediación de áreas operativas de la planta - Seelingstädt

El área de la parte operativa (predio de la fábrica, ferrocarril de conexión, ruta de tuberías, calles y plazas) era de unas 102 ha. Las instalaciones de la fábrica cubrían 83.3 ha, de las cuales alrededor del 20% estaban urbanizadas, el resto era espacio libre con vegetación (césped, arbustos, árboles) o calles y plazas. Durante la fase de construcción de la planta de proceso, el subsuelo fue reubicado varias veces para compensar las diferencias morfológicas del terreno y para depositar las masas excavadas de los pozos de excavación. Además de los materiales reubicados del subsuelo, también se utilizaron depósitos antropogénicos en forma de residuos de procesamiento (relaves), residuos de minerales (principalmente del campo mineral de Ronneburg) y grandes cantidades del material reubicado del vertedero de

desechos mineros y residuos de procesamiento de Crossen para relleno y como agregado de construcción. Los espesores de esta zona de reubicación y relleno eran en ocasiones de varios metros.

Como parte de la elaboración del registro ambiental de Wismut, se examinó toda el área operativa; los datos fueron documentados y archivados. Se encontró que el tipo y el grado de contaminación eran muy diferentes y estaban significativamente influenciados por la respectiva etapa del proceso del tratamiento (Wismut, 2010). Los límites entre los tipos de contaminación eran en su mayoría borrosos, ya que los procesos naturales de lixiviación entre los contaminantes y el agua de lluvia provocaban cambios en la concentración. Las pruebas de suelo realizadas mostraron que el grado de contaminación por debajo de 0.5 m generalmente se redujo considerablemente y que alrededor de 1 m la contaminación estaba en promedio por debajo del límite de exención de 0.2 Bq /g según VOAS.

Debido a la heterogeneidad de la contaminación, cada área individual fue evaluada antes del inicio de la remediación. Dependiendo del grado de contaminación existente con radionúclidos u otros contaminantes y en coordinación con las municipalidades y organismos de interés público, se realizó y aún se realiza la remediación de las áreas operativas. Hasta el momento, se han utilizado dos opciones de remediación y custodia:

- Aplicación de una cobertura adecuada sobre las subáreas cuyo grado de contaminación por radionucleidos y la peligrosidad resultante haga necesaria esta cobertura para la realización de la reutilización prevista.
- Excavación de superficies altamente contaminadas con radionucleidos y posterior traslado a la balsa A de la decantadora de Culmitzsch. Posteriormente, se aplicó material de suelo inerte, que corresponde a las recomendaciones SSK para un paisaje de sucesión.

La tecnología de transporte era/es análoga a la de los escombros de construcción contaminados. El camión o volquete cargado pasó/pasa por un sistema de lavado de neumáticos al salir de las instalaciones de Seelingstädt y condujo/conduce a lo largo de la vía de servicio hasta la planta de sedimentación. Del mismo modo, se excavaron y eliminaron en la planta de decantación, la contaminación radiactiva de áreas, lechos de antiguos arroyos o zanjas receptoras y vías de tránsito fuera de las áreas de operación.

4.2.3.6 Remediación de áreas de plantas operativas - Crossen

El área de la unidad operativa comprendía varias subáreas (locales de fábrica, ferrocarril de conexión, ruta de tubería, calles y plazas) y asciende a aprox. 30 ha, de las cuales las instalaciones de la fábrica aprox. 21 ha, y se pretendía reutilizarlo como paisaje de llanura aluvial en coordinación con el municipio de Aue respectivamente Crossen.

Extensas investigaciones del suelo habían demostrado que las áreas de las instalaciones de la fábrica contenían depósitos antropogénicos de diferentes orígenes. Estas pilas consistían en depósitos antiguos de la antigua producción de papel (cenizas, escorias, escombros de construcción), así como material de la pila de desechos y relaves mineros de Crossen (Wismut, 2010).

Las mediciones y el muestreo del suelo para la preparación del Catastro Ambiental de Wismut mostraron que gran parte del área en el área central del sitio de la planta estaba contaminada con radionúclidos y arsénico. La razón de esto fue el uso de residuos mineros y material de depósito de relaves de Crossener para la fijación de áreas de almacenamiento, como base de caminos y caminos, como agregado para concreto y como material de relleno para

nivelación del terreno. Además, el suelo estaba contaminado por residuos de minerales que contenían uranio, productos intermedios de procesamiento, soluciones con varios nucleidos y otros contaminantes, así como por desbordamientos y fugas.

Para aclarar aún más las condiciones del suelo y desarrollar opciones de remediación para las áreas de la planta, se llevaron a cabo más investigaciones y evaluaciones técnicas y tecnológicas. Como resultado de los estudios sobre la aplicación de métodos de remediación del suelo, se encontró que la remediación de las áreas de plantas en gran medida solo podía llevarse a cabo mediante excavación mecánica del suelo con la posterior redistribución de sustratos de suelo inerte.

Se han realizado estudios de posibles medidas de seguridad en cuanto al aislamiento hidrológico e hidrogeológico de determinadas zonas. En los últimos años se han llevado a cabo más investigaciones sobre la cantidad y el balance de contaminantes de la vía del agua.

La tecnología de transporte era análoga a la de los escombros de construcción contaminados. Asimismo, se excavaron y dispusieron áreas de contaminación radiactiva, lechos de antiguos arroyos o zanjas receptoras y vías de tránsito fuera de las áreas de operación.

4.2.3.7 Remediación de las plantas de decantación industrial

La remediación de las plantas de sedimentación industrial en el sureste de Turingia y el oeste de Sajonia representó uno de los mayores desafíos en la rehabilitación de restos de minería de uranio. En el momento del cese de la extracción de uranio en 1989, no había ideas técnica, tecnológica y ecológicamente viables para la rehabilitación o salvaguardia.

Wismut GmbH es responsable de la renovación de cuatro plantas de sedimentación industrial. Estos son las Plantas de Culmitzsch y Trünzig en el sitio de Seelingstädt (Turingia) y plantas de decantación Helmsdorf y Dänkritz 1 en el sitio de Crossen cerca de la ciudad de Zwickau (Sajonia). En estas cuatro plantas, los residuos de grano fino del procesamiento del mineral de uranio se enjuagaban a través de tuberías y se almacenaban. Con el cese de la extracción de mineral de uranio, las cuatro plantas cubrieron un área de alrededor de 570 hectáreas.

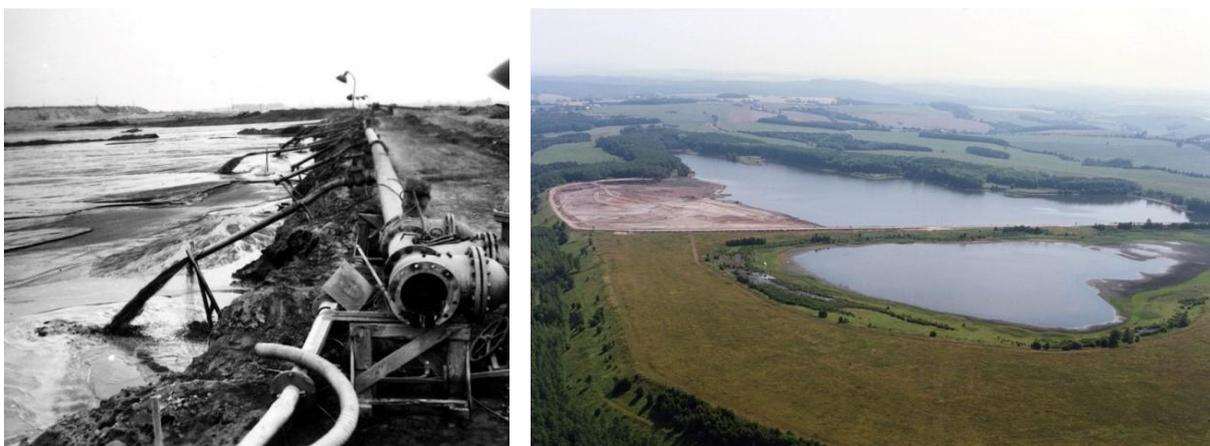


Figura 4-19. Remediación de planta de decantación industrial Trünzig.

Izquierda: enjuague de lodos finos. Derecha: planta de sedimentación Trünzig después del final de la minería (1991)

Fuente: https://www.wismut.de/de/nl-ronneburg_industrielle_absetzanlagen.php

El cese del procesamiento de mineral de uranio en Seelingstädt y Crossen en 1989 tuvo un impacto negativo, especialmente en las plantas de sedimentación. Sobre todo, debido a la disminución gradual del nivel del agua debido a la evaporación y las fugas, las superficies de las playas que se enjuagaban y enjuagaban se secaron y, por lo tanto, aumentó la erosión eólica combinada con el polvo contaminado, así como el lixiviado contaminado que fluyó hacia los arroyos y acuíferos receptores.

Medidas inmediatas: En los primeros años después del final de la extracción de uranio, se tuvieron que tomar medidas de seguridad inmediatas en los cuatro lugares. Inicialmente, las playas de enjuague secas y expuestas se cubrieron con tierra mineral a corto plazo para reducir la expulsión de polvo radiactivo. Para proteger las aguas superficiales y los acuíferos, se ampliaron y se instalaron nuevas cuencas de captación de lixiviados.

Tecnología: Paralelamente a estas medidas iniciales, se investigaron varias opciones de remediación. El objetivo era la custodia a largo plazo de los residuos de procesamiento almacenados. Estos deberían garantizar una reducción suficiente de la contaminación, especialmente para el aire y el agua.

Ni a nivel nacional ni internacional había experiencia e investigaciones para decantar plantas de este tamaño con un potencial considerable de radio, uranio y arsénico, así como sales. Por lo tanto, esta difícil y a la vez compleja tarea sólo podría ser abordada aunando investigaciones científico-técnicas-tecnológicas, realizando trabajos experimentales y piloto, mediante muestreos y mediciones constantes de contaminantes y el grado de contaminación, así como efectos sobre el medio ambiente. ambiente (fuente Chronicle Wismut 2010).

Desde el principio, no solo las autoridades competentes, sino también los portadores de conocimiento nacionales e internacionales se involucraron para resolver esta tarea única en Europa. Se tuvieron en cuenta tres opciones básicas para la posible custodia de los decantadores industriales, ampliamente investigadas y evaluadas:

- Transferencia de los materiales de relaves a otra ubicación para prepararlos para el almacenamiento final.
- Protección de los relaves en el sitio sin medidas técnicas específicas para consolidar los materiales de relaves con el resto del lago residual, es decir, almacenamiento húmedo in situ, pero con un refuerzo significativo de las estructuras de presas más bajas;
- Almacenamiento in situ y salvaguardia de los relaves utilizando medidas específicas para consolidar los relaves con la aplicación de una cubierta final, es decir, almacenamiento en seco in situ

Como resultado de las investigaciones y en base a la tercera opción, se optó por la denominada custodia/almacenamiento en seco in situ como la opción más económica.

La custodia/almacenamiento en seco in situ se llevó a cabo en varios pasos. En la primera fase, se extrajo y trató el agua contaminada que cubre los relaves, las llamadas aguas abiertas. A continuación, la superficie de la planta de decantación se cubrió con un sistema multicapa. Se colocaron ayudas geotécnicas como geovlies, mallas de rejilla de drenaje y geomallas en las áreas de relaves expuestas.

Además, se introdujeron los llamados conductos de drenaje verticales, mechas de drenaje de geotextil de cinco metros de largo. En el curso posterior, se aplicó una cubierta intermedia a esta plataforma de trabajo de soporte de carga, que consistía principalmente en material de pilas de relaves. Debido a la carga sobre el material de la pila de relaves, se aceleró el efecto de una mayor deshidratación. Los drenajes verticales crearon un canal dentro de los relaves.

El agua intersticial de los relaves fue expulsada por el peso muerto de las capas superiores y los materiales de cobertura aplicados y conducidos a la superficie a través de los drenajes verticales. Aquí se acumulaba el agua y podía ser bombeada. Los relaves se drenaron gradualmente y así fueron más estables (Wismut, 2022).

La técnica de perforación de drenaje se ha mejorado y adaptado a lo largo de las décadas de aplicación. Para avanzar aún más en el drenaje incluso a mayores profundidades y así acelerar el fraguado de los relaves, también se introdujeron drenes profundos de hasta 32 metros de largo. Esto creó las condiciones para un contorno integral de la IAA.

En el siguiente paso de trabajo, se creó el contorno final de la planta de decantación mediante lechos de previsión, mediante el relleno o remoción de materiales minerales en las áreas interiores de la presa y la cuenca. En principio, esta tecnología se utilizó y aún se utiliza en las cuatro ubicaciones.

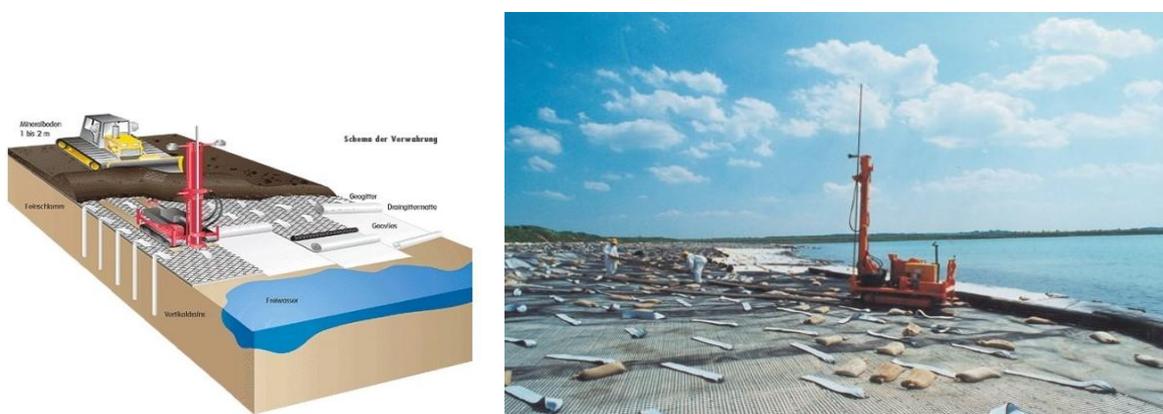


Figura 4-20. Custodia de una planta de decantación

Izquierda: esquema. Derecha: aplicación de la cubierta intermedia.

Fuente: https://www.wismut.de/de/nl-ronneburg_industrielle_absetzanlagen.php

En las decantadoras de IAA Helmsdorf y Culmitzsch se modificó la tecnología de rehabilitación de la cubierta intermedia. Debido a las difíciles condiciones geotécnicas en las zonas centrales de las balsas, los lodos de grano muy fino tuvieron que ser estabilizados antes de la extracción del agua.

Para este propósito, desde una barcaza tolva que flotaba en la superficie libre del agua, se aplicó material de flujo libre (material de desecho minero y residuos de producción reubicados o grava/arena) en varias capas delgadas sobre el lecho de carga baja del cuerpo de agua o subsuelo. Este proceso se denominó cobertura subacuática y se realizó de 2002 a 2003. Una prueba de cobertura había tenido éxito en la IAA Helmsdorf en 1998. En la cuenca A de la planta de sedimentación IAA Culmitzsch se utilizó un grupo de barcos desde la primavera de 2004 y este trabajo se completó en el mismo año.

Perfilado y finalización de la remediación: Actualmente y en los próximos años se está completando el perfilado de las plantas y dotándolas de una cubierta final. En un paso posterior, se deben construir caminos y desagües de agua en las superficies de las plantas de decantación industrial. Finalmente, las estructuras de paisajismo resultantes se reverdecen y plantan. La finalización de la renovación está prevista en Helmsdorf y Trünzig a medio plazo y será más larga en Culmitzsch. Para asegurar el resultado de la reestructuración, serán necesarias tareas a largo plazo.

Con la creciente terminación de áreas, aumenta la necesidad de cuidado y mantenimiento en las plantas de asentamiento industrial. Con la transición a la fase de cuidados posteriores, se convertirán en una tarea importante. En IAA Trünzig, los gastos de cuidado y mantenimiento ya son una de las principales tareas actuales.

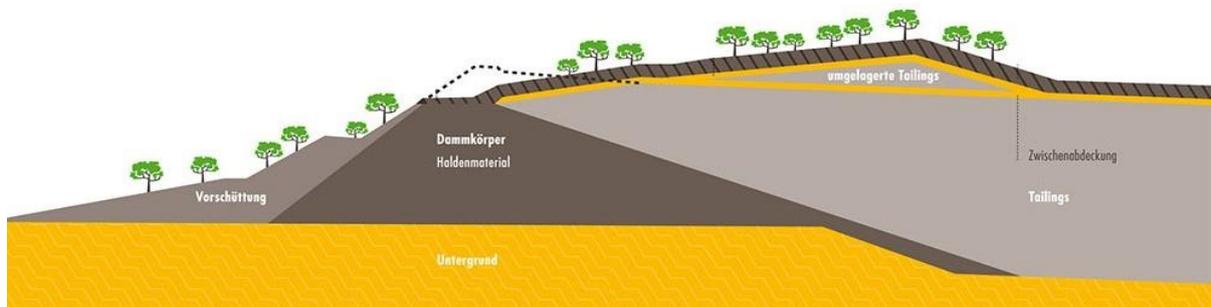


Figura 4-21. Esquema de una planta de decantación industrial completamente remediada

Fuente: https://www.wismut.de/de/verwahrung_iaa.php

En 2020 y 2021, Wismut GmbH realizó un extenso estudio sobre el origen del radionúclido plomo (Pb)-210 en la hierba del IAA Trünzig renovado. Hasta el momento, las áreas no han sido liberadas para la ganadería, ya que se sospechaba una conexión entre los residuos almacenados y el contenido de Pb-210 en el pasto. Se ha demostrado que este nucleido relacionado con la dosis está sujeto a las mismas fluctuaciones en el IAA que en áreas que nunca se han visto afectadas por la extracción de uranio. Este resultado confirma la alta calidad de la remediación. Como consecuencia de este estudio, la autoridad aprobó el pastoreo irrestricto de la zona por parte de animales de granja, sujeto a muestreo posterior (Wismut, 2021).

4.2.4 Gran Proyecto Ecológico SAXONIA Freiberg

La protección de los relaves se realiza mediante una cubierta, la cual tiene una calidad de cubierta diferente según el sitio. La **Tabla 4-12** muestra las diferencias de los grupos de cobertura.

Los siguientes requisitos se imponen a los materiales de la cubierta:

- Materiales cohesivos del suelo
- Conductividad hidráulica $\leq 10^{-5}$ m/s
- Compactado en capa
- Consistencia dura (ver DIN 18196)
- Los límites de instalación dependen de los valores de fondo y del sitio contaminado.
- Se aplica la prohibición de deterioro y el requisito de mejora (sin potencial de peligro nuevo).

Tabla 4-12. Requisitos - grupos de cobertura en el proyecto del sitio SAXONIA.

cover group A	modified cover group A e.g. sludge dump Hammerberg	cover group B/C e.g. plateau of coarse tailings pile Davidschacht
	cover layer I (topsoil) 0.2 m	cover layer I (topsoil) 0.3 m
cover layer I (topsoil) 0.2 m	cover layer II (storage layer) 2-layer each 0.4 m	cover layer II (storage layer) 2-layer each 0.7 m
cover layer II (storage layer) 2-layer each 0.4 m	insulation layer ($< 10^{-6}$ m/s) 2 x 0.50 m	drainage mat sealing layer ($< 10^{-8}$ m/s) here: Trisoplast [®] (0.07 m)
leveling layer for profiling	leveling layer for profiling	leveling layer for profiling ≥ 0.2 m
dump material	dump material	dump material

Fuente: "Utilization of soil materials of the Freiberg area in the remediation of contaminated sites" presentación SAXONIA

Para el relleno de la capa de perfilera y la capa de cubierta se utilizó suelo excavado de la misma calidad de la zona de Freiberg en el proyecto SAXONIA. Para el área de Freiberg se trata de cuatro áreas parciales con los principales parámetros arsénico, plomo y cadmio. Las concentraciones se dan en la **Tabla 4-13**. Por lo tanto, se cumple la prohibición de deterioro.

Tabla 4-13. Concentraciones de fondo de arsénico y metales para la región de Freiberg según la ordenanza del área de planificación del suelo.

concentration [mg/kg]	subarea 1	subarea 2	subarea 3	subarea 4
arsenic	$< 57,5$	≤ 265	≤ 790	> 790
cadmium	$< 1,0$	$\leq 4,1$	$\leq 9,0$	$> 9,0$
lead	< 175	≤ 765	≤ 1685	> 1685
concentrations	<i>slightly increased</i>	<i>increased</i>	<i>high</i>	<i>very high</i>

4.3 Remediación de aguas afectadas por minas

4.3.1 Plantas de tratamiento de agua en las antiguas áreas de extracción de uranio de Wismut

Los sitios de referencia presentados brevemente en el **Capítulo 3.2.2** Dresden Coschütz/Gittersee, **Capítulo 3.2.3** Königstein y **Capítulo 3.2.4** Seelingstädt y Crossen ya tenían plantas para el tratamiento de agua contaminada con contaminantes durante el período operativo hasta 1989. Wismut GmbH ha ampliado estos sistemas existentes y los ha adaptado constantemente a los nuevos requisitos.

Las plantas de tratamiento de agua (PTA) en Dresden Coschütz/Gittersee fueron desmanteladas después de la finalización del trabajo de rehabilitación: el agua subterránea de las cavidades del pozo inundado, que está solo ligeramente contaminada, fluye hacia el Elba de manera controlada a través del Wismut- Stolln y el Tiefer-Elbstolln. También en Crossen, después de la demolición de las instalaciones operativas y la reubicación del material de la pila de desechos mineros y de producción, no se necesita una planta más grande para el agua que fluye hacia el receptor Zwickauer Mulde.

Wismut GmbH actualmente opera seis plantas de tratamiento de agua en Sajonia y Turingia, en las que los contaminantes relevantes se eliminan mediante procesos químicos/físicos.

En el siguiente texto, las plantas existentes, y también activas en el futuro, Seelingstädt y Helmsdorf (la primera para el sitio de referencia Seelingstädt y la segunda para el vertedero de desechos mineros y residuos de producción Dänkritz, donde ahora se encuentra el almacenado el material contaminado del sitio de referencia Crossen), Ronneburg (para el distrito minero Ronneburg) y Königstein (para el sitio de referencia del mismo nombre) se presentan (Wismut, 2010).

Plantas de tratamiento de agua en Seelingstädt y Helmsdorf



Figura 4-22. Planta de tratamiento de agua (PTA) en Seelingstädt

Fuente: <https://www.wismut.de/de/pressefotos.php>, 05.04.2011

En la PTA Seelingstädt se trata el agua de los antiguos depósitos de sedimentación industrial Culmitzsch y Trünzig. Estas son aguas superficiales libres que aún existen en el sitio de Culmitzsch, así como lixiviados que se escapan y que se recolectan en las cercanías de ambas plantas de sedimentación. Las aguas por tratar tienen un carácter ligeramente alcalino. Los principales contaminantes que deben eliminarse son el uranio, el radio y, condicionalmente, el arsénico. Los residuos resultantes se solidifican con cemento y se almacenan en puntos habilitados en el área de la decantadora de Culmitzsch. Las aguas tratadas son finalmente vertidas al arroyo Culmitzsch. La PTA está diseñada para un rendimiento de hasta 330 m³/h. Su vida útil será de más de 20 años.

La PTA Helmsdorf trata el agua producida por las plantas de decantación industrial en el sitio. Son las aguas superficiales libres disponibles temporalmente y los lixiviados acumulados y recogidos en las inmediaciones de las plantas de decantación. Las aguas por tratar tienen un carácter ligeramente alcalino y se caracterizan por niveles relativamente altos de arsénico y uranio. El radio también se separa específicamente aquí. Los residuos del tratamiento del agua se inmovilizan con cenizas y cemento y se almacenan en lugares designados en el área de la planta de sedimentación de Helmsdorf. Las aguas tratadas se vierten directamente en el Zwickauer Río Mulde. El rendimiento de la WBA es de aprox. 200 m³/h. Se estima que será necesario tratar el agua en el sitio de Helmsdorf durante varios años por venir.

La PTA Helmsdorf, que operó desde 1995 hasta 2021, fue reemplazada por una nueva instalación en 2021. Esto se hizo necesario para poder reemplazar el "proceso de precipitación con cal modificada" aplicado por el proceso de "intercambio iónico y adsorción". Esto supone una reducción de la capacidad de 200 m³ /h a 80 m³ /h. Aquí, los contaminantes del agua se eliminan por medio de ciertas resinas de intercambio iónico y los llamados adsorbentes. El contaminante adherido a la resina (especialmente el uranio) puede eliminarse químicamente. La resina se regenera y, por lo tanto, se puede utilizar varias veces. Este método fue utilizado por Wismut GmbH en el sitio de Königstein para separar el uranio del agua de inundación hasta 2021. En el tratamiento de agua recién construido en Helmsdorf, este proceso ahora también se usa para eliminar contaminantes de manera específica y en gran medida automatizada y para reducir la cantidad de material residual. El adsorbedor (Ferosorp) también se utiliza para separar el arsénico y el radio.

Debido a la lenta disminución de las concentraciones de contaminantes en las aguas recolectadas, el tratamiento del agua es una tarea a largo plazo que debe llevarse a cabo durante muchos años o décadas. Los gastos necesarios representan la parte predominante de los costos para el mantenimiento posterior de los objetos remediados.

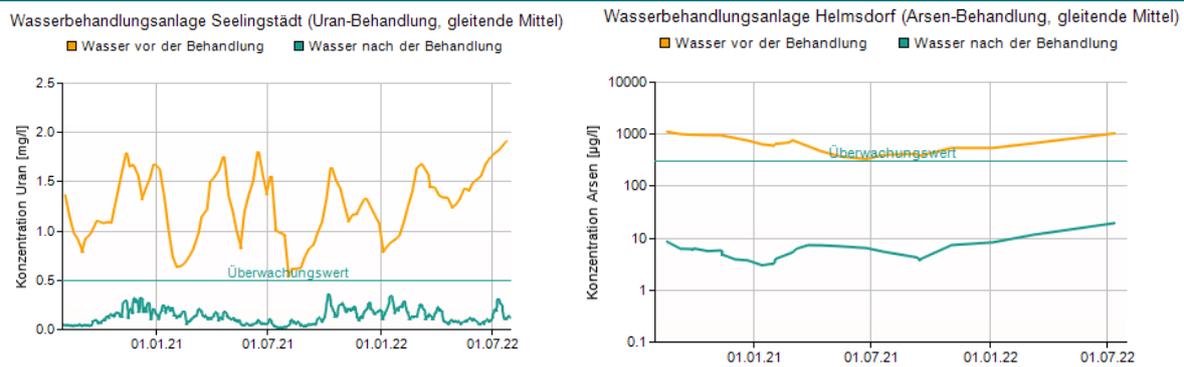


Figura 4-23. Eficiencia de la PTA Seelingstädt y Helmsdorf

Izquierda: Contenido de uranio (mg/L) en Seelingstädt. Derecha: contenido de arsénico (µg/L) en Helmsdorf.

NOTA: Curvas naranjas: toma de agua y curvas verde-azul: media después del tratamiento; la línea verde horizontal significa el valor límite de salida permitido

Fuente: https://www.wismut.de/de/sanierung_messungenstandorte.php?station=seelingstaedt and https://www.wismut.de/de/sanierung_messungen-standorte.php?station=helmsdorf

PTA Seelingstädt: La concentración de la sustancia radiactiva uranio en el agua a tratar (curva naranja en la **Figura 4-23**) varía dependiendo de las proporciones de la mezcla de cuenca/precipitación, así como del lixiviado recolectado y el agua intersticial de la planta de decantación. En el proceso de tratamiento del agua, esto se reduce en un promedio de alrededor de un orden de magnitud (curva verde-azul). El rendimiento de limpieza está orientado hacia el cumplimiento seguro del valor límite de control definido oficialmente en el agua de descarga. En 2021, se trataron unos 255 m³ de agua por hora y luego se vertieron en el arroyo Culmitzsch. La necesidad de tratamiento de agua solo se eliminará en el futuro si ya no es necesario bombear agua intersticial después de completar la remediación y el lixiviado que se filtra es insignificante en términos de cantidad y concentración (Wismut, N.d. 1).

PTA Helmsdorf: La concentración de la sustancia arsénico conocida como tóxica en el agua a tratar varía en función de las proporciones de mezcla del lixiviado recogido y las aguas superficiales del subsuelo y alrededores (curva naranja en la **Figura 4-23**). En el proceso de tratamiento del agua, esto se reduce en aproximadamente dos órdenes de magnitud (curva verde-azul). El rendimiento de limpieza está orientado principalmente al cumplimiento del valor de control definido oficialmente en el agua de descarga. El rendimiento de limpieza está orientado principalmente al cumplimiento del valor límite de control definido oficialmente en el agua de descarga. En promedio, alrededor de 21 m³ de agua por hora se trataron con la planta existente en 2021 y luego se descargaron en el Zwickauer Mulde.

La necesidad de tratamiento de agua en la PTA Helmsdorf se eliminará en el futuro si, después de completar la remediación, los estanques de sedimentación Helmsdorf y Dänkritz I están completamente cubiertos, o si el lixiviado que se filtra es insignificante en términos de cantidad y concentración.

Planta de tratamiento de agua en Ronneburg



Figura 4-24. Planta de tratamiento de aguas EDAR en Ronneburg con zona de almacenamiento de contaminantes inmovilizados detrás.

Fuente: <https://www.wismut.de/de/pressefotos.php>, 05.06.2015

La planta de tratamiento de agua PTA Ronneburg no se ha mencionado en los capítulos anteriores, pero se incluye aquí para completar la encuesta, porque utiliza un proceso de limpieza diferente y parte de los residuos inmovilizados de otras PTA se depositan aquí.

En la EDAR Ronneburg se trata el agua producida durante la inundación de las labores subterráneas de la mina. Esta agua de mina es una típica agua de minería, que se caracteriza por un valor de pH en el rango ácido y un alto contenido de metales pesados (especialmente hierro, níquel, zinc). A diferencia de las tareas de las otras plantas de tratamiento de agua de Wismut GmbH, los componentes radiactivos juegan un papel menos importante. El agua de la inundación se suministra a la PTA Ronneburg a través de una captación de agua en el valle de Gessental. La descarga del agua tratada se realiza a través de la zanja Wipse en el Wipse y como estaba previsto, en 2006 se activó la captación/captación de agua en el Gessental y se puso en funcionamiento la depuradora. Actualmente, la planta es capaz de tratar aproximadamente 850 metros cúbicos de agua de mina contaminada por hora. Se espera una vida útil de hasta 25 años.

Planta de tratamiento de agua en Königstein

Durante la inundación controlada de la mina Königstein, el agua de la mina contaminada con contaminantes debe ser extraída y tratada. Solo entonces estas aguas podrán ser vertidas al agua receptora (Wismut, 2010).

De 2001 a 2021, la planta utilizó un proceso basado en el intercambio de iones (consulte la descripción de PTA Helmsdorf), principalmente para separar y vender el uranio. Además, se utilizó el proceso de precipitación de cal con recirculación parcial de lodos/HDS. Los contenidos decrecientes de uranio permitieron -tras pruebas previas- convertir la planta completamente a precipitación de cal con recirculación parcial de lodos/proceso HDS. La PTA

convertida entró en operación regular en 2021. La limpieza completa del agua de la inundación ahora se ejecuta a través del nuevo sistema (Wismut, 2021).



Figura 4-25. Planta de tratamiento de agua PTA en Königstein con cuencas de sedimentación antes de la descarga de agua al río Elba

Fuente: https://www.wismut.de/de/nl-koenigstein_wasserbehandlung.php

En la planta se eliminan del agua uranio, radio y metales pesados mediante procesos de precipitación con cal. Después de asentar los sólidos en el espesador y clarificar el agua tratada en un depósito especial llamado “Klarwasserschönungsbecken” (depósito de tratamiento avanzado de agua clara), se descarga en el Elba. Los residuos deshidratados se depositan en el área de almacenamiento especial de la instalación de eliminación de residuos mineros de Schüsselgrund de tal manera que no pueden representar un riesgo para las personas o el medio ambiente.

Para mantener el nivel de inundación en 2021, se tuvo que extraer aproximadamente 1,8 millones de m³ de agua de inundación. Una parte muy pequeña se volvió a sumergir en el pozo sin tratar durante la operación de prueba de la PTA convertida por razones tecnológicas. El rendimiento de la EDAR convertida en 2021 ascendió a casi 2 millones de m³ de agua. Esto incluye el agua de la inundación y alrededor de 0,35 millones de m³ de agua superficial. El agua tratada fluía hacia el Elba. La PTA convertida requiere significativamente menos energía que el sistema anterior. Sobre todo, la reorganización de las etapas del proceso, que evitan el transporte "cuesta arriba" dentro del tratamiento de agua, mejoró la eficiencia energética. (Wismut, 2021)

Debido a la situación actual de aprobación, el tratamiento de aguas de inundación del mismo orden de magnitud que antes seguirá siendo necesario por un período de tiempo indefinido.

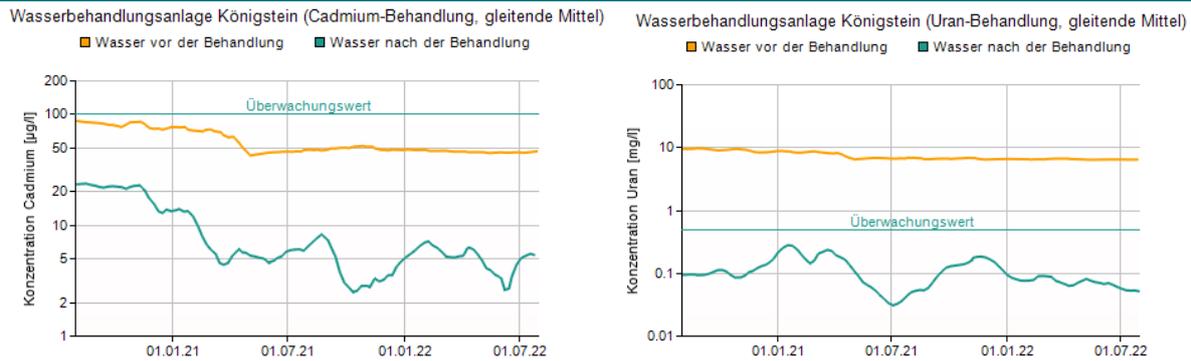


Figura 4-26. PTA Königstein,

Izquierda: contenido de cadmio ($\mu\text{g/L}$), derecha: contenido de uranio (mg/L).

NOTE: Orange curves: water intake and green-blue curves: means after treatment; green horizontal line means allowed outlet limit value.

Fuente: https://www.wismut.de/de/sanierung_messungen-standorte.php?station=koenigstein

La concentración del metal pesado cadmio en el agua de inundación (curva naranja en la **Figura 4-26**) varía según el proceso de inundación. Después de concentraciones de entrada inicialmente muy altas de más de $1000 \mu\text{g/L}$, la concentración de cadmio ha sido de $50\text{-}100 \mu\text{g/L}$ durante varios años debido a los efectos de lixiviación y, por lo tanto, por debajo del valor de descarga permisible. Los años 2020 y 2021 estuvieron marcados por la implementación de la operación de prueba de la planta de tratamiento de agua reconvertida. A pesar del cambio de tecnología, la concentración de cadmio podría reducirse entre un cuarto y una décima parte y, por lo tanto, podría lograrse un efecto positivo adicional en la carga de contaminantes en el Elba (curva verde-azul). En 2021, se vertió en el Elba una media de unos 214 m^3 de agua por hora. Más cantidades de agua purificada se volvieron a filtrar en el pozo. A largo plazo, se elimina la necesidad de tratamiento de agua si los espacios del pozo inundado no representan una amenaza inadmisibles para los bienes protegidos circundantes.

La concentración de la sustancia radiactiva uranio en el agua de inundación (curva naranja en la **Figura 4-26**) varía según el proceso de inundación. Después de concentraciones de entrada inicialmente muy altas de más de 250 mg/L , la concentración de uranio es actualmente de alrededor de 7 mg/L debido a los efectos de lixiviación. Los años 2020 y 2021 estuvieron marcados por la implementación de la operación de prueba de la planta de tratamiento de agua convertida, en la que no se lleva a cabo una separación de uranio por separado. A pesar del cambio de tecnología, la concentración de uranio podría reducirse hasta en dos órdenes de magnitud y, por lo tanto, los valores de monitoreo definidos oficialmente podrían cumplirse de manera confiable (curva verde-azul).



Figura 4-27. Espeador de alto rendimiento en WTB Königstein.

Fuente: https://www.wismut.de/de/nl-koenigstein_wasserbehandlung.php

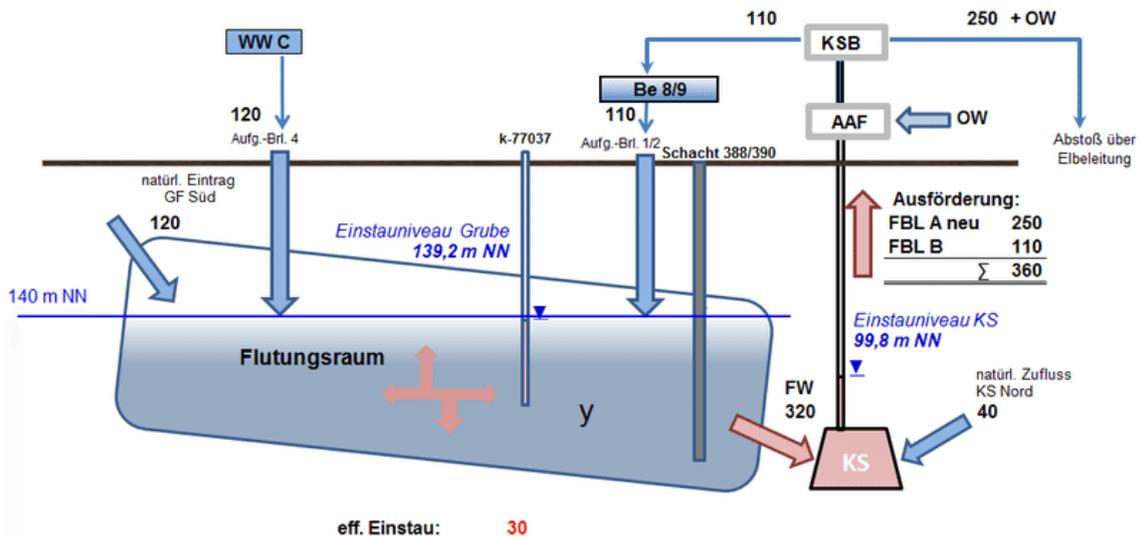


Figura 4-28. Diagrama de la gestión actual del agua de la mina Königstein.

Fuente: https://www.researchgate.net/Figura/Abb-2-Schema-des-aktuellen-Wassermanagements-der-Grube-Koenigstein-Im-Rahmen-der-Flutung_fig1_322024717/download

4.3.2 Planta de tratamiento de aguas de fugas y filtraciones en el sitio de relaves de Bielatal

Tareas de tratamiento de agua

Se ha planificado la instalación de una planta de tratamiento de agua para reducir la entrada de arsénico al arroyo Biela por fugas y filtraciones de agua del área de relaves de Bielatal. Es necesario tratar un caudal de agua de fuga medio de 50 m³/h. Los resultados de la planificación han sido confirmados por las autoridades. Actualmente, la construcción de la planta se está preparando.

Los parámetros medios de calidad del agua de fuga de entrada para el diseño de la planta son:

- Arsénico 1.0 mg/L
- Hierro (total) 2.5 mg/L
- Sólidos totales disueltos STD 160 mg/L
- pH 7.2

Según declaraciones de las autoridades del agua, el arsénico disuelto a la salida de la planta de tratamiento debe ser < 0,4 mg/L. El arsénico, pero también el cobre y el zinc, también deben controlarse en la fracción TDS (fracción <63 µm). Teniendo en cuenta las concentraciones de fondo, los valores de TDS deben cumplir con los siguientes valores límite permitidos: arsénico 123 mg/kg, cobre 197 mg/kg y zinc 800 mg/kg. Se necesitaba un permiso exclusivo de las autoridades del agua de la UE para la seguridad de la región aguas abajo. El tratamiento de lodos requiere un espesamiento en la etapa de sedimentación (hasta un 0,9% de materia seca) y un contenido máximo de materia seca del 8% para el espesador de lodos.

Concepto básico de ingeniería de procesos

Todo el sistema está planificado para tratar los lixiviados influenciados por la minería construida. El lixiviado se recolecta en una zanja de lixiviado y se alimenta a la estructura de toma y distribución. Durante la lluvia, el flujo de entrada puede exceder la capacidad de tratamiento. Luego, el exceso de agua se descarga a través del rebosadero de una zanja de infiltración en el canal de drenaje. Luego de la etapa de separación, el agua de filtración es tratada químicamente. Se realiza en dos carriles con redundancia. Las primeras cubetas de limpieza química sirven para la desgasificación (aireación) y la mezcla por burbujeo en el aire. Se añade un floculante en un segundo paso a un tanque de reacción para la floculación. Las escamas de hierro-arsénico se separan del lixiviado por sedimentación. Luego, el lixiviado se pasa a través de un separador de láminas y el agua limpia se vierte al canal de drenaje. El lodo de la sedimentación primero se espesa y luego se almacena. Para la eliminación de lodos, se encuentra disponible un sistema de deshidratación móvil.

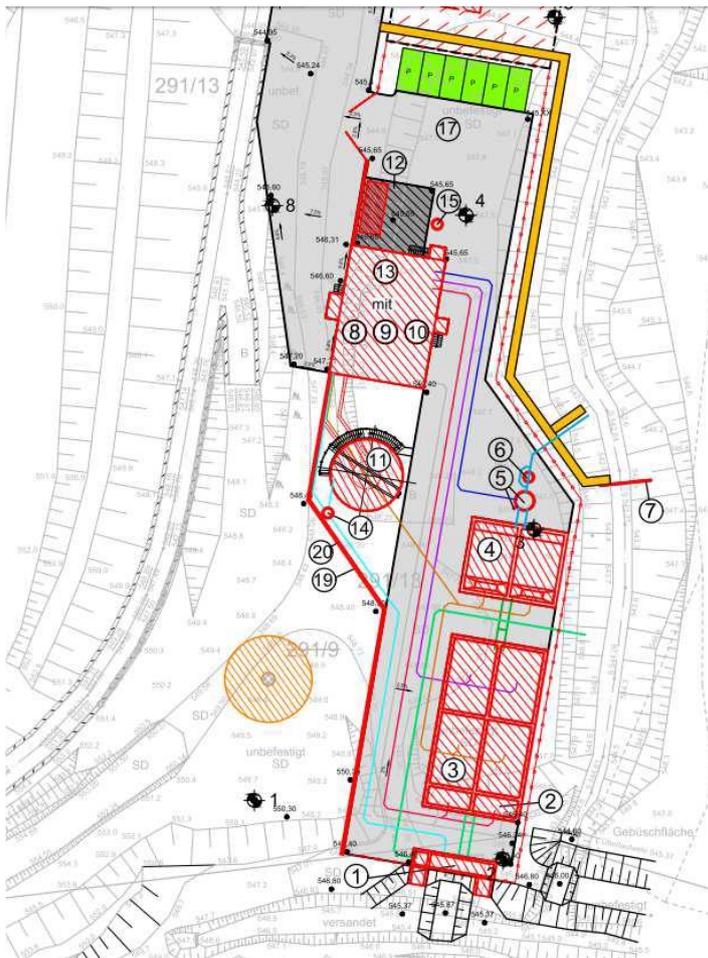
Objeto 1 - bocatoma y distribución: Está diseñado como una estructura monolítica de hormigón armado con dimensiones externas de L (largo) x A (ancho) x A (alto) = 9.7 m * 3.9 m * 1.5 m. Si es necesario, las corrientes de lixiviado A, B y C pueden separarse en las cámaras de la cuenca mediante un sistema de válvulas. Los lixiviados poco contaminados también pueden pasar por alto la planta a través de un vertedero Thomson. Las áreas de entrada están equipadas con pantallas gruesas.

Objeto 2 - Tratamiento químico: El tratamiento químico consta de una estructura compacta, que se divide en un tanque de aireación y mezcla (TO2.1) y un tanque de reacción (TO2.2).

Objeto 3 – Sedimentación: La separación de escamas de hierro-arsénico ocurre en tanques de sedimentación rectangulares de flujo horizontal ascendente con separadores inclinados. La balsa de sedimentación es una balsa de sedimentación monolítica de hormigón armado con embudo y francobordo. El volumen del estanque es $V = 100 \text{ m}^3$ ($L \times W \times H = 8.0 \times 3.5 \times 3.5 \text{ m}$). Los sedimentos previamente espesados se extraen del embudo de extracción y la lechada de hidróxido de hierro se bombea a un tanque de almacenamiento de lodos para su espesamiento. Las propiedades de sedimentación y espesamiento se pueden mejorar con un retorno de lodo opcional. El agua limpia se extrae al canal de drenaje de agua clara y al foso de agua de infiltración.

Objetos 4 y 6: planta de floculación y suministro de floculante: el floculante (cloruro de Fe-III) se envía a un silo de almacenamiento de PE ($V = 25 \text{ m}^3$). El suministro de floculante (tecnología de procesamiento, dosificación y transporte) se encuentra en el edificio de operaciones. La solución de floculante se almacena en un recipiente ($V = 1 \text{ m}^3$). La solución madre se mezcla además con agua de proceso en un mezclador estático y se transporta al punto de dosificación del tanque de mezcla y aireación.

Objeto 7 - Tratamiento de lodos: Consta de una sección de Espesamiento y almacenamiento de lodos (TO7.1) y una sección de Deshidratación y acondicionamiento de lodos (TO7.2). El volumen de lodos de sedimentación que contienen arsénico se reduce aún más mediante un espesador (tanque de almacenamiento de lodos cerrado como una construcción de hormigón con láminas de paredes múltiples de PE-HD). El diámetro interior del tanque es 7.5 m. El filtrado se elimina a través de una extracción automática de agua y se devuelve al procesamiento. El lodo puede circular allí para mejorar el espesamiento. El tiempo de almacenamiento está diseñado para cuatro meses y el volumen de almacenamiento necesario es de 250 m^3 . La inspección visual y la medición se pueden realizar en el edificio de operaciones para detectar fugas y todos los flujos de proceso. La deshidratación y acondicionamiento de los fangos se realiza mediante un sistema móvil. Para esto se planea un área sellada. El canal de drenaje se conecta al extremo inferior de esta zona mediante una tubería de PE-HD.



1. Ingreso y distribución
2. Aireación y mezcla
3. Tanque de reacción
4. Cuenca de sedimentación
5. Almacenamiento de agua de proceso
6. Ranura de medición de flujo
7. Presa de Thomson
11. Tanque de almacenamiento y espesamiento de lodos
13. Edificio de operaciones con almacenamiento de químicos y planta de floculación.

Figura 4-29. Planta de tratamiento de agua y lodos para fugas de arsénico de relaves de Bielatal

Fuente: LMBV mbH and PROWA GmbH (Ver Anexo 1)

4.3.3 Tratamiento pasivo de agua de mina en Force Crag (Reino Unido)

Force Crag Mine es una mina subterránea abandonada ubicada en el Parque Nacional Lake District, Cumbria (Reino Unido). Durante años se consideró como una fuente importante de contaminación por metales en las vías fluviales locales. La mineralogía del yacimiento está dominada por baritina (BaSO_4), galena (PbS) y esfalerita (ZnS); desde 1835 hasta 1991, la mina única se extrajo utilizando 9 niveles interconectados que se numeraron en secuencia según su elevación, siendo el nivel 0 el más bajo (Mayes et al., 2021). Actualmente, el drenaje de esta mina fluye a través del “Nivel 1 (Nivel Uno)” hacia un sistema de tratamiento. Según la investigación de Jarvis et al. (2015), Gandy et al. (2021) y Mayes et al. (2021), este efluente tiene bajas concentraciones de los iones mayoritarios, sin embargo, tiene una alta concentración de zinc, en el rango de 1253 a 4600 $\mu\text{g/L}$; en 2014 se implementó un sistema de tratamiento pasivo con el objetivo de remover zinc, el cual alcanzó una eficiencia global entre 70 y 99%.

El **sistema de tratamiento pasivo en Force Crag** consiste en una combinación de dos tecnologías, como primera etapa dos biorreactores de compost de flujo descendente, o **Vertical Flow Pond (VFP)** que operan en paralelo y luego un humedal (**Figura 4-30, Tabla 4-14**). El diseño ocupa un espacio mínimo debido a las limitaciones del terreno, lo cual es muy común en regiones montañosas con topografía escarpada (Wilson et al., 2010). Además, los residuos de otras industrias y el compost se utilizan en la construcción como sustrato para VFP, este compost proporciona una fuente de carbono y condiciones anóxicas para el desarrollo de la reducción de sulfatos bacterianos que inmovilizan los principales metales contaminantes como el zinc, el plomo y el cadmio (Gandy et al., 2021).

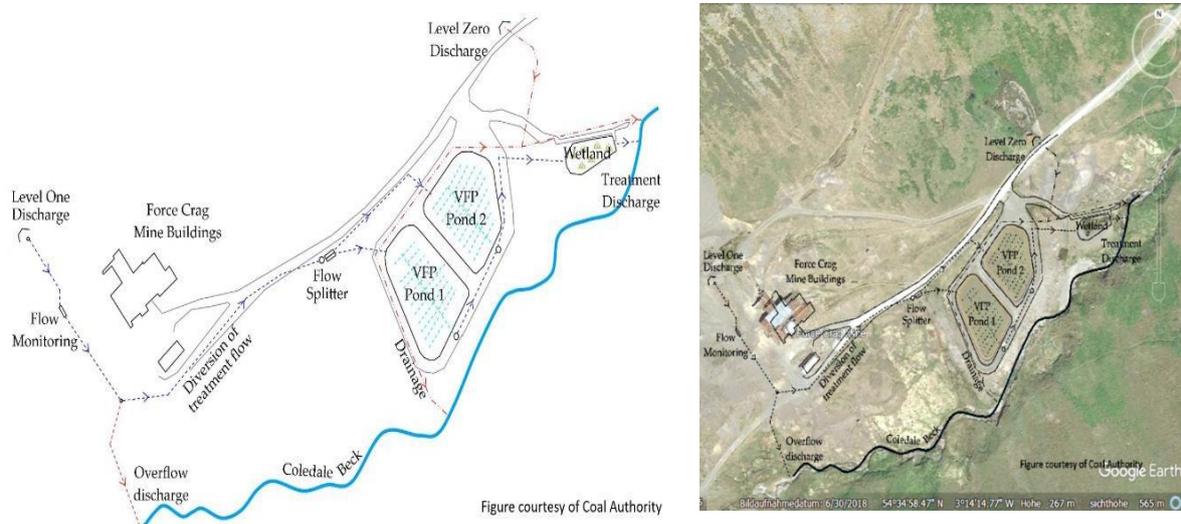


Figura 4-30. Trazado y distribución espacial del sistema de tratamiento Force Crag.

Fuente: Jarvis (2015)

Como se muestra en la **Figura 4-31**, cada VFP está revestido con polietileno de alta densidad (HDPE) para evitar fugas y tiene en su base 4 redes de tuberías perforadas, que están cubiertas por una capa de piedra caliza de 200 mm y una capa de sustrato de compost de 500 mm. Las tuberías pasan a un pozo de acceso, en el que se debe asegurar una cubierta de agua de 350 mm (Jarvis et al., 2015)

Tabla 4-14. Características del sistema de tratamiento de agua Force Crag Mine

	Estanque VFP 1	Estanque VFP 2	Humedal
Tasa de flujo	3 L/s	3 L/s	6 L/s
Área	760 m ²	760 m ²	
Volumen	400 m ³	400 m ³	6 L/s
Pendiente interna	1:2.5	1:2.5	-
Residencia hidráulica	15 -20 h	15 -20 h	-
Sustrato	840 m ³ Mezcla de 45% astillas de madera, 45% compost de residuos municipales y 10% lodos de depuradora digeridos.		
Eficiencia general del sistema	97.8 % zinc; de una media de 3,660 µg/L a una media de 80 µg/L 90.6% cadmio; de una media de 15.1 µg/L a una media de 1.25 µg/L 91% de plomo; de una media de 38.3 µg/L a una media de 3.67 µg/L		

Fuente: Adaptado de Bailey et al (2016), Gandy et al. (2021) y Mayes et al. (2021)

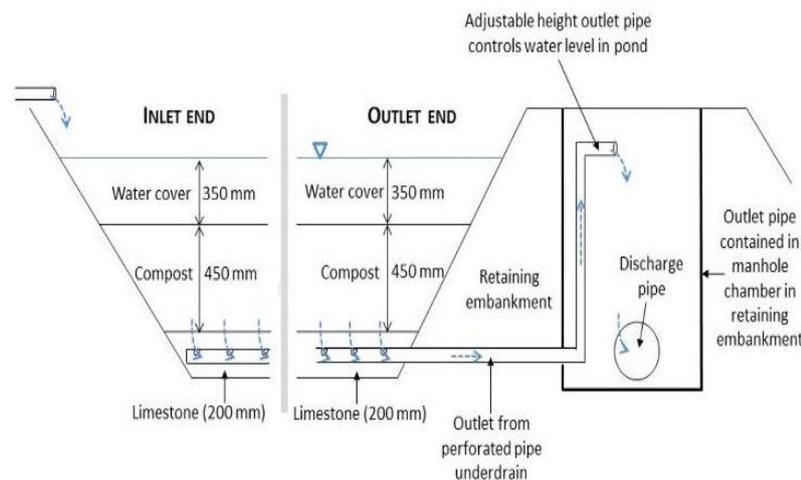


Figura 4-31. Diseño del Estanque de Flujo Vertical (VFP) implementado en Force Crag

Fuente: Jarvis (2016), <https://bc-mlard.ca/files/presentations/2016-21-JARVIS-WATSON-operations-maintenance-downward-flow-compost.pdf>

Según lo informado por Mayes et al. (2021), durante la operación del sistema de tratamiento pasivo se observó una disminución progresiva en la eficiencia y un aumento sincrónico del nivel del agua en los estanques, también se notó una densa formación de algas, estas condiciones indicaron una posible reducción en la permeabilidad del medio, lo que impedía que el agua fluyera adecuadamente a través del medio generó zonas anóxicas, como respuesta se realizó una limpieza rutinaria de las algas luego de lo cual el nivel del agua disminuyó. Además, tras un periodo de cese del tratamiento, la eficacia global se redujo al 70% el día 1596 (4 años y 4 meses aproximadamente) de funcionamiento, por lo que se renovó completamente el sustrato compuesto por una mezcla de compost y astillas de madera, el último mejoró la permeabilidad del sustrato. Después de esta mejora, la eficiencia de todo el sistema de tratamiento pasivo se recuperó gradualmente hasta el 99%.

4.3.4 Preselección de métodos adecuados para aplicar en las condiciones peruanas

Para preseleccionar métodos de tratamiento adecuados para su aplicación en las condiciones peruanas, se debe realizar una comparación cuantitativa entre métodos. Se evaluaron los criterios para la selección de métodos discutidos previamente en la sección 2.4 y se seleccionaron los criterios relevantes para su aplicabilidad en Perú. Los criterios seleccionados fueron los siguientes:

Criterios de las características del sitio:

- **Espectro de contaminantes:** Es relevante determinar la capacidad de cada método de tratamiento para actuar sobre un determinado espectro de contaminantes. Según el informe presentado por la Autoridad Nacional del Agua del Perú (ANA, 2015), con base en el monitoreo continuo de la calidad del agua de 98 cuencas, se detectaron concentraciones de ciertos elementos por encima de los estándares de calidad ambiental. De estos contaminantes, los relacionados con la actividad minera son: **aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo, zinc y sulfato.**

Criterios de la función de tratamiento:

- **Capacidad de caudal volumétrico:** Los diferentes métodos de tratamiento son más o menos sensibles a las variaciones en el caudal de entrada. Los caudales altos o bajos pueden determinar el método de tratamiento adecuado. Durante eventos extremos de lluvia, se puede exceder la capacidad de diseño de un sistema de tratamiento de agua. En estos casos, se pueden hacer acuerdos con las autoridades y las partes interesadas para eludir el tratamiento a fin de preservar las instalaciones de tratamiento. Las altas tasas de flujo de estos eventos pueden causar la dilución de los contaminantes, disminuyendo las concentraciones. Las plantas de tratamiento no están diseñadas con capacidades para eventos extremos ya que esto incrementaría los costos considerablemente. Aunque es un criterio importante para seleccionar un método de tratamiento de agua adecuado, depende mucho de las características específicas de cada caso, y una evaluación general de este criterio no es adecuada. Por lo tanto, no se incluirá en la evaluación cuantitativa, pero debe considerarse como un criterio importante.
- **Financiamiento:** Inversión requerida para la implementación y operación del proyecto de tratamiento de agua. Los gastos se pueden dividir en:
 - o **Gastos de capital (CAPEX):** Materiales, equipos, etc.
 - o **Costos de operación (OPEX):** Energía, personal, monitoreo, mantenimiento.

Cada división de costos se considera por separado para la evaluación cuantitativa de los métodos de tratamiento. Se considera que los gastos de capital tienen un peso mayor en la calificación, mientras que los costos operativos tienen un peso menor. Esto se debe a que el costo de la mano de obra es menor en Perú, en comparación con Alemania. El peso mínimo en Perú al 2022 es de aproximadamente USD 280 (Decreto Supremo N° 003-2022-TR), considerando 48 horas de trabajo.

A cada criterio se le asigna un valor de ponderación, de la siguiente manera:

- Espectro de contaminantes: 40%
- CAPEX: 40%
- OPEX: 20%

La **Tabla 4-15** muestra los puntajes asignados para cada criterio, mientras que la evaluación cuantitativa de los métodos de tratamiento de agua presentada en la **sección 2.4.2** se presenta en la **Tabla 4-16**. Cada criterio recibió una puntuación y luego se ponderó para obtener una puntuación total. **Las puntuaciones más altas representan métodos más apropiados para su aplicación.**

Tabla 4-15. Criterios de evaluación y puntuaciones correspondientes.

Puntaje	Espectro de contaminantes	CAPEX	OPEX
1	1 contaminante con limitaciones (requiere pretratamiento)	Alto/Indefinido (solo planta piloto disponible)	Elevado
2	1 contaminante	Medio-alto	Medio-alto
3	2 contaminantes	Medio	Medio
4	3 contaminantes	Medio-bajo	Medio-bajo
5	Toda la gama	Bajo	Bajo

Tabla 4-16. Métodos de puntuación según los criterios aplicables en el Perú

N°	Métodos	Espectro de contaminantes (40%)	CAPEX (40%)	OPEX (20%)	Total (100%)
1	Reducción de sulfato autotrófico	4	2	2	2.8
2	Reducción de sulfato heterótrofo	4	2	3	3.0
3	Barreras reactivas in situ	4	2	3	3.0
4	Humedales construidos aeróbicamente	3	3	5	3.4
5	Humedales artificiales anaeróbicos	3	3	5	3.4
6	Proceso de Schwertmanita	3	2	3	2.6
7	Proceso de membrana (nanofiltración)	2	1	3	1.8
8	Alfombras de reacción para el tratamiento de aportes de aguas superficiales	3	3	3	3.0
9	Tratamiento oxidativo de agua de mina	4	2	4	3.2
10	Electrólisis de membrana	3	1	3	2.2
11	Reactores en lago para separación de sulfato reductor	4	1	3	2.6
12	Proceso In-Lake para la neutralización del agua	2	2	3	2.2
13	Acondicionamiento del lago	2	1	2	1.6

Sobre la base de los resultados de la comparación cuantitativa, se preseleccionaron los tres métodos de puntuación más alta por su aplicabilidad en Perú: humedales construidos aeróbicos, humedales construidos anaeróbicos y tratamiento oxidativo de agua de mina.

4.3.4.1 Humedales construidos aeróbicos

Los humedales construidos aeróbicos son ecosistemas creados para parecerse a los humedales naturales. Consisten en una barrera para evitar filtraciones (sedimentos impermeables o revestimiento sintético), estructuras de control de flujo y suelo para soporte de raíces. Los humedales aeróbicos se pueden dividir en dos tipos (GTK, 2022, **Figura 4-32**):

- 1) Humedales de flujo superficial de agua libre, y
- 2) Humedales de flujo subterráneo, que se pueden subdividir en:
 - a. Flujo horizontal
 - b. Flujo vertical

Los contaminantes se inmovilizan en un ambiente controlado mediante procesos de aprovechamiento de humedales naturales. El proceso principal es la oxidación del hierro, el aluminio y el manganeso por el oxígeno atmosférico, con la posterior precipitación de los (oxi)hidróxidos (DGFZ, 2018).

La oxidación del hierro es (micro)biológicamente catalizada a través de superficies biológicas y biopelículas. La oxidación microbiana del hierro y otras reacciones inducidas inmovilizan varios contaminantes de la fase acuosa a la fase sólida (DGFZ, 2018 y sus referencias). Las reacciones incluyen:

- **Oxidación** de Fe (II) catalizada microbianamente. La reducción de Mn (II) también se logra cuando las concentraciones de hierro disuelto están por debajo de 5 mg/L,
- **Filtración** de contaminantes coloidales a través de la filtración de plantas y suelos,
- **Sorción** (p. ej., formación de complejos superficiales) de otros metales (oides) en los hidróxidos u óxidos de hierro/manganeso resultantes

La plantación adecuada con macrófitos es particularmente importante, ya que aumentarán el transporte de oxígeno a la zona de la raíz, asegurarán la filtración de las fases de hierro precipitadas y controlarán el caudal y evitarán discontinuidades hidráulicas (DGFZ, 2018).

También se mejora la coprecipitación de especies iónicas como arsénico y molibdeno. Los humedales aeróbicos son efectivos para el tratamiento de aguas de mina ricas en hierro, sin embargo, tienen una capacidad limitada para la neutralización ácida (GTK, 2022 y referencias allí).

Las tasas de eliminación oscilan entre 10 y 20 g/d/m² para el hierro y entre 0.5 y 1 g/d/m² para el manganeso (Hedin et al., 1994; Watzlaf et al., 2004; Younger et al., 2004). Además, también se puede lograr la reducción de la demanda biológica de oxígeno, las bacterias coliformes y la oxidación del cianuro (Wolkersdorfer, 2008; Gusek & Figueroa, 2009).

Los humedales aeróbicos consisten en estanques poco profundos, estos pueden ser construidos o naturales y están llenos de grava, tierra y sustrato orgánico para el crecimiento de las plantas. La profundidad máxima del agua es comúnmente de 30 cm. El nivel del agua se mantiene mediante tuberías y controles hidráulicos, lo que permite la aireación. En caso de que sea necesario mejorar la aireación, esto se puede lograr mediante cascadas, rápidos o caídas entre celdas consecutivas. Como regla general, los contenidos de hierro más altos requieren pasos de aireación más altos (GTK, 2022).

Este método no es adecuado como método de tratamiento de una sola etapa para aguas de mina. Las aguas por tratar deben ser ricas en hierro, alcalinas netas y con un pH superior a 5.5 (DGFZ, 2018). Los humedales son más efectivos cuando se construyen como un sistema híbrido de humedales, incorporando humedales de flujo superficial con humedales de flujo

vertical y horizontal combinados, complementando las ventajas y desventajas de cada método (GTK, 2022 y referencias allí). Las etapas de pre-aireación y sedimentación también se pueden implementar antes de los humedales (DGFZ, 2018).

Los humedales son rentables ya largo plazo, en comparación con otros métodos pasivos de tratamiento del agua. Los costos de bombeo son bajos o inexistentes y la remoción de lodos solo es necesaria cada 10-20 años, por lo que los costos de mantenimiento son bajos (DGFZ, 2018). Los grandes volúmenes de almacenamiento permiten controlar fácilmente los caudales. Además del tratamiento del agua, los humedales sirven como método de remediación de la vida silvestre y el paisaje (GTK, 2022). Las desventajas de este método son la obstrucción de las tuberías por la precipitación de hierro, la incapacidad de inmovilizar el sulfato, la necesidad de grandes áreas para la construcción y la sensibilidad a las condiciones climáticas (p. ej., congelamiento o menor eficiencia durante las condiciones invernales).

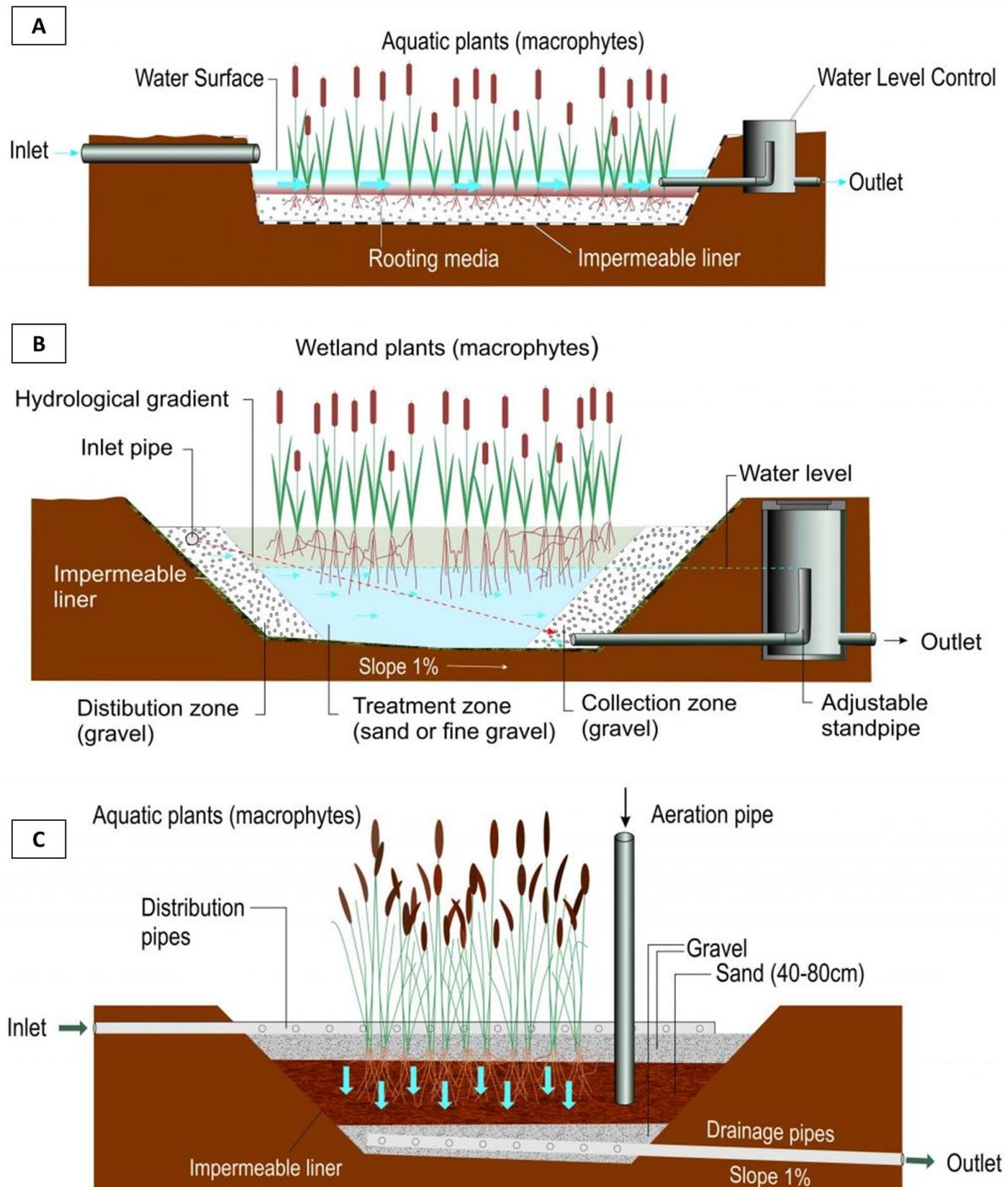


Figura 4-32. Diagrama esquemático de tipos comunes de humedales construidos.

A: Flujo superficial de agua libre. B: flujo horizontal. C: flujo vertical.

Fuente: GTK (2022)

4.3.4.2 Humedales artificiales anaeróbicos

Los humedales construidos anaeróbicamente son similares a los humedales construidos aeróbicamente, pero con la principal diferencia de que se crea un ambiente anaeróbico para el tratamiento del agua. El flujo de agua de la mina se dirige a través de la capa del suelo (sustrato), donde se lleva a cabo la reducción de sulfato. El sustrato actúa como una fuente de carbono y debe evitarse la entrada de oxígeno a la capa orgánica para que tenga lugar el proceso reductor. Las zonas aeróbicas siempre se encuentran en la zona superior de los humedales anaeróbicos debido al contacto con la atmósfera (DGFZ, 2018). Los sustratos típicos incluyen (DGFZ, 2018 y referencias allí): sustrato de cultivo de hongos, aserrín, paja, heno, estiércol de caballo o desechos municipales.

Los humedales construidos anaeróbicamente tienen una capa más gruesa de sustrato orgánico (0.3 a 0.6 m) y una capa más delgada de agua estancada (0 a 8 cm) que los humedales aeróbicos (GTK, 2022 y sus referencias; véase la **Figura 4-33**). Los humedales no siempre se plantan, aunque la presencia de macrófitos ofrece ventajas, como se detalla en los humedales construidos aeróbicos (DGFZ, 2018). A menudo se añade cal al sustrato para aumentar la alcalinidad.

El principal proceso involucrado en los humedales artificiales anaeróbicos es la reducción de sulfato y hierro inducida por microbios por el sustrato orgánico, con la subsiguiente precipitación de sulfuros metálicos (p. ej., hierro, cadmio, plomo y zinc), coprecipitación de arsénico en sulfuros de hierro. Además, los mismos procesos que en los humedales construidos aeróbicamente ocurren en la capa superior en la que puede haber oxígeno y siempre se puede encontrar una zona aeróbica (DGFZ, 2018). Se desarrolla una comunidad compleja de microorganismos. La degradación de la materia orgánica a fuentes de carbono de cadena corta utilizables para la reducción de sulfato también es relevante (DGFZ, 2018).

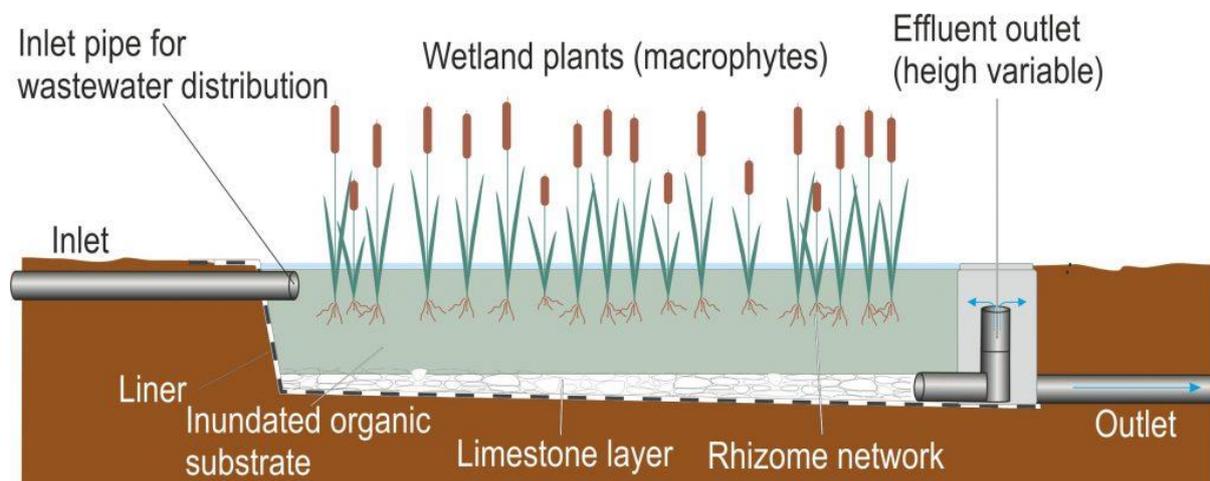


Figura 4-33. Diagrama esquemático de humedales artificiales anaeróbicos.

Fuente: GTK (2020)

Las tasas de eliminación típicas son 10 g/d/m² para el hierro y 3.5 g/d/m² para la acidez. Además, la reducción de sulfato suele ser < 20 % (DGFZ, 2018). El rango de pH óptimo para los humedales anaeróbicos es de 6 a 9 y muestra mejores resultados cuando se usa para tratar flujos bajos de agua con una calidad de agua moderada y una alcalinidad neta más alta que la acidez. La profundidad del agua es un factor importante para el proceso anaeróbico de los humedales: si la profundidad del agua es demasiado profunda, se reducirá el

intercambio entre el agua y el sustrato, lo que provocará una disminución de la eficiencia. Además, si la permeabilidad del sustrato es baja (K : 0.01 – 1 m/d), el flujo de agua estará principalmente por encima de la capa de sustrato y no se producirán reacciones reductoras catalizadas por microbios, lo que disminuirá la eficiencia del tratamiento (GTK, 2022).

Los costos operativos de los humedales anaeróbicos son bajos y también se pueden utilizar como medidas de remediación de la vida silvestre y el paisaje. Si el rendimiento disminuye, es posible que sea necesario agregar materia orgánica. De lo contrario, los costos de operación y mantenimiento son bastante bajos. Las condiciones de contorno que afectan la efectividad incluyen (DGFZ, 2018): mantenimiento de condiciones anaeróbicas durante la operación, provisión de una fuente de carbono disponible continuamente y tiempos de residencia altos

A diferencia de los humedales aeróbicos, los humedales anaeróbicos son menos sensibles a las condiciones climáticas frías y pueden operar en invierno (GTK, 2022).

4.3.4.3 Tratamiento oxidativo de agua de mina

El tratamiento oxidativo de agua de mina es un método común de tratamiento activo de agua para aguas de mina. La remoción de metales y la neutralización de las aguas se logra mediante un aumento en el pH y las condiciones oxidativas. Esta técnica se utiliza para metales con baja solubilidad que forman óxidos/hidróxidos en un espectro de pH/Eh controlado. De particular relevancia para la minería son el hierro, el aluminio y el manganeso. El cobre, el níquel y el zinc forman hidróxidos a valores de pH más altos y tienden a depositarse mediante procesos de sorción en las lechadas de hidróxido de otros metales (DGFZ, 2012).

El agente de neutralización generalmente se agrega como suspensión de agua para aumentar el pH a un valor en el que la solubilidad de los contaminantes objetivo es baja (DGFZ, 2012). La oxidación se realiza por aireación en el tanque de reacción. Los metales reducidos (p. ej., hierro y manganeso) se oxidan y forman precipitados (flóculos). Se agregan floculantes para acelerar la sedimentación de los flóculos (Wolkersdorfer, 2013). El lodo resultante de este método debe secarse para ser depositado.

La precipitación de hidróxido es un requisito previo para la coagulación y la floculación y, por lo tanto, para la separación de sólidos. Los sólidos formados tienen un efecto catalítico sobre la oxidación de otros iones metálicos y su coprecipitación por sorción. En este proceso, los valores altos de pH aumentan la capacidad de sorción de los sólidos de hidróxido. Finalmente, los sólidos se separan de la solución principalmente por sedimentación, más raramente por filtración (DGFZ, 2012).

Esta es una tecnología bien probada para la remediación de AMD. Varias plantas a gran escala son operadas por LMBV (p. ej., Rainitza), VEM (p. ej., Tzschelln) y MIBRAG (p. ej., Vereinigtes Schleenhain). El proceso es estable y fácilmente controlable, a la vez que es adaptable a cambios en el caudal y la calidad del agua (GTK, 2022). Las desventajas de este método son la incapacidad para eliminar el sulfato, la naturaleza no selectiva del proceso y la posibilidad de falla por bloqueos (DGFZ, 2012; GTK, 2022).

En general, una planta de tratamiento de aguas oxidativas de mina consta de una balsa de reacción, en la que se lleva a cabo la neutralización y oxidación, y una balsa de sedimentación, en la que se sedimentan y separan los sólidos formados (**Figura 4-34**). En la versión más sencilla, los sólidos precipitados en el agua neutralizada se depositan en un estanque de presa de tierra, que se draga de forma discontinua (DGFZ, 2012).

El oxígeno se introduce pasivamente a través de la superficie del agua, lo que da como resultado un requisito de superficie adaptado a la carga de hierro, o mediante una cascada de aireación. Por lo tanto, las concentraciones más altas de hierro (II) son difíciles de oxidar, especialmente porque las grandes áreas de estanques de sedimentación aumentan la susceptibilidad al viento (agitación de lodos de hidróxido de hierro ya sedimentados) (DGfZ, 2012).

El método clásico incluye los siguientes pasos:

- 1) Neutralización del agua de la mina en un tanque de reacción mediante la adición controlada de cal hidratada en función del pH con aireación simultánea,
- 2) Adición de floculantes, y
- 3) Sedimentación del lodo en una balsa de sedimentación

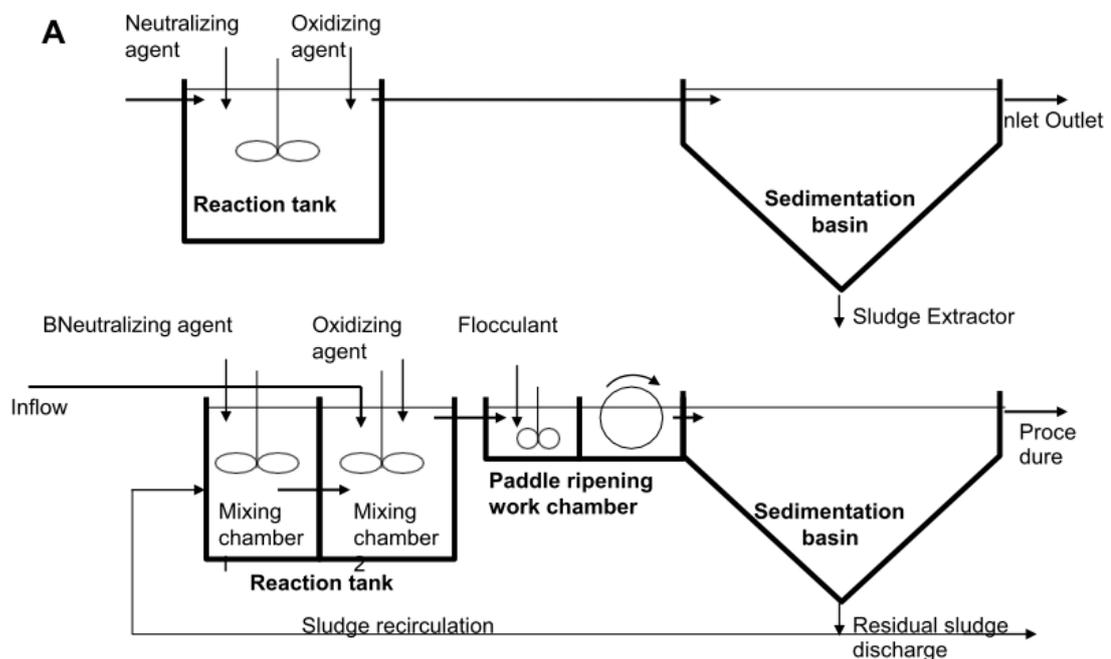


Figura 4-34. Diagrama esquemático de un método de tratamiento de agua de mina oxidativo.
Fuente: DGfZ (2012)

El proceso de lodos de alta densidad (HDS) representa una optimización adicional del proceso, que consta de los siguientes 4 sub pasos:

- Introducción del agente de neutralización en el lodo reciclado en un tanque/balsa de mezcla aguas arriba. Estas fuerzas hacen contacto entre los sólidos, lo que promueve la coagulación de las partículas de cal con los precipitados reciclados.
- Neutralización del agua de la mina en el propio tanque de reacción mediante la adición controlada de lechada de cal/lodos en función del pH con adición simultánea de oxígeno. Debido a la adición de la suspensión neutralizada, las reacciones de oxidación y precipitación tienen lugar cada vez más en la superficie de las partículas ya existentes, forzando así su crecimiento.
- Adición de precipitante en un tanque de floculación.

-
- Sedimentación con mayor efectividad (caudales más altos, tiempos de residencia más cortos). Parte del lodo extraído del tanque de sedimentación se devuelve al tanque de mezcla.

Las ventajas de este proceso mejorado son el buen control del proceso, los lodos producibles con hasta un 20 % de masa seca y, por lo tanto, los menores gastos de tratamiento de lodos (espesamiento, deshidratación y vertido). La tecnología HDS no se utiliza actualmente en Sajonia, ya que existe la posibilidad específica de Lusacia de descargar los lodos de hidróxidos de hierro resultantes en los lagos a cielo abierto (DGFZ, 2012). Esto significa que el volumen de lodo ya no representa un factor de coste decisivo.

4.4 Medidas de Protección o Contención

Se utilizarán medidas de protección y contención cuando los procedimientos de descontaminación y protección no sean factibles o sean desproporcionados. Opcionalmente, también pueden ser complementos útiles para los procedimientos de descontaminación y protección. A diferencia de las medidas de remediación, que actúan directamente sobre la fuente de contaminación o las emisiones que emanan de ella, las medidas de protección y contención se relacionan directamente con los bienes protegidos. Dependiendo de cómo se afecten, están dirigidos al uso directo del área contaminada o sus alrededores. Por ejemplo, las restricciones de uso pueden imponerse en el marco del uso permitido bajo la ley de planificación. Todas las medidas para asegurar el acceso de humanos y animales al sitio contaminado entran en esta categoría (LfULG, 2020).

Ejemplos de medidas de protección y restricción son:

- Revestimiento simple temporal de pilas de relaves con, por ejemplo, lonas impermeables, láminas, etc. para evitar la deriva o la entrada de agua de precipitación.
- Sellado temporal de aberturas en estructuras o líneas de eliminación de desechos para reducir temporalmente la descarga de contaminantes,
- Restricciones en el uso de rutas de tráfico que cruzan un sitio contaminado o edificios ubicados en un sitio contaminado edificios ubicados,
- Cerrar partes o todo el sitio contaminado para evitar el acceso de personas no autorizadas, etc. (LfULG, 2000).

4.5 Monitoreo de los efectos de la remediación del sitio y de la cuenca hidrográfica local

Se propone una estrategia de monitoreo para Los Rosales, con base en los resultados de la investigación orientada realizada en 2021 por el equipo de la DGFZ. En este capítulo se presentan las estrategias de seguimiento de los sitios de referencia de Sajonia.

4.5.1 Monitoreo en Los Rosales

4.5.1.1 Descripción general del monitoreo de corriente en Los Rosales

El monitoreo del agua se realiza actualmente en cinco ubicaciones. Todos ellos corresponden a aguas superficiales. Tres están ubicados en el área de propiedades mineras y dos están ubicados en el río Vilque: aguas arriba y aguas abajo de Los Rosales, para monitorear los posibles efectos del proyecto en la calidad del agua del río. El monitoreo de suelos se realiza en dos lugares dentro de las propiedades del proyecto. Una ubicación cerca de la planta de procesamiento y la otra ubicación se encuentra en los relaves planificados. Los lugares de monitoreo se detallan en la **Tabla 4-17** y se muestra en la **Figura 4-35**.

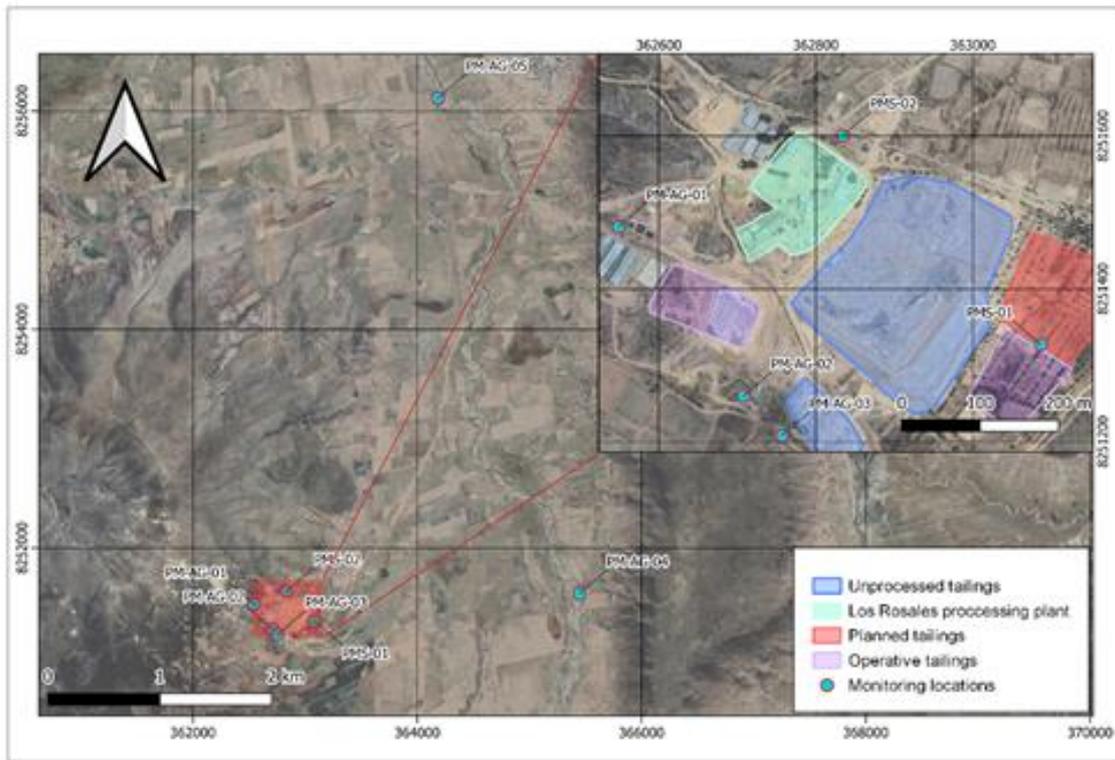


Figura 4-35. Ubicaciones actuales de monitoreo en el sitio de Los Rosales.

Fuente: Quantum MVA SAC (2020) y Sesam-Peru (2021)

Tabla 4-17. Lugares de monitoreo de Los Rosales.

ID de ubicación	Descripción	Tipo
PM-AG-01	Salida de agua de la mina Candelaria	Agua de mina
PM-AG-02	Ojo de Agua	Manantial
PM-AG-03	Manantial Tuntani	Manantial
PM-AG-04	Río Vilque aguas arriba	Agua superficial
PM-AG-05	Río Vilque aguas abajo	Agua superficial
PMS-01	Área de relaves planificada	Suelo
PMS-02	Área de la planta de procesamiento	Suelo

Fuente: Golden Growing (2020) y SMRL Los Rosales (2021)

El monitoreo se ha realizado en Los Rosales anualmente. Las campañas de muestreo se han realizado en el mes de marzo, al final de la temporada de lluvias. En 2020, solo se tomaron muestras de agua en cuatro sitios, desde PM-AG-01 hasta PM-AG-04. No hay muestras disponibles del río Vilque aguas abajo desde 2020. Se tomaron muestras de las cinco ubicaciones en marzo de 2021. Los parámetros monitoreados y los métodos analíticos utilizados en el monitoreo actual se muestran en la **Tabla 4-18**.

Tabla 4-18. Parámetros monitoreados y métodos analíticos en Los Rosales

Parámetro	Método
Metales totales	ICP-AES/ICP-MS
Aniones	Cromatografía iónica
Cianuro WAD	Cianuro disociable de ácido débil
Coliformes fecales	Técnica estándar de fermentación de coliformes totales
Coliformes totales	Técnica estándar de fermentación de coliformes totales
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Prueba de DBO de 5 días
Demanda Química de Oxígeno	Reflujo cerrado. Método colorimétrico
Fenoles	Método de extracción de cloroformo

Fuente: Golden Growing (2020) and SMRL Los Rosales (2021)

No se realizaron análisis de laboratorio a todas las muestras en todas las campañas. La campaña de marzo de 2020 realizó un análisis ICP-AES en todas las muestras recolectadas, excluyendo la ubicación PM-AG-05 que no fue muestreada. Los aniones no fueron analizados durante la campaña de monitoreo 2020 (Quantum MVA SAC, 2020). La campaña de marzo de 2021 solo tiene datos de análisis de laboratorio para muestras del río Vilque (PM-AG-04 y PM-AG-05) para todos los parámetros que se muestran en la **Tabla 4-18** (Sesam-Perú, 2021).

4.5.1.2 Recomendaciones para el Mejoramiento del Programa de Monitoreo en Los Rosales

Con base en la evaluación del programa de monitoreo existente, los resultados de las actividades de campo en Los Rosales, la normativa y la metodología de manejo de sitios contaminados presentada en el **Capítulo 2**, se presentan recomendaciones para mejorar el programa de monitoreo en Los Rosales.

En general, el monitoreo en Los Rosales debe estar orientado, además del cumplimiento de las obligaciones regulatorias, a mejorar la comprensión de los diferentes componentes del ciclo del agua en Los Rosales. Una mejor comprensión del comportamiento de las aguas superficiales y subterráneas permitirá un mejor y más eficiente monitoreo.

Con base en los resultados de la investigación orientada presentada en el **Capítulo 3**, es posible confirmar la presencia de sustancias que exceden los estándares de calidad ambiental en las aguas subterráneas, incluyéndolas como vía de contaminación en Los Rosales. Por lo tanto, es necesario incluir el componente de aguas subterráneas al monitoreo existente en Los Rosales. Específicamente, el monitoreo de las aguas subterráneas permitirá determinar la distribución espacial de los contaminantes en las aguas subterráneas, el comportamiento temporal de las concentraciones y niveles de las aguas subterráneas, y la dirección del flujo y la velocidad de las aguas subterráneas.

Además, los resultados del agua de mina y agua tratada en Los Rosales muestran que el tratamiento aumenta el pH y por lo tanto disminuye las concentraciones de metales, sin embargo, algunos elementos (hierro y cobre) aún superan los valores permitidos para las descargas de agua. Las autoridades peruanas requieren el monitoreo de la descarga de agua de los sitios mineros.

Aguas subterráneas: Los sitios de monitoreo de aguas subterráneas deben estar ubicados aguas arriba y aguas abajo del sitio contaminado. Los pozos de monitoreo instalados están ubicados aguas abajo de Los Rosales. No hay pozos de monitoreo instalados aguas arriba de Los Rosales. Se recomienda la instalación de pozos de monitoreo aguas arriba de Los Rosales para obtener información sobre la extensión espacial de la contaminación del agua subterránea. Además, se debe considerar instalar una segunda fila de pozos de monitoreo aguas abajo de los 3 pozos instalados en noviembre de 2021, para obtener información de parámetros hidráulicos como la velocidad del agua subterránea. Además, se pueden obtener datos geológicos relevantes para desarrollar un modelo geológico e hidrogeológico local.

Tabla 4-19. Ubicaciones recomendadas para el monitoreo de aguas subterráneas Los Rosales

Sitio de monitoreo de aguas subterráneas	Descripción
Aguas abajo de Los Rosales	Pozos de monitoreo existentes, instalados en 2021
Aguas arriba de Los Rosales	Segunda fila de pozos de monitoreo (instalación recomendada)

Agua de Mina y Agua Tratada: El agua tratada debe ser incluida en el programa de monitoreo. Las regulaciones peruanas requieren un monitoreo constante de las descargas de agua de los sitios mineros. Los monitoreos anteriores de 2020 y 2021 no incluyen agua tratada en sus sitios de muestreo. El monitoreo del agua de la mina y del agua tratada debe incluir análisis químicos y mediciones de caudal para obtener información sobre las cargas contaminantes. Se recomienda instalar una estación de medición de flujo en el sitio de monitoreo de agua de la mina Candelaria.

Tabla 4-20. Ubicaciones recomendadas para el monitoreo de aguas superficiales y minas en Los Rosales

Sitio de monitoreo	Descripción
Mina Candelaria	Agua de mina
Salida de tratamiento de agua	Descarga de agua de Los Rosales
Monitoreo de pozos aguas abajo	Agua subterránea aguas abajo de Los Rosales, fila adicional aguas abajo de los pozos de monitoreo existentes
Monitoreo de pozos aguas arriba*	Agua subterránea aguas arriba de Los Rosales
primavera tuntani	Agua de manantial. Condición de referencia
Ojo de Agua	Agua de manantial. Condición de referencia
Vilque aguas arriba	Receptor
Vilque aguas abajo	Receptor

*: punto de observación no está construido; recomendación para instalar e incluir en el monitoreo.

Agua Superficial: Tuntani y los manantiales Ojo de Agua deben continuarse monitoreando. Los resultados de monitoreos anteriores en 2020 y 2021 indican bajas concentraciones de metales y sulfatos, a diferencia de los resultados de las muestras de agua de la mina. Los resultados del monitoreo de estos manantiales se pueden usar para determinar las condiciones de referencia de la calidad del agua.

Los sitios de muestreo del río Vilque cumplen con los requisitos de las autoridades peruanas. Los ríos deben monitorearse aguas arriba y aguas abajo del sitio de descarga. En este caso, el río Vilque es monitoreado aguas arriba y aguas abajo de la descarga del canal colector Los Rosales al río.

En general, se mantendrán los sitios de monitoreo existentes y se recomienda incluir en el programa de monitoreo el agua tratada junto con los sitios de monitoreo de aguas subterráneas. Se recomienda instalar sitios adicionales de monitoreo de aguas subterráneas aguas arriba y aguas abajo de los relaves de Los Rosales. Se debe incluir el monitoreo de la tasa de flujo en el agua de la mina y el agua tratada, y también se recomienda la instalación de un medidor de flujo en el agua de la mina Candelaria. La **Tabla 4-20** resume los sitios recomendados para el monitoreo de agua propuesto en Los Rosales.

Frecuencia de monitoreo: El protocolo de monitoreo de agua de la Autoridad Nacional del Agua de Perú (ANA, 2011) recomienda una frecuencia de monitoreo determinada por los cambios naturales que ocurren en el área. Esto se basará en:

- Seguimiento de los objetivos del programa,
- Presupuesto disponible,
- Estacionalidad de la cuenca, y
- Ocurrencia de eventos extraordinarios.

Con base en los datos de precipitación presentados en el **Capítulo 3**, se identificaron dos estaciones distintas en Los Rosales. Por lo tanto, se recomienda que la frecuencia de monitoreo sea dos veces al año, para evaluar la variabilidad estacional en la calidad del agua.

El monitoreo de los niveles de aguas subterráneas se realizará con una frecuencia más alta (es decir, semanalmente) para determinar el comportamiento estacional de los niveles de aguas subterráneas.

Parámetros: Los parámetros monitoreados deben cumplir con la normativa peruana. Para el agua de mina y agua tratada, los parámetros monitoreados están determinados por los límites máximos permitidos por la Ley General del Ambiente del Perú. Para los sitios de aguas subterráneas, manantiales y río Vilque, los parámetros monitoreados están determinados por los estándares de calidad ambiental de la Ley General del Ambiente del Perú. La **Tabla 4-21** muestra los diferentes parámetros a monitorear.

Tabla 4-21. Parámetros a monitorear para diferentes localidades de Los Rosales

Sitios de monitoreo	Clasificación	Frecuencia	Parámetros a monitorear
Agua de mina Agua tratada	Límites máximos permitidos	Dos veces al año	pH, TDS, aceites y grasas, cianuro, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Hg, Zn, caudal, conductividad, temperatura, turbidez
Agua subterránea Río Vilque Manantiales de agua	Estándares de calidad ambiental	Dos veces al año	pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, coliformes, huevos de lombriz, DBO, DQO, aceites y grasas, Cl, HCO ₃ , Nitratos, SO ₄ , S ₂ , Ca, CO ₃ , Na, Al, As, Ba, B, Cd, cianuro, Co, Cu, Cr, Fe, Li, Mg, Mn, Hg, Ni, Ag, Pb, Se, Zn.

4.5.2 Monitoreo ambiental del sitio de Gittersee

Durante el trabajo subterráneo de estabilización y limpieza, el agua de la mina neutralizada se bombeó a la superficie y se alimentó a un depósito de sedimentación con otra agua acumulada en las instalaciones para la limpieza mecánica. Operacionalmente, se ordenó un muestreo mensual para los puntos de descarga de Kaitzbach y Elbstolln. La dinámica de las aguas subterráneas se controló a través de pozos de observación de los niveles y la calidad del agua.

Como parte del análisis de la ruta de exposición, también se llevaron a cabo y examinaron radionúclidos, hidrocarburos, ácidos, bases y metales pesados. El comportamiento de estabilidad y hundimiento de la superficie del suelo se controló a intervalos regulares. En 52 puntos de medición, la ruta del aire fue/es monitoreada con respecto a los contaminantes y la concentración de contaminantes. Además, dos de los puntos de medición se han equipado especialmente para la determinación de la precipitación de polvo y un punto de medición para la medición de la concentración de polvo en suspensión.

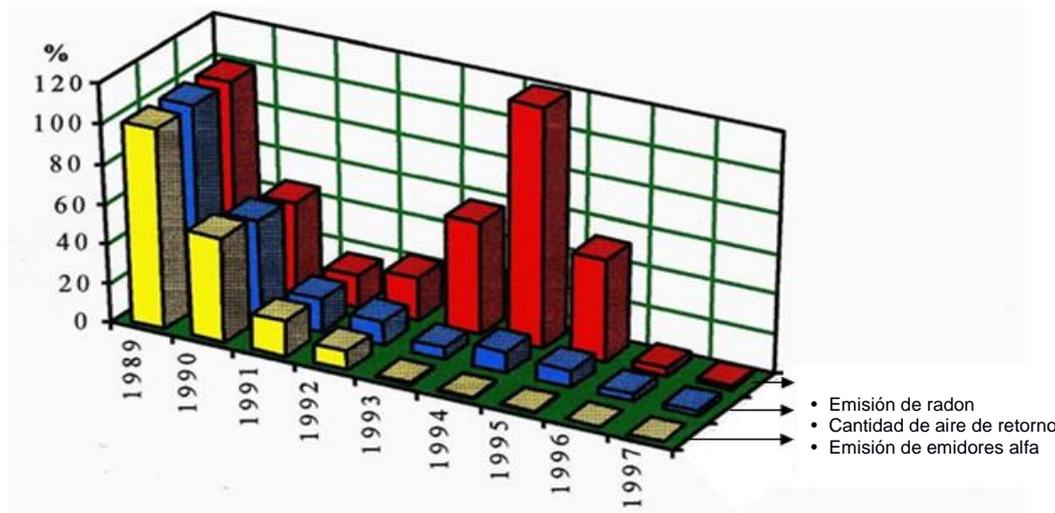


Figura 4-36. Porcentaje de las emisiones totales de radionúclidos en el sitio de Gittersee.

Fuente: Chronicle Wismut 2010,

<https://www.wismut.de/de/veroeffentlichungen.php?id=614&back=veroeffentlichungen.php%3Fyear%3D0%26index%3D0>

Hoy en día, el seguimiento de la trayectoria del agua en el sitio de Dresde Coschütz/Gittersee se limita al agua vertida en el Elba, al seguimiento del arroyo Kaitzbach al pie del vertedero de residuos mineros de Gittersee y también al agua subterránea en los campos mineros, como en las inmediaciones de la punta y la antigua zona de operaciones. Siguen siendo válidas las afirmaciones de los últimos años, según las cuales todavía existe una ligera influencia minera en las aguas subterráneas (concentración máx. de uranio observada = 141 µg /l). El agua vertida al río Elba a través de los túneles de drenaje de la mina contiene uranio de 62 a 65 µg /l. En el arroyo Kaitzbach, se midió un promedio anual de 17 µg /l aguas abajo del área de Gittersee. El flujo de agua del arroyo es bajo. Incluso un uso humano ocasional del agua sería radiológicamente inofensivo.

El seguimiento de la trayectoria del aire seguía centrado en la medición de las concentraciones de radón al aire libre en la desembocadura del Tiefer Elbstolln, en el pozo 3 y en las proximidades del vertedero de residuos mineros. En el orden de enumeración, el promedio anual fue de 23 Bq /m³, 28 Bq /m³ y en la punta un rango de valores de 17 a 44 Bq

/m³. Las cargas radiológicamente significativas para la población pueden excluirse sobre la base de los valores y teniendo en cuenta la ubicación de los lugares de medición.

Tabla 4-22. Ámbitos de control de la exposición inicial para la rehabilitación de Gittersee.

Tarea	Unidad	Alcance	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	sum
Trabajo del análisis de la vía de exposición.										
Agujero de	Pieza	677	5	124	193	177	10	46	7	562
Agujero de	Metro	1,590	8	220	343	549	72	142	26	1,360
Muestreo	Pieza	13,000	108	242	1,438	1,103	1,223	960	573	5,647
Trabajo para el seguimiento										
GWBM pozo	Pieza	178	3	7	24	10	20	20	17	101
GWBM pozo	m	23,815	750	1,487	1,801	1,343	2,566	3,440	1,827	13,214
GWM remediación	Pieza	134	---	---	11	12	7	5	8	43
GWM liquidación	Pieza	88	---	---	7	7	3	6	10	33
GWM liquidación	m	10,323	---	---	846	928	183	985	1,361	4,303
Limpieza de GWM	Pieza	127	---	---	---	---	---	---	---	---
Limpieza de GWM	m	26,110	---	---	---	---	---	---	---	---
Muestras vía aire	Pieza	8,250	226	226	191	465	614	571	585	2,878
Muestras de agua	Pieza	15,330	536	536	520	609	609	546	523	3,879
Muestras de agua	Pieza	23,870	569	569	810	824	947	1,698	2,685	8,102
Medición de	Pieza	33	2	2	1	2	1	2	2	12

NOTA: GWBM = punto de medición de la calidad de las aguas subterráneas, GWM = punto de medición de las aguas subterráneas.

Fuente: Chronicle Wismut 2010,

<https://www.wismut.de/de/veroeffentlichungen.php?id=614&back=veroeffentlichungen.php%3Fyear%3D0%26index%3D0>

La antigua zona de operaciones y vertedero de residuos mineros rehabilitados en Dresde Coschütz/Gittersee, que se ha transformado en un biotopo secundario desde el final de la remediación, es un área muy interesante para observar especies raras de animales y plantas debido a su ubicación en las afueras de la ciudad y la valla protectora. Como parte de un proyecto de Nature Conservation Union Germany (NABU) y la ciudad de Dresde con el objetivo de crear un atlas de aves reproductoras para la ciudad, por ejemplo, se realizó un conteo de aves en el área con un ornitólogo al principio de mayo de 2020.

Monitoreo de la rehabilitación de las vías de agua

Hasta 2019, las mediciones de nivel de agua en los puntos de medición de aguas subterráneas y pilas se realizaban mensualmente. 7 años después del final de las medidas activas de construcción, la frecuencia de medición se redujo a una vez por trimestre. Ya no se esperan cambios a corto plazo en las condiciones de las aguas subterráneas. Debido a la mineralización en constante aumento, el nivel del agua en la salida más distante también se mide trimestralmente. Ya no es necesario registrar la cantidad de agua filtrada de los montones. El funcionamiento continuado de los dispositivos de medición se mantendrá por el momento. Sin embargo, la reinversión no está prevista.

La entrada en el Cuaternario se evalúa como parte del monitoreo ambiental de Wismut GmbH. Un intervalo de muestreo de 2 años es suficiente para los puntos de medición de caudal en Karbon y Rotliegend. Debido al aumento de la mineralización, se mantendrá el relevamiento anual del Acuífero Cretácico. En las inmediaciones de los montones, el acuífero calcáreo continuará siendo examinado anualmente para detectar cambios en la química del agua subterránea relacionados con los montones. Debido a la creciente mineralización en la salida más distante, el muestreo anual en el Rotliegend se lleva a cabo cada dos años en el Cretácico.

En el caso de incrementos en las concentraciones de radionúclidos o metales pesados o aumento de la mineralización en el lixiviado de la descarga del relave, los puntos de medición en las presas y depósitos del relave deben incluirse en el monitoreo. En el estado actual, no se requieren mediciones periódicas. Se recomiendan estudios cada 2 a 5 años para monitorear las condiciones en el área sin parchar de los depósitos de relaves. Para evaluar el funcionamiento de la cubierta de la pila B, se recomienda la revisión trimestral de los niveles de agua en el cuerpo de la pila con parámetros in situ, radionúclidos U-238, Ra-226 y metales pesados. Mientras no se observen daños en las cubiertas de los montones con exposición de las masas de emplazamiento o fugas de lixiviados, no hay motivo para tomar muestras y examinar periódicamente las aguas superficiales de las bocatomas de los montones.

El principal arroyo receptor del sitio es el Kaitzbach. Con el final de la descarga de agua de inundación por parte de Wismut GmbH después de 2014, hubo una disminución significativa en la mineralización, las concentraciones y las cargas de contaminantes. Para monitorear la influencia de la ubicación del montón, se recomienda mantener la inspección anual de los puntos de medición de flujo de entrada y salida e incluir los valores medidos del monitoreo ambiental del Wismut.

Tabla 4-23. Tareas de monitoreo post-minera de agua a largo plazo en Gittersee (después de 10 años)

Objeto de seguimiento	# Elemento de seguimiento	Disponible/mantenido	Actualmente activo
Relaves + presas	Aprox. 40	12	3
Agua subterránea	Aprox. 35	22	7
Agua de filtración	6	3	2
Superficie del agua	15	12	-
Arroyos	7	5	4

Monitoreo de la rehabilitación de las vías aéreas

Debido a las masas almacenadas, el gas de vertedero (metano) solo se forma en el montón A. Siempre que el tamaño y la cantidad de puntos de liberación no aumenten, el monitoreo periódico casi cada 5 a 10 años debería ser suficiente para evaluar la formación de metano. Junto con la emisión de gas de vertedero, también se puede descargar el radón formado en los depósitos. En el montón A, la concentración de radón en la atmósfera cercana al suelo está influenciada por la formación de gas de vertedero, especialmente en el área de la meseta. Deben mantenerse los intervalos de inspección de 5 años, tanto por razones de envejecimiento de la cubierta de las pilas como de los gases de vertedero en la pila A.

A medida que las deformaciones de las superficies de los montones disminuyen aún más, los intervalos de medición/extensión de tiempo de las mediciones de deformación pueden extenderse a intervalos de 3 a 5 años.

Las mediciones anteriores de las tasas de dosis de radiación en los montones, unos 5 o 10 años después de cubrir la superficie, no mostraron cambios significativos. Por lo tanto, la autoridad de protección radiológica no considera que sean necesarias más mediciones periódicas.

Perspectiva del monitoreo posterior a la rehabilitación

Se realizan controles, inspecciones e inspecciones periódicas del sitio para garantizar el orden y la seguridad, para documentar el estado y los efectos adversos que puedan presentarse en los elementos constructivos de las instalaciones de relaves. Por ejemplo, se llevan a cabo inspecciones visuales de 14 días en partes de los montones con respecto a las instalaciones de captación de aguas superficiales y filtraciones en el arroyo Kaitzbach, las áreas de entrada y salida del túnel Kaitzbach, la vegetación y los edificios.

El cuidado posterior también incluye una inspección anual de las estructuras, cobertura, vegetación, puntos de medición, tomas y descargas de agua y aguas receptoras por parte de personal técnicamente calificado. Las inspecciones sirven para identificar a tiempo problemas y daños que puedan poner en peligro el almacenamiento final permanente. Se informa a la agencia ambiental de la capital del estado de Dresde sobre problemas críticos, daños y sugerencias para remediarlos en forma de registros de inspección. De acuerdo con los permisos de protección radiológica, la notificación debe realizarse al menos una vez al año durante todo el período de seguimiento (25 años).

Como parte del cuidado posterior, se deben continuar garantizando las medidas de cuidado de los elementos de los montones al final de su vida útil: cobertura y vegetación, caminos, toma de agua y desagüe, edificios e instalaciones de obra.

4.5.3 Tratamiento de agua de la mina Königstein

Con el cese de la extracción química de uranio en el yacimiento de Königstein, las instalaciones de vigilancia ambiental se ampliaron y cualificaron técnicamente. El monitoreo ambiental anual se centró en el monitoreo de emisiones e inmisiones durante todo el año de las vías de contaminación del agua, el aire y el suelo, así como el monitoreo metrológico de las medidas de remediación aprobadas de acuerdo con los requisitos oficiales para su aprobación. La continuación del análisis de la ruta de exposición de acuerdo con el estado anual de preparación para inundaciones fue el foco del monitoreo ambiental en la primera década.

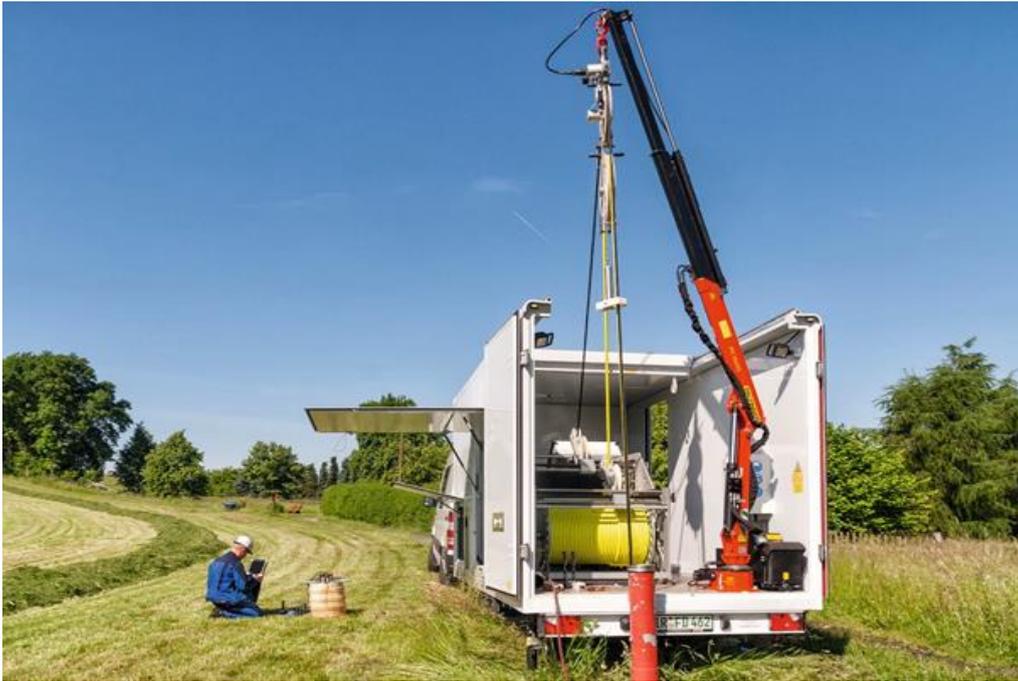


Figura 4-37. Monitoreo ambiental en 2016 cerca de Thürmsdorf varios kilómetros al norte del sitio de Königstein.

Fuente: <https://www.wismut.de/de/pressefotos.php>; 08.06.2016

Para monitorear la trayectoria del agua, se construyó e implementó un sistema de control integral, teniendo en cuenta los requisitos de los permisos de uso de la gestión del agua, que incluye aguas superficiales, de infiltración y subterráneas. Además de los puntos de muestreo operativos, se monitoreó/se monitorea la red hidrográfica. El monitoreo de aguas subterráneas fue realizado por más de 100 puntos de medición de aguas subterráneas (GWM) y puntos de medición de calidad (GWQM), los cuales registran datos en diferentes momentos. Todos los puntos de descarga en el río Elba y los receptores más pequeños de las llanuras aluviales de Pehna y Cunnersdorfer Bach fueron/son monitoreados de acuerdo con las condiciones del permiso de uso de gestión de agua y el permiso de eyección de líquidos. La autoridad supervisora del agua llevó a cabo más muestreos de agua.

Todas las áreas utilizadas operativamente y adyacentes fueron examinadas con respecto a su contaminación radiactiva y química y documentadas en el registro ambiental de Wismut. Como parte del análisis de la ruta de exposición, estos datos se han mejorado o se mejoran constantemente. Para ello, se realizaron muestreos de ventana dinámica, perforación y muestreo de suelo y se examinaron los contaminantes y el grado de contaminación. Para evaluar la subsidencia y los desequilibrios influenciados por la minería, se realizaron programas de medición en un área de unos 10 km² y en unas 100 rocas de la zona (ver **Sección 4.5.2**).

Para monitorear la trayectoria del aire se ha instalado en una superficie de unos 50 km² a partir de 52 puntos de medida de radón una red de monitorización ambiental del control de inmisión de la concentración de contaminantes en el aire. La concentración de radón determinada en los puntos de medición por medio de detectores de larga duración fue/evaluada por la Oficina Federal de Protección Radiológica y el Centro de Investigación Nuclear de Karlsruhe.

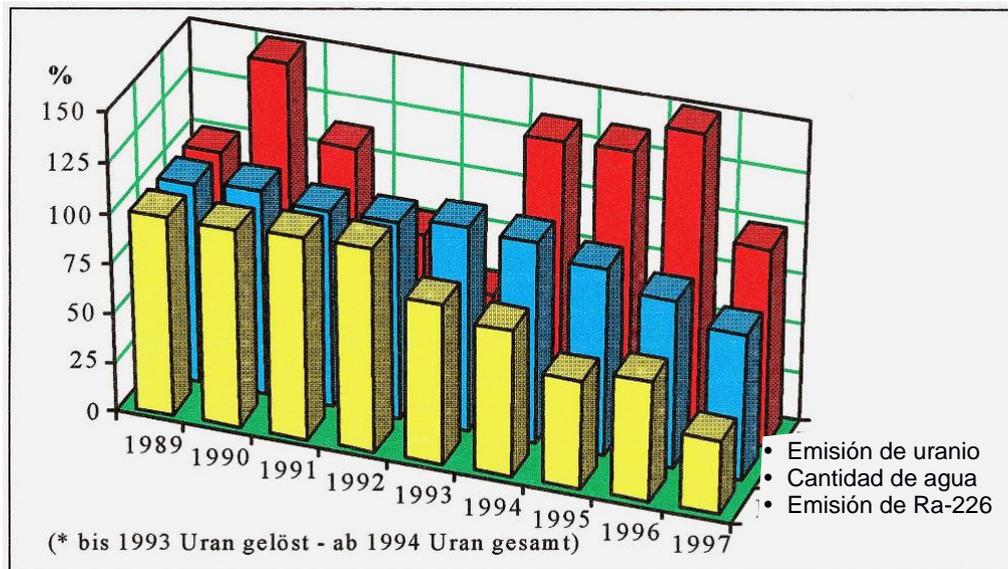


Figura 4-38. Volumen relativo de aguas residuales y emisión de radionúclidos disueltos en el sitio de Königstein en los procesos iniciales de remediación.

Fuente: Chronicle Wismut 2010,

<https://www.wismut.de/de/veroeffentlichungen.php?id=614&back=veroeffentlichungen.php%3Fyear%3D0%26index%3D0>

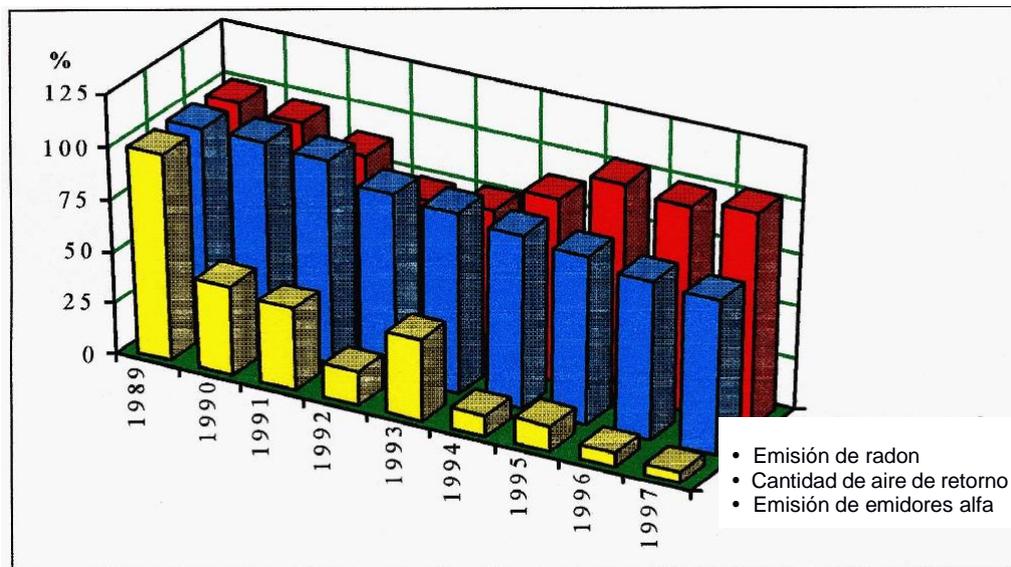


Figura 4-39. Emisiones totales relativas de aire y radionúclidos en el sitio de Königstein en los procesos iniciales de remediación.

Fuente: chronicle Wismut Chronicle Wismut 2010, [https://](https://www.wismut.de/de/veroeffentlichungen.php?id=614&back=veroeffentlichungen.php%3Fyear%3D0%26index%3D0)

www.wismut.de/de/veroeffentlichungen.php?id=614&back=veroeffentlichungen.php%3Fyear%3D0%26index%3D0).

El monitoreo que acompañó a la rehabilitación se llevó a cabo mediante el uso de dispositivos de medición móviles, con los que se vigilaron principalmente las preocupaciones laborales y de higiene municipal en relación con los efectos de la actividad de remediación inmediata (ver ejemplo en la **Figura 4-37**).

El trabajo de remediación de terrenos y demolición se llevó a cabo en el sitio de Königstein en varias fases importantes: primero a principios de la década de 1990, se demolió una gran cantidad de edificios que no eran útiles para el proceso de remediación a largo plazo, segundo, cuando los cascos y los edificios del pozo ya no eran necesarios para preparar el trabajos subterráneos para el proceso de inundación alrededor de 2015 y tercero en el pasado reciente hasta el presente, después de que la extracción de uranio de las aguas subterráneas tratadas haya terminado en 2021 y las instalaciones tengan que ser demolidas o removidas. Por lo tanto, el material contaminado radiactivamente en cantidades relativamente grandes tiene que manipularse incluso hoy en día. Durante su reordenamiento, se desarrolla polvo, que también puede contener radionúclidos y conduce a la liberación del gas radón radiactivo. La generación de polvo se puede contrarrestar con medidas técnicas, por ejemplo, riego.



Figura 4-40. Área rehabilitada del complejo de pozos 388/390 en el sitio de Königstein en 2015.

Fuente: <https://www.wismut.de/de/pressefotos.php>, 22.07.2015

El vertedero de desechos mineros cercano de Schüsselgrund se utilizó/se utiliza para depositar los materiales de construcción que no se pueden descontaminar ni reciclar. Por lo tanto, la desmontera y principalmente el área de almacenamiento especial dentro de él es a su vez una instalación permanente, que continua en su lugar con su inventario radiactivo para las generaciones venideras. El impacto en las aguas subterráneas de la filtración y los efectos en la atmósfera de la liberación de radón deben ser monitoreados permanentemente. Las tareas de medición en el sitio de Königstein resultan de las actividades de remediación, control de inundaciones con tratamiento de agua y monitoreo de impactos ambientales permanentes. Las medidas contenidas en el mismo se enumeran en la siguiente compilación:

1. Control de vertidos de uranio/Ra-226 con el agua de inundación tratada en el río Elba,
2. Monitorear la influencia del tajo en el tercer y cuarto acuífero,
3. Análisis de muestras de los posibles puntos de transferencia en el tercer acuífero a proteger,
4. Seguimiento de la influencia de la liberación de contaminantes del vertedero de Schüsselgrund,
5. Control de la influencia de la liberación de radón del vertedero, del complejo minero, que ahora es un área de desarrollo industrial, y de la planta de tratamiento de agua recientemente reconstruida (ver **Capítulo 4.3.1**), así como de otras áreas circundantes,
6. Monitoreo de la liberación de polvo y emisores alfa de larga duración durante los trabajos de demolición y rehabilitación de superficies en curso.

Se puede obtener más información sobre la situación actual en el **Capítulo Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** "Plantas de tratamiento de agua en las antiguas áreas de extracción de uranio de Wismut".

5. Conflictos sociales en sitios post-mineros en Perú

Este capítulo presenta los aspectos sociales relacionados con la problemática del agua en las zonas post-mineras. En primer lugar, se presenta el caso Espinar, un conflicto en Cusco que involucra a diferentes proyectos mineros y principalmente comunidades indígenas por problemas de calidad del agua relacionados con la actividad minera. Luego, se presenta una sección sobre el compromiso de las mujeres locales y los habitantes indígenas. Durante el segundo viaje a Perú en junio-julio de 2022, se realizaron varias entrevistas a actores locales de los diferentes sitios de estudio y ONG relacionadas. Aquí se ve reflejado el interés de asegurar el acceso al agua para las actividades domésticas y ocupacionales, así como la participación en las medidas de protección de los recursos hídricos. Finalmente, el caso de la señora Brígida Huachani Lasarte se presenta. En cooperación con la ONG local Descosur, la Sra. Brígida llevó a cabo un proyecto local de gestión del agua en la Reserva Natural Salinas y Aguada Blanca.

Los detalles del viaje a Perú en 2022 se encuentran en el **Anexo 2**.

5.1 Introducción a los conflictos mineros locales: El caso de Espinar

Espinar es una de las trece provincias de la región Cusco. Tiene ocho distritos y 79 comunidades rurales. La localidad de Yauri, capital de Espinar, es la más importante entre las demás capitales distritales, y la que cuenta con el mayor número de habitantes (Gobierno Regional Cusco, 2019).

Hidrográficamente Espinar pertenece a la vertiente atlántica, en la parte alta de la cuenca del río Apurímac, cuenta con 8 ríos principales, 245 ríos y quebradas, y 1082 manantiales inventariados. El área de las dos cuencas cubre aproximadamente 7000 ha.

- El río Cañipia tiene una cuenca de 400 km², una longitud de 52 km y un caudal medio anual de 4,2 m³/s. Sus principales afluentes son los ríos Allahualla y Choco. La cuenca del Cañipía alberga el Alto Huarca, Cala Cala, Huisa, Huarca, Huisa Comunidades campesinas Ccollana, Anta Ccollana y Suero, entre otras. También hay dos asociaciones de agricultores independientes en Huinipampa (Levit, 2014).
- El río Salado tiene un sistema lagunar en la pampa de Quinilla. Hay 14 comunidades en la cuenca: Huano Huano, Pacopata, Guini, Coroccohuayco, Alto Huancané, Bajo Huancané, Antacollana, Tintaya Marquiri, Ccama, Chellque, Suero y Cama, Mollocagua, Kanamarca y Mamanocca (OCMAL, 2022; MINAM, 2019).

El abastecimiento de agua para la provincia de Espinar proviene de la represa de Huayllumayo y del río Apurímac.

5.1.1 Actividad Minera

Las concesiones mineras cubren el 94.6 % del área total de Espinar. En esta zona existen tres proyectos mineros: Tintaya, Antapaccay y el proyecto Integración Coroccohuayco.

En 1981 se retiró la actividad estatal y se promovió la inversión extranjera privada. La empresa Minero Perú aportó el 25 % del capital, y los inversionistas privados,

preferentemente extranjeros, aportaron el 75 % restante. En 1985, Magma Copper Company inició su producción; 10 años después (1996), Magma fue adquirida por BHP Billiton. En 2006, Glencore Xtrata PLC compró la mina Tintaya a BHP Billiton y la rebautizó como Xtrata Tintaya S.A. (Levit, 2014). En 2008, Glencore inició el proyecto Antapaccay, como la ampliación de Tintaya. El Proyecto de Ampliación Antapaccay - Tintaya tiene un horizonte operativo hasta el año 2034 (Levit, 2014).

Antapaccay está ubicado en la margen izquierda del río Cañipia, donde se han construido tajos abiertos y botaderos de desmonte. El tajo norte (135 ha), y el tajo sur (252 ha). El depósito de relaves de Huinipampa (184 ha) está ubicado en la margen derecha del río Cañipía. Aguas abajo de la presa se encuentra el río Ccoloyo, cuyas aguas desembocan en el río Cañipía (Levit, 2014). Tintaya se desarrolló en la margen izquierda del río Salado. En 2012, los proyectos de Tintaya inician su fase de cierre; sin embargo, actualmente el tajo Tintaya se utiliza como depósito de relaves para la mina Antapaccay (Levit, 2014). El proyecto de cobre Integración Coroccohuayco, que se encuentra en etapa de exploración, se ubica en la margen izquierda del río Salado, en la microcuenca del río Ccamacmayo.

5.1.2 Comunidades Involucradas en el Conflicto

Los principales actores del conflicto son las poblaciones indígenas organizadas en comunidades autónomas, con sus límites históricamente establecidos (Defensoría del Pueblo, 2018; Preciado & Alvarez Gutierrez, 2016). Las comunidades campesinas, los pueblos y las aldeas tienen características similares. Estos actores se encuentran en zonas rurales, la mayoría con altos índices de pobreza, analfabetismo y desnutrición. En muchos casos no cuentan con servicio público de agua potable, por lo que se abastecen directamente de fuentes de agua cercanas, y se utilizan para actividades de consumo, ganaderas y agrícolas, que son para autoconsumo, y en algunos casos, sirven como fuente de agua. elemento de trascendencia cultural e importancia espiritual (cosmovisión andina) (Defensoría del Pueblo, 2018).

En Espinar la movilización de personas es constante y progresiva, bajo una orientación preferencial del lado rural a las ciudades; esto se debe a causas estructurales, como la falta de organización productiva, la deficiente distribución de la riqueza y políticas de desarrollo que no son aplicables a la realidad. Los destinos más frecuentes de la migración rural son Yauri, Arequipa y Cusco (Gobierno Regional del Cusco, 2019).

Hay aproximadamente 50,000 personas en 13 comunidades dentro de la zona de influencia directa (ZID) de la operación minera Antapaccay, en la provincia de Espinar (Preciado & Alvarez Gutierrez, 2016). Las comunidades de Espinar tienen indicadores socioeconómicos por debajo del promedio nacional con índices de desarrollo humano (IDH) muy bajos (Defensoría del Pueblo, 2018). En este caso, la vulnerabilidad social converge con la vulnerabilidad ambiental, dando lugar a formas emergentes de desigualdad social (Preciado & Alvarez Gutierrez, 2016).

La nación K'ana, etnia ancestral, está representada en parte por las 13 comunidades indígenas antes mencionadas. Sus territorios están sufriendo la degradación del suelo y la contaminación de los recursos hídricos. Los principales impactos son la falta de acceso a fuentes de recursos naturales para el sostenimiento económico, la falta de respeto a su identidad cultural, especialmente la conservación del territorio que habitan, que utilizan por razones prácticas (obtención de recursos) y simbólicas (significado ritual), falta de atención integral en salud por haber ingerido agua con contenido de metales pesados (Defensoría del Pueblo, 2018; OCMAL, 2022).

Las principales actividades de la provincia de Espinar son el turismo, el comercio, el folclore, la agricultura, la ganadería, la administración y la agroindustria. La producción agrícola es puramente de subsistencia; no hay apoyo del gobierno para el desarrollo agrícola en las zonas rurales (Gobierno Regional del Cusco, 2019). La menor productividad agrícola está asociada a la pérdida de la calidad de los factores ambientales (agua, aire, suelo, etc.) en la zona minera, especialmente del agua por la contaminación de los acuíferos, lo que ha llevado a la pérdida de posibilidades de continuar productivas. actividades. Hay evidencia de rendimientos de cultivos más bajos debido a la pérdida de agua, aire y calidad del suelo y trabajadores menos productivos. En el caso de la ganadería, también ha disminuido el número de cabezas de ganado, ya que no tienen acceso a agua de fuentes naturales con mínima calidad, y las áreas de pastoreo se han reducido por el polvo blanco de la explotación minera (Orihuela et. al., 2019).

5.1.3 Evolución del conflicto

La contaminación ambiental de la provincia de Espinar relacionada con las actividades mineras data de muchos años atrás (década de 1980). En 1981, la empresa estatal Etamina, con capital público y privado, expropió 2,368 hectáreas a la comunidad de Anta Cama e inició operaciones extractivas en el proyecto Tintaya (OCMAL, 2022).

El 21 de mayo de 2003, la Federación Unificada de Campesinos de Espinar (FUCAE) y Frente Único para la Defensa de los Intereses de Espinar (FUDIE) comenzaron a movilizarse en las instalaciones de la mina. La principal demanda fue firmar un acuerdo marco que incluye la contratación de mano de obra local, reparación por daños ambientales, reclamos de tierras y respeto a los derechos humanos. (Preciado & Álvarez Gutiérrez, 2016). El 23 de mayo de 2005 hubo una toma de posesión de la mina. Las demandas incluyeron la reformulación del Acuerdo Marco y el aumento de la contribución de la empresa a la comunidad. También exigieron: la impermeabilización de la presa de la nueva presa de relaves de Huinipampa, la instauración de un Comité Paritario de Vigilancia Ambiental, la construcción de un hospital en la localidad de Yauri y el asfaltado de la vía que conduce a la ciudad de Arequipa.

El Convenio Marco para el desarrollo de la provincia de Espinar, entre las comunidades y BHP Billiton, fue firmado en septiembre de 2003 e incluía 21 cláusulas. Este documento especifica la constitución de un Comité de Vigilancia Ambiental Comunitario con seguimiento ambiental periódico y un aporte de hasta un máximo del 3% de las utilidades antes de impuestos de la empresa para el pueblo de Espinar (OCMAL, 2022).

Durante el mes de mayo de 2012 se inició un paro de 7 días (con marchas, bloqueos de rutas, protestas y enfrentamientos violentos). El Gobierno declaró estado de emergencia por 30 días en la zona. Entre las principales demandas se encontraban el inicio del proceso de reformulación del Acuerdo Marco, el control económico y la rendición de cuentas de los compromisos y actividades asumidos por Xstrata Tintaya en el marco del Acuerdo Marco, y el monitoreo ambiental permanente. Como respuesta, el Gobierno encargó a varias autoridades (ANA, INGEMMET, OEFA, GERESA) la realización de estudios que abarcaran diferentes disciplinas (evaluación ambiental, hidrogeología, salud, etc.) para determinar la situación ambiental de la zona y la salud de las personas afectadas. con metales pesados.

Se encargó al Organismo de Evaluación y Control Ambiental (OEFA) la contratación de estudios especializados de isótopos estables y de isótopos radiotrazadores para obtener datos relevantes sobre la causalidad de la contaminación en la zona. (MINAM, 2013B) Este organismo contrató dos estudios con el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN):

- El primero, sobre caracterización del agua, mediante análisis de isótopos estables (^{18}O y ^2H), del entorno de las presas de relaves Ccamacmayo y Huinipampa, en el área minera de Antapaccay, Expansión Tintaya (IPEN, 2013).
- El segundo, incluyó el monitoreo de la inyección de Radiotrazadores (^3H), para determinar la presencia de lixiviación e infiltraciones en el tranque de relaves de Ccamacmayo y en la presa de relaves de Huinipampa, o filtraciones de escorrentía (IPEN, 2017).

En este año, la Resolución Ministerial N° 164-2012-PCM formalizó la creación de la Mesa de Diálogo para “*impulsar un proceso de diálogo entre los distintos actores del sector público y privado sobre la problemática socioambiental en la provincia de Espinar y analizar alternativas de solución viables*”.

Como acciones urgentes se determinaron dos:

- a) Abastecimiento alternativo de agua potable a las comunidades con 200 tanques de 660 L, la necesidad calculada fue de 1000 tanques de 660 L, esto sería temporal semanalmente con camiones de 5000 Gal; también se solicitó la elaboración de perfiles de proyectos de abastecimiento de agua potable para las comunidades de Espinar (MINAM, 2013A; MINAM, 2013B).
- b) El OEFA debería realizar una evaluación para detectar cambios físicos y ecosistémicos alrededor de las presas de relaves de Huinipampa y Camacmayo.

En abril de 2013, el Ministerio del Ambiente (MINAM), dio a conocer el resumen de resultados de su MSAP que fue encargado por el Estado en 2012 (MINAM, 2013C). El informe indicó que existe contaminación en la provincia de Espinar que parece estar relacionada con actividades mineras, junto con contaminación que parece ser causada por fuentes naturales (origen geogénico). Estos casos de contaminación incluyen contaminación por metales en aguas superficiales, así como sedimentos en los cuerpos de agua Ccamacmayo, Tintaya y Collpamayo. Más de la mitad de todos los sitios monitoreados tenían al menos una muestra que excedía los estándares regulatorios, y se encontraron altas concentraciones de metales (mercurio, arsénico, cadmio y plomo) en 64 sitios que involucraban agua utilizada para consumo humano. Además, se demostró que las personas que viven cerca de las actividades mineras estuvieron expuestas a metales pesados como arsénico, talio y plomo (MINAM, 2013C).

El Plan de Acción se convirtió en una larga lista de proyectos de inversión, incluyendo varios proyectos de embalses de agua (Prado Esperanza) y proyectos en las cuencas de los ríos Cañipia y Salado (Sahuamayú, Huayllumayo, Tacomayo); proyectos de instalación de sistemas de riego, proyectos de reforestación a nivel provincial; construcción de canales; construcción de un hospital; proyectos de recuperación de suelos con Agrorural del MINAGRI; plan de inversión en electrificación con el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) de Perú y con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) de Perú para la construcción de carreteras en la provincia (MINAM, 2013A)

En respuesta a las continuas y persistentes denuncias de las 13 comunidades del área de influencia de la operación minera Antapaccay, el Gobierno emitió la Resolución Ministerial N° 174-2020-PCM, de fecha 22 de julio de 2020, donde se establece la mesa de trabajo denominada “*Multisectorial Comisión encargada de evaluar posibles daños en la zona de las comunidades nativas de Huano Huano, Huini Coroccohuayco, Pacopata, Alto Huancane, Huancane Baja, Tintaya Marquiri, Alto Huarca, Cala Cala, Huarca, Suero y Cama, Huisa Ccollana, Huisa y Anta Ccollana en la provincia de Espinar, departamento del Cusco, y el*

plan de reparación correspondiente en caso de ser necesario". Esta comisión comenzó a operar a mediados de 2021.

La coordinación de las actividades de la comisión estuvo a cargo del MINAM, y los representantes de las comunidades participaron con la asesoría de ONGs. Entre las acciones realizadas estuvo la revisión de los documentos elaborados sobre el tema por instituciones estatales (INGEMMET, DIGESA, etc.) y organismos (ANA, OEFA, etc.). Luego de varias reuniones virtuales, el MINAM, evaluó un informe preliminar, el cual mostró importantes falencias metodológicas y conceptuales. En mayo de 2021 se organizó un foro "Conflictos y espacios de diálogo en Espinar: Equilibrios y desafíos".

Los informes del IPEN no fueron entendidos por el OEFA, lo que motivó que se observara el primer informe (diciembre de 2013). Hubo un segundo entregable (marzo de 2016), incluido el Anexo 2, con los resultados de los análisis de las pruebas de laboratorio. En 2017 se presentó un segundo informe con 5 entregables y el quinto no fue aprobado por el OEFA. Esto llevó el caso a los tribunales, un proceso que duró más de cuatro años. Esta información solo estuvo disponible en noviembre de 2021. Estos informes han sido revisados por expertos, lo que demuestra que existe evidencia científica de la filtración de relaves al subsuelo. (IPEN, 2013; IPEN, 2017).

En el año 2022 se ha generado una campaña denominada "Espinar no puede esperar", con la participación de las comunidades afectadas por la contaminación y el apoyo de ONGs (DHSF, OXFAM, Cooperación, etc.).

5.2 Participación ciudadana

Durante la segunda visita a Perú en junio – julio de 2022 del equipo de la DGFZ, en compañía de representantes de SMEKUL, se realizaron entrevistas a actores locales en diferentes sitios. El objetivo fue recibir retroalimentación sobre la metodología de BLP Sajonia Perú y conocer las preocupaciones locales sobre la problemática del agua en diferentes zonas. Las personas entrevistadas corresponden a actores locales, con diferentes niveles de participación en los sitios de estudio y ONG en Perú. Puede encontrar más información sobre los resultados de la visita de junio a julio de 2022 en el **Anexo 3**. Las preguntas se dividen en dos secciones:

- **Preguntas relacionadas con problemas de agua en la vida personal:**
 - o *¿Cómo es su acceso al agua potable?*
 - o *¿Cómo es el acceso al agua potable en las comunidades que viven en las áreas de los proyectos en los que ha trabajado?*
 - o *¿Cuál es el principal uso que le das al agua en tu grupo familiar y en las comunidades que habitan en las zonas de los proyectos en los que has trabajado?*
 - o *¿Cuál es el principal problema de calidad y/o cantidad de agua en las áreas de los proyectos en los que ha trabajado? Si es así, ¿cuál cree que es la causa del problema?*
 - o *¿Qué tan sensibles son las comunidades a un deterioro en la calidad y/o cantidad del agua?*
 - o *¿Existe información dentro de las comunidades sobre las regulaciones e instituciones del agua en su ciudad?*
 - o *¿Qué conexión ve entre la calidad/cantidad del agua y el desarrollo (salud, infraestructura, educación)?*
 - o *En su experiencia, ¿los problemas del agua afectan tanto a las mujeres como a los hombres, a las comunidades indígenas como a las áreas urbanas?*
- **Preguntas relacionadas con el proyecto BLP:** A la persona entrevistada se le mencionó el siguiente párrafo:

*El proyecto BLP-SN-Perú **busca generar un intercambio de experiencias entre Perú y Alemania (Sajonia) en materia de gestión del agua en zonas post-mineras.** La metodología consistió en visitar sitios de estudio en Perú con antecedentes de problemas relacionados con el agua que pudieran estar vinculados a las actividades mineras. Posteriormente se realizaron actividades prácticas de levantamiento de información (medición de parámetros, muestreo de agua potable, instalación de pozos de muestreo poco profundos) que serán transmitidas a los actores locales. El objetivo también es llevar a cabo pequeñas sesiones de capacitación en el lugar que puedan ayudar a las partes interesadas locales a monitorear la calidad del agua.*

Luego, se realizaron las siguientes preguntas:

- o *¿Crees que la iniciativa del proyecto es innovadora?*
- o *¿Cree que la metodología de estudio y gestión del proyecto es adecuada y qué sugerencias propondría para lograr los objetivos?*
- o *Si existiera la posibilidad de realizar una segunda etapa del proyecto en relación con la gestión del agua, ¿cuáles cree que deberían ser los objetivos de ésta?*

A continuación, se presentan los resultados de las entrevistas. Primero se individualiza al entrevistado y luego se muestran las respuestas. Al final del capítulo, se da un resultado general de las entrevistas.

Nombre: Ayde Huanqui Sisa (**Figura 5-1**)

Género: Femenino

Edad: 30 años

Empresa - cargo: Gerente Municipal, Municipio de Madrigal

Grupo étnico (si aplica): Quechua



Figura 5-1. Sra. Ayde Huanqui Sisa, Gerente Municipal de Pueblo Madrigal.

Preguntas relacionadas con problemas de agua en la vida personal:

Pregunta (P): ¿Cómo es su acceso al agua potable?

Respuesta (A): El acceso al agua potable que debo hacer es a través de la red de agua potable que tenemos en el pueblo.

P: ¿Cómo es el acceso al agua potable en las comunidades que viven en las áreas de los proyectos en los que has trabajado?

R: El acceso es el mismo porque más del 90% ya tiene acceso a la red de agua.

P: ¿Cuál es el uso principal que le das al agua en tu grupo familiar y en las comunidades que viven en las áreas de los proyectos en los que has trabajado?

R: El consumo humano y en la comunidad es para regar sus cultivos, sus huertas, también para las obras, está siendo mal utilizado.

P: ¿Cuáles son los principales problemas de calidad y/o cantidad de agua en las áreas de los proyectos en los que ha trabajado? Si es así, ¿cuál cree que es la causa del problema?

R: En cuanto a la cantidad, se está malgastando el agua y esto está perjudicando a toda la población porque no se está abasteciendo. Necesitamos regular; necesitamos una ordenanza del municipio para que podamos sancionar a las personas que están haciendo mal uso del agua, y la cantidad de agua es insuficiente y el agua potable no se debe usar para la construcción.

P: ¿Qué tan sensibles son las comunidades a un deterioro en la calidad y/o cantidad del agua?

R: La población reacciona fuertemente porque nos hemos acostumbrado a tener todas nuestras redes de agua en cada hogar; por ejemplo, cuando limpiamos los embalses, tenemos que cortarles el agua a la población y bueno, ya están afectados, están sensibles.

P: ¿Existe información dentro de las comunidades sobre las regulaciones e instituciones del agua en su ciudad?

R: Recientemente, por el tema de la minería que tenemos aquí. Podemos saber sobre las calidades del agua, todos los muestreos que se toman por el medio, hace más o menos 4 o 5 años.

P: ¿Qué conexión ve entre la calidad/cantidad del agua y el desarrollo (salud, infraestructura, educación)?

R: La calidad del agua va a influir mucho, sobre todo en la educación por el tema de la anemia en los niños; por lo tanto, es necesario proporcionar agua de calidad. En cantidad también, porque los servicios básicos de drenaje y todo eso ya están conectados.

P: En su experiencia, ¿los problemas del agua afectan tanto a las mujeres como a los hombres, a las comunidades indígenas como a las áreas urbanas?

R: Antes a las mujeres les afectaba el tema del agua, si no había agua de buena calidad para la preparación de alimentos, pero ahora que se usa para la construcción, a los hombres también les afecta.

Preguntas relacionadas con el proyecto BLP:

P: ¿Crees que la iniciativa del proyecto es innovadora?

R: Sí, porque es importante hacer este tipo de análisis, sobre todo para ver qué calidad de agua estamos consumiendo en el distrito y poder en base a esto determinar soluciones o proponer soluciones, para ver cómo podemos resolver este conflicto que existe.

P: ¿Crees que la metodología de estudio y gestión del proyecto es adecuada y qué sugerencias propondrías para lograr los objetivos?

R: Es bueno, porque muchos hacen estudios de escritorio y hacerlo en el sitio es diferente y más efectivo.

P: Si existiera la posibilidad de realizar una segunda etapa del proyecto en relación a la gestión del agua, ¿cuáles cree que deberían ser los objetivos de esta?

R: Como ha visitado el área, hay 25 hectáreas de tierras de cultivo que actualmente no usamos, por lo que es importante que recuperemos estas tierras para que podamos mejorar nuestra economía.

P: ¿Tienes algún otro mensaje?

R: Me siento muy agradecido por la participación, la colaboración que nos han brindado en el distrito de Madrigal, como ven, es el último distrito en la margen derecha del Colca y casi no tenemos mucho apoyo por la accesibilidad y todo eso; pero con el apoyo que nos están dando vamos a poder tener claros muchos puntos y sobre todo era necesario hacer este análisis porque tenemos minería que quieren explotar en la parte alta del río Palca. Entonces, podemos demostrar con esto que ahora (la calidad) es buena y una vez que comience de repente será posible, por lo que es un punto muy importante para nosotros tener ahora.

Nombre: Deysi Lisseth Callo Apaza (

Figura 5-2)

Género: Femenino

Edad: 25

Empresa – puesto: SMRL Los Rosales, auxiliar de laboratorio

Grupo étnico (si aplica): Quechua



Figura 5-2. Sra. Deysi Lisseth Callo Apaza, SMRL Los Rosales.

Preguntas relacionadas con problemas de agua en la vida personal:

P: ¿Cómo es su acceso al agua potable?

R: En el lugar donde vivo hay acceso a agua potable, para consumo humano, para las personas que viven en ese lugar.

P: ¿Cómo es el acceso al agua potable en las comunidades que viven en las áreas de los proyectos en los que has trabajado?

R: (Acceso) es por tubería normal.

P: ¿Cómo es el acceso al agua potable en Los Rosales?

R: Traen botellas grandes de Vilque. Lo que faltaría (a mejorar) sería implementar más, hacer un reservorio de agua potable para que también consumamos agua.

P: ¿Cuál es el uso principal del agua en su grupo familiar y en las comunidades que viven en las áreas de los proyectos en los que ha trabajado?

R: En ese aspecto, consumimos agua para consumo humano y también para lavar nuestra ropa; pero para el cultivo es otra agua, que suele provenir de los arroyos y que proviene de los estanques o lagunas.

En Los Rosales, el agua en general es tratada porque vemos que tienen varios componentes químicos que son tóxicos, se podría decir, que necesitan tratamiento. El resto del agua de la zona se utiliza para riego de cultivos en general. Yo creo que los animales no beben esta agua porque hay un río más allá, y yo creo que ahí es donde se toma el agua para el consumo animal.

P: ¿Cuáles son los principales problemas de calidad y/o cantidad de agua en las áreas del proyecto en las que ha trabajado? Si es así, ¿cuál cree que es la causa del problema?

R: El problema del agua aquí en Los Rosales es la contaminación por el simple hecho de que aquí en la planta usamos reactivos y para hacer un tratamiento de agua tiene que tomar más tiempo, entonces cuando el agua está toda vertida, para un buen consumo toma mucho tiempo.

P: ¿Asociaría la causa de este problema de agua a la mina en particular?

R: En general, sí.

P: ¿Qué tan sensibles son las comunidades al deterioro de la calidad y/o cantidad del agua?

R: Están afectados porque el agua contaminada que va a sus cultivos o a la finca como dicen no es factible porque simplemente estarían matando todas las plantas o sus cultivos.

P: ¿Existe información dentro de las comunidades sobre las regulaciones e instituciones del agua en su ciudad?

R: Hay poco acceso a la información porque en su mayoría las personas que saben sobre la contaminación del agua están más involucradas. Hay gente que no sabe y simplemente no se interesa.

P: ¿Qué conexión ve entre la calidad/cantidad del agua y el desarrollo (salud, infraestructura, educación)?

R: Bueno, en otras partes sí, porque cada vez, digamos, que tratamos agua para consumo humano, al mismo tiempo va de la mano con la infraestructura que se puede sostener aquí en la comunidad; porque si, ellos también tienen derecho a recibir un apoyo económico, o algo industrializado para que ellos también puedan ser beneficiados.

P: ¿Cuál ha sido el rol o las experiencias de su empresa (municipio u ONG) donde trabaja en la gestión del agua?

R: Sí, he visto durante mi tiempo aquí que la empresa también se preocupa por el tratamiento del agua. Porque ni siquiera a la empresa le preocuparía que el agua se contamine, nosotros también debemos ver como empresa, como trabajadores, cuidar el medio ambiente y tratar de cuidar el agua; hacer un buen tratamiento del agua para que todo fluya bien y no haya molestias para el trabajador ni para la población, para la comunidad.

P: ¿Qué conexión ve entre la gestión sostenible del agua y la independencia de las mujeres?

R: No, principalmente estoy hablando de las mujeres aquí, estamos bien, en solidaridad o simplemente trabajando (como) un buen equipo y al mismo tiempo estamos compartiendo bien entre nosotros. Y también lo estamos haciendo bien con respecto a los demás.

P: En su experiencia, ¿los problemas del agua afectan tanto a las mujeres como a los hombres, a las comunidades indígenas como a las áreas urbanas?

R: Afecta por igual a hombres y mujeres.

P: ¿Y también por igual a las comunidades indígenas que a las urbanas?

R: Sí, también afecta por igual.

P: ¿Qué tan factible cree que es encontrar una solución a los problemas del agua, en qué horizonte de tiempo? ¿Qué se necesita? ¿Quién debe actuar?

R: Sí, es posible tener una solución, simplemente es cuestión de gestionarlo o hacer un seguimiento de los tratamientos de agua porque cada tipo de agua tiene un tratamiento diferente, pero se podría controlar.

Para estas soluciones debemos actuar las personas, y además si la empresa está involucrada en esto, la empresa también debe involucrarse para llegar a un buen tratamiento, para que no haya contaminación del agua.

Preguntas relacionadas con el proyecto BLP:

P: ¿Crees que la iniciativa del proyecto es innovadora?

R: Sí, es muy bueno. Gracias a ustedes, a las experiencias y las cosas que aportan para la empresa Los Rosales nos serán de mucha utilidad, también vi la iniciativa de ayer, como manejaron o simplemente nos guiaron de cómo hacer o como debemos tomar el agua, y todo con mimo. Esto nos va a ser muy útil aquí para la empresa Los Rosales, sobre todo el manejo del medio ambiente.

P: ¿Cree que la metodología de estudio y la gestión del proyecto es adecuada y qué sugerencias propondría para lograr los objetivos?

R: Sí, realmente es algo nuevo para nosotros y poco a poco lo sabremos sobrellevar, e iremos aprendiendo, y lo seguiremos aplicando.

P: Si existe la posibilidad de realizar una segunda etapa del proyecto en relación a la gestión del agua, ¿cuáles cree que deberían ser los objetivos?

R: Cuando empecemos a trabajar en la mina Candelaria podríamos hacer algunas mejoras más adelante, si nos trae la tecnología. Además, cuando te vemos, cómo trabajas, aprendemos de todo eso, para poder seguir gestionando todo eso (según) lo que haces o llevas a cabo.

Nombre: Fiorela Enma Choquehuanca Medina (**Figura 5-3**)

Género: Femenino

Edad: 23

Empresa – cargo: SMRL Los Rosales, jefe de guardia

Grupo étnico (si aplica): Aymara



Figura 5-3. Sra. Fiorela Enma Choquehuanca Medina, SMRL Los Rosales.

Preguntas relacionadas con problemas de agua en la vida personal:

P: ¿Cómo es su acceso al agua potable?

R: Donde vivo el agua es normal porque vivo en la ciudad.

P: ¿Cómo es el acceso al agua potable en las comunidades que viven en las áreas de los proyectos en los que has trabajado? Si la respuesta es negativa, ¿qué cree que se necesita para mejorar el acceso al agua potable?

R: Hay ríos, hay una planta y creo que ahí es donde están haciendo el tratamiento y ahí es donde lo distribuyen.

P: ¿Sabe cuál es la fuente de agua para las personas que trabajan en esta finca?

R: A través del río.

P: ¿No tienen alcantarillado y agua potable?

R: No, hay manantiales de agua de los que giran a través de varios lugares desde los que bombean agua.

P: ¿Cuál es el uso principal del agua en su grupo familiar y en las comunidades que viven en las áreas de los proyectos en los que ha trabajado?

R: Para comida, para cocinar, solo para vivienda. En la tierra es para la cosecha, para los cultivos y para los animales.

(En Los Rosales), en la planta lo que hacemos es reutilizar, recircular nuestro relave, lo que hacemos es que sedimenta, sale la solución y la recuperamos. Tratamos de no utilizar esta agua ácida o agua que sale de la mina, por lo que es un circuito cerrado.

P: ¿Cuáles son los principales problemas de calidad y/o cantidad de agua en las áreas de los proyectos en los que ha trabajado? Si es así, ¿cuál cree que es la causa del problema?

R: Bueno, a veces, en nuestra agua dulce o agua para consumo, en la estación seca disminuye un poco; entonces, tenemos que limitarnos, tenemos que cuidarlo.

Eso sí, a veces el tratamiento es lo más cuidado, a veces se va, te olvidas un ratito y luego sube el pH y todo eso, pero se controla, se puede controlar.

P: En relación no solo a Los Rosales sino también a la zona, por ejemplo, con la minería artesanal, ¿eso genera un problema en el agua?

R: Claro, ahora no lo he visto, pero antes sí tiraron agua ácida, río arriba, pero ya han tenido un acuerdo y han estado hablando. Creo que hemos acordado que se va a tratar o lo vamos a tratar.

P: ¿Qué tan sensibles son las comunidades a un deterioro en la calidad y/o cantidad del agua?

R: Sabemos muy bien que el agua es vida, sí, son sensibles porque esta es parte del ganado, de la cosecha, de todo el sustento; entonces es muy importante que lo abordemos y que apoyemos a la comunidad. Hasta ahora ha habido algunos problemas, pero ha sido porque a veces aumenta el caudal de la mina y es cuando la gente de arriba, o los mineros artesanales, sueltan el agua. El flujo aumenta y luego se sale un poco de control, pero siempre es manejable, siempre es tratable.

P: ¿Existe información dentro de las comunidades sobre las regulaciones e instituciones del agua en su ciudad?

R: Sí, hubo talleres con la gente principal, la junta directiva, donde se dio a conocer que se iba a tratar, y también unas reuniones donde se dio a conocer que se iba a tratar. Hay acuerdos con la propia comunidad.

P: ¿Qué conexión ve entre la calidad/cantidad del agua y el desarrollo (salud, infraestructura, educación)?

R: Por supuesto, porque mientras nuestra calidad de agua sea mejor, nuestra salud será mucho más cómoda para cada uno de nosotros; pero si nuestra agua está un poco contaminada, nuestra propia salud juega un papel.

P: ¿Cuál ha sido el rol o las experiencias de su empresa donde trabaja en la gestión del agua?

R: Con el manejo del agua he aprendido muchas cosas, hay muchos temas por investigar, muchos proyectos por implementar, por probar y en este momento estamos con el pH o con las pruebas que tenemos; sin embargo, también estamos buscando más formas de resolver o brindar un mejor tratamiento. Nuestro objetivo es mejorar y optimizar.

P: ¿Qué conexión ve entre la gestión sostenible del agua y la independencia de las mujeres?

R: Sí, más que nada la mujer está relacionada con la Pachamama. Pachamama es la tierra, es el personaje principal de nuestra cultura. Si lo desarrollan con empoderamiento, pues el mismo ambiente los inspira, yo confío en una mujer, en una dama y eso te da más seguridad, más confianza en ti mismo. Antes, en los viejos tiempos, en general, las señoras o mujeres administraban, tal vez no tanto en el mundo minero, sino más clerical, se podría decir. Ahora estamos saliendo al campo, experimentamos, hablamos con nuestros compañeros o vamos a las comunidades, y tratamos de ser más sociables y abiertos, más empáticos con los demás.

P: En su experiencia, ¿los problemas del agua afectan de la misma manera a mujeres y hombres, a las comunidades indígenas y a las zonas urbanas de la misma manera?

R: Las comunidades siempre van a estar más expuestas, como te dije, es de ese cauce o río de donde sacan su sustento, ya sea para sus fincas, para el ganado, hasta para el consumo; sin embargo, en una zona urbana, en un pueblo, hay tratamientos y no hay problema.

P: ¿Qué tan factible cree que es encontrar una solución a los problemas del agua, en qué horizonte de tiempo? ¿Qué se necesita? ¿Quién debe actuar?

R: Debemos actuar. El agua ácida que sale de la mina, no la provocamos nosotros, viene del interior; lo que nos proponemos o tenemos como objetivo es tratarlo y mejorarlo, como decía, optimizarlo para que pueda ser utilizado para agua potable o algo así. Necesitamos muchas pruebas y experimentos también.

Preguntas relacionadas con el proyecto BLP:

P: ¿Crees que la iniciativa del proyecto es innovadora?

R: Por supuesto que sí, es muy innovador, nos ayudará mucho a mejorar nuestra calidad de vida, tanto en la planta como en las comunidades, y nos ayudará mucho a ayudar a otros también.

P: ¿Cree que la metodología de estudio y la gestión del proyecto es adecuada, qué sugerencias propondría para lograr los objetivos?

R: Sí, porque el primer paso es un poco difícil de dar, y luego, al momento de tener una iniciativa te inspiras y generas confianza y vas a todo pensando siempre en la meta y el objetivo. Sugiero ser más constante en las capacitaciones y charlas.

P: Si existe la posibilidad de realizar una segunda etapa del proyecto en relación a la gestión del agua, ¿cuáles cree que deberían ser sus objetivos?

R: Esto puede ser el cierre de la mina, es otro de los problemas, y son estudios grandes.

Nombre: Kenny Carol Caballero Marchan (**Figura 5-4**)

Género: Femenino

Edad: 43

Empresa – cargo: DESCOSUR - Gerente de proyectos y especialista en manejo de recursos naturales

Grupo étnico (si aplica): Mestizo



Figura 5-4. Mrs. Kenny Caballero, Descosur.

Preguntas relacionadas con problemas de agua en la vida personal:

P: ¿Cómo es su acceso al agua potable?

R: En el área de la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca (RNSAB), los principales centros de población tienen acceso a agua de manantial, la cual es purificada para uso doméstico.

A nivel de rancho, el agua proviene de fuentes naturales (manantiales) y no es purificada.

P: ¿Cómo es el acceso al agua potable en las comunidades que viven en las áreas de los proyectos en los que ha trabajado?

R: Las comunidades tienen acceso al agua a través de fuentes naturales (manantiales).

P: ¿Cuál es el uso principal del agua en su hogar y en las comunidades que viven en las áreas del proyecto en las que ha trabajado?

R: En mi grupo familiar lo usamos directamente para la preparación de alimentos, higiene personal y otras actividades domésticas diarias.

En las comunidades el uso es para preparación de alimentos, higiene familiar, así como para mejorar sus pastos naturales y criar ganado doméstico (alpacas, llamas y ovejas).

P: ¿Cuáles son los principales problemas de calidad y/o cantidad de agua en las áreas del proyecto en las que ha trabajado?

R: En cuanto a la cantidad, el principal problema está relacionado con las variaciones climáticas, referido a la disminución de las precipitaciones, con una marcada estación húmeda (lluvias) y estación seca, la presencia de agua en la zona depende directamente de las precipitaciones, por lo que se deben tomar medidas adecuadas y asegurar la disponibilidad de agua. En cuanto a la calidad, el principal problema es la pérdida de cobertura vegetal por malas prácticas de las comunidades campesinas, como el sobrepastoreo y el uso inadecuado del agua.

P: ¿Cuál cree que es la causa del problema?

R: Cambio climático, malas prácticas ganaderas

P: ¿Qué tan sensibles son las comunidades a un deterioro en la calidad y/o cantidad del agua?

R: Son bastante sensibles, porque dependen directamente del agua para su subsistencia y para criar su ganado, que es su principal actividad económica.

P: ¿Existe información dentro de las comunidades sobre las regulaciones e instituciones del agua en su ciudad?

R: No, no existe, porque la legislación sobre recursos hídricos es reciente y no se ha socializado adecuadamente con las poblaciones de la sierra.

P: ¿Qué conexión ve entre la calidad/cantidad del agua y el desarrollo (salud, infraestructura, educación)?

R: Es una conexión directa y fuerte, porque si se asegura la calidad y cantidad de agua se logrará un adecuado desarrollo de las poblaciones, lo que incluye una mejora en la calidad de vida.

P: ¿Cuál ha sido el rol o las experiencias de su empresa (municipio u ONG) donde trabaja en la gestión del agua?

R: DESCOSUR es pionera en acciones relacionadas con la siembra y cosecha de agua, actividades que han sido replicadas por la población por su eficacia y eficiencia. Hemos jugado un papel como promotores de buenas prácticas para el manejo de los recursos naturales, las cuales se han implementado con algunas poblaciones de la sierra.

P: ¿Qué conexión ve entre la gestión sostenible del agua y la independencia de las mujeres?

R: La conexión es directa, porque son las mujeres las que se encargan, la mayor parte del tiempo, del manejo del rancho, asumiendo no solo un rol reproductivo, sino también productivo. Son los "jefes" de familia que durante mucho tiempo han sido invisibilizados.

P: En su experiencia, ¿los problemas del agua afectan de la misma manera a mujeres y hombres, a las comunidades indígenas y a las zonas urbanas de la misma manera?

R: Los problemas del agua afectan por igual a hombres y mujeres, ya que el uso que se le da es el mismo, el fin de manejar adecuadamente el agua es asegurar el agua para la subsistencia de la familia y para la cría del ganado doméstico, por lo que no hay diferencia en su uso o afectación.

Donde hay una diferencia es entre comunidades rurales y áreas urbanas, porque la accesibilidad y disponibilidad de agua es diferente.

P: ¿Qué tan factible cree que es encontrar una solución a los problemas del agua, en qué horizonte de tiempo? ¿Qué se necesita? ¿Quién debe actuar?

R: Se puede encontrar una solución, pero a largo plazo, con una adecuada gestión del recurso hídrico, que no solo contemple acciones para asegurar su cantidad y calidad, sino que también fortalezca las organizaciones de base para que las poblaciones locales repliquen las buenas prácticas y tomen las medidas adecuadas. decisiones para su manejo. La gestión del agua debe ser integral, en la que converjan todos los actores, de manera real y participativa.

Preguntas relacionadas con el proyecto BLP:

P: ¿Crees que la iniciativa del proyecto es innovadora?

R: Sí, es una idea innovadora hacer que el monitoreo sea participativo.

P: ¿Le parece adecuada la metodología de estudio y la gestión de proyectos? ¿Qué sugerencias propondría para alcanzar los objetivos?

R: Sí, creo que la metodología es adecuada. Se deben tener en cuenta todos los factores que puedan influir en la calidad del agua (vertidos de aguas residuales y/o grises, antiguas concesiones mineras, aguas termales y manantiales cercanos, etc.) y se deben tener en cuenta los puntos de monitoreo que puedan ser comparables (otros cursos de agua). Es importante tener en cuenta la base climática y geológica histórica.

P: Si existe la posibilidad de realizar una segunda etapa del proyecto en relación a la gestión del agua, ¿cuáles cree que deberían ser sus objetivos?

R: Medidas/acciones para la restauración de la calidad del agua que sean accesibles a la población, es decir, que la población pueda implementarlas.

Nombre: Delmy Poma Bonifaz (**Figura 5-5**)

Género: Femenino

Edad: 45

Empresa – cargo: DESCOSUR - Presidenta

Grupo étnico (si aplica): N/A



Figura 5-5. Sra. Delmy Polma Bonifaz, DESCOSUR.

Preguntas relacionadas con problemas de agua en la vida personal:

P: ¿Cómo es su acceso al agua potable?

R: Las familias de la RNSAB mantienen un patrón de vivienda disperso con las llamadas ESTANCIAS, que son viviendas familiares con niveles de vecindad distantes (3 a 4 Kms. de distancia entre cada estancia). El abastecimiento de agua en las estancias es únicamente de manantiales y acequias. No hay acceso a agua potable en estos ranchos. La red pública de acceso al agua potable se ubica en los pueblos, localidades y cabeceras de distrito donde también se concentran la educación, la salud, la justicia, el comercio, etc.

P: ¿Cómo es el acceso al agua potable en las comunidades que viven en las áreas de los proyectos en los que ha trabajado?

R: Hay una necesidad urgente de mejorar el acceso al agua potable en estos territorios.

P: ¿Cuál es el uso principal del agua en su hogar y en las comunidades que viven en las áreas del proyecto en las que ha trabajado?

R: El uso del agua es principalmente para consumo humano, higiene, pero también para el manejo de la base productiva de los camélidos sudamericanos, ya que es la única actividad productiva de la zona.

P: ¿Qué tan sensibles son las comunidades a un deterioro en la calidad y/o cantidad del agua?

R: No hay plena conciencia del deterioro de la calidad y/o cantidad, sino que la sensibilidad se debe a la necesidad de acceso en las cabinas o ESTANCIAS.

P: ¿Existe información dentro de las comunidades sobre las regulaciones e instituciones del agua en su ciudad?

R: En los centros poblados donde hay servicio de agua potable, que es prestado por las Municipalidades o en algunos otros por las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JASS), la población también tiene un conocimiento limitado sobre las normas y obligaciones (hay poca cultura del cuidado y pago del arancel), y normalmente es subsidiado.

P: ¿Qué conexión ve entre la calidad/cantidad del agua y el desarrollo (salud, infraestructura, educación)?

R: El problema de no tener acceso a calidad y cantidad de agua en las zonas altoandinas se suma a los rezagos históricos que sufren estas poblaciones, como la calidad de los servicios de salud, vías de comunicación, acceso a internet, educación, entre otros. Estos territorios permanecen en situación de pobreza o pobreza extrema.

P: ¿Cuál ha sido el rol o las experiencias de su empresa (municipio u ONG) donde trabaja en la gestión del agua?

R: Los gobiernos locales se preocupan por brindar estos servicios, particularmente en las capitales de distrito o pueblos y localidades con alta concentración de población, cuyos costos de inversión tienen una relación equitativa con el número de beneficiarios.

P: ¿Qué conexión ve entre la gestión sostenible del agua y la independencia de las mujeres?

R: Las mujeres y las niñas son las que más se relacionan con el agua, ya que en su mayoría se encargan de las responsabilidades del hogar y durante varios meses también se encargan de las actividades productivas, en las que el agua es el elemento fundamental para estas actividades, la falta de acceso, así como la dedicación al manejo del agua para mejorar sus pastos y por ende la alimentación de sus animales está directamente relacionada con el manejo del agua y su independencia.

P: En su experiencia, ¿los problemas del agua afectan de la misma manera a mujeres y hombres, a las comunidades indígenas y a las zonas urbanas de la misma manera?

R: El problema del agua no afecta por igual, en las zonas rurales no hay acceso al agua potable, en algunos casos hay que caminar varios metros o incluso kilómetros para acceder a una "fuente de agua" para recogerla en los ranchos o cabañas, en el caso de los centros poblados por poco conocimiento o incluso irresponsabilidad de ambos municipios y JASS el agua no es clorada ni tratada, es decir la población tiene agua en sus casas pero esta solo es entubada.

P: ¿Qué tan factible cree que es encontrar una solución a los problemas del agua, en qué horizonte de tiempo? ¿Qué se necesita? ¿Quién debe actuar?

R: El acceso al agua potable en centros de población dispersos es un desafío para el país, porque requiere validación a través de investigaciones y ensayos para encontrar el modelo que sirva para que las familias asentadas en "ESTANCIAS o CABAÑAS" puedan tener un sistema de agua que les brinde acceso, el sistema de tubería que se implementa en los centros de población no es factible en estas áreas dispersas porque implica presupuestos abismales que son imposibles de cubrir.

Preguntas relacionadas con el proyecto BLP:

P: ¿Crees que la iniciativa del proyecto es innovadora?

R: Sí, el proyecto es innovador, sobre todo cuando se cuestiona la gestión minera y su impacto en la calidad del agua en Perú.

P: ¿Le parece adecuada la metodología de estudio y la gestión de proyectos? ¿Qué sugerencias propondría para lograr los objetivos?

R: La formación de los actores locales debería ser más un programa de formación que luego pueda ser replicado por alguna entidad pública o privada y que se articule con la municipalidad o con las JASS, si esta última es la que existe, sería la miembros que participan en el programa de capacitación.

P: Si existe la posibilidad de realizar una segunda etapa del proyecto en relación a la gestión del agua, ¿cuáles cree que deberían ser sus objetivos?

R: Generar investigaciones sobre fuentes de agua para diseñar modelos de abastecimiento de agua para poblaciones rurales dispersas. Investigar la calidad de las aguas subterráneas resultantes de la infiltración de la “Siembra y cosecha de agua”.

Hallazgos generales de las entrevistas

De las cinco entrevistas recolectadas a los actores locales del área de estudio, existe una percepción general de que existe acceso a agua dulce de fuentes naturales como ríos y manantiales, que son aprovechadas para consumo humano, agricultura: y ganadería o uso doméstico en pequeña escala. cría de animales También indican que los principales problemas hídricos están relacionados con la falta de tratamiento de agua potable, la falta de infraestructura y la limitada disponibilidad de agua dulce durante la estación seca. Estos problemas parecen estar relacionados con problemas de salud; cabe mencionar la situación de algún grupo que vive en “estancias”¹ en los territorios andinos donde la población no tiene acceso a agua potable ni otros servicios básicos, siendo la población indígena la más sensible. Por otro lado, en la zona de Los Rosales, los actores perciben una influencia de la minería en la problemática del agua, ligada por ejemplo a la presencia de la minería artesanal. Asimismo, se observa que la normativa relacionada con el manejo del agua no es conocida por toda la población.

Es importante resaltar la percepción de igualdad de género en la problemática del agua; en la actualidad; las mujeres y las niñas han asumido un papel productivo dentro de las familias y encuentran soluciones a estos problemas trabajando en equipo dentro de su comunidad. Por su parte, las instituciones representadas se involucran de diferentes formas en la gestión del agua, por ejemplo, SMRL Los Rosales realiza tratamiento de aguas ácidas y DESCOSUR tiene acciones relacionadas con la planta y captación de agua.

Las soluciones propuestas por los actores incluyen mejoras en la gestión del agua, que debe ser integrada y participativa, un mejor monitoreo de la calidad del agua, mejoras en el tratamiento y acceso al agua potable para los centros de población dispersos en las zonas andinas.

Finalmente, ha habido comentarios positivos del presente proyecto. Se espera que se puedan reforzar los programas de capacitación para los actores locales y que se puedan profundizar los estudios para la remediación de sitios posiblemente contaminados y la evaluación de fuentes de agua.

¹ "Las estancias o hatos ocupan los espacios periféricos que rodean los centros administrativos o poblados de las localidades. Aunque el asentamiento humano se encuentra disperso, existen en algunas pequeñas agrupaciones de casas de estancia (hatu wasikuna), alrededor de un espacio libre y con corrales o dormideros (kanchakuna) en la periferia." (Palomino, 2012))

5.3 Soluciones locales para la gestión del agua en la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca

Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca está ubicada en las provincias de Arequipa (RNSAB), Caylloma y General Sánchez, en el sur del Perú (**Figura 5-6**). Descosur, una ONG, trabaja allí desde 2007 a través de un Contrato de Administración Parcial firmado con el Ministerio de Medio Ambiente en 2006. En 2012, se aprobó una extensión del contrato hasta 2027.

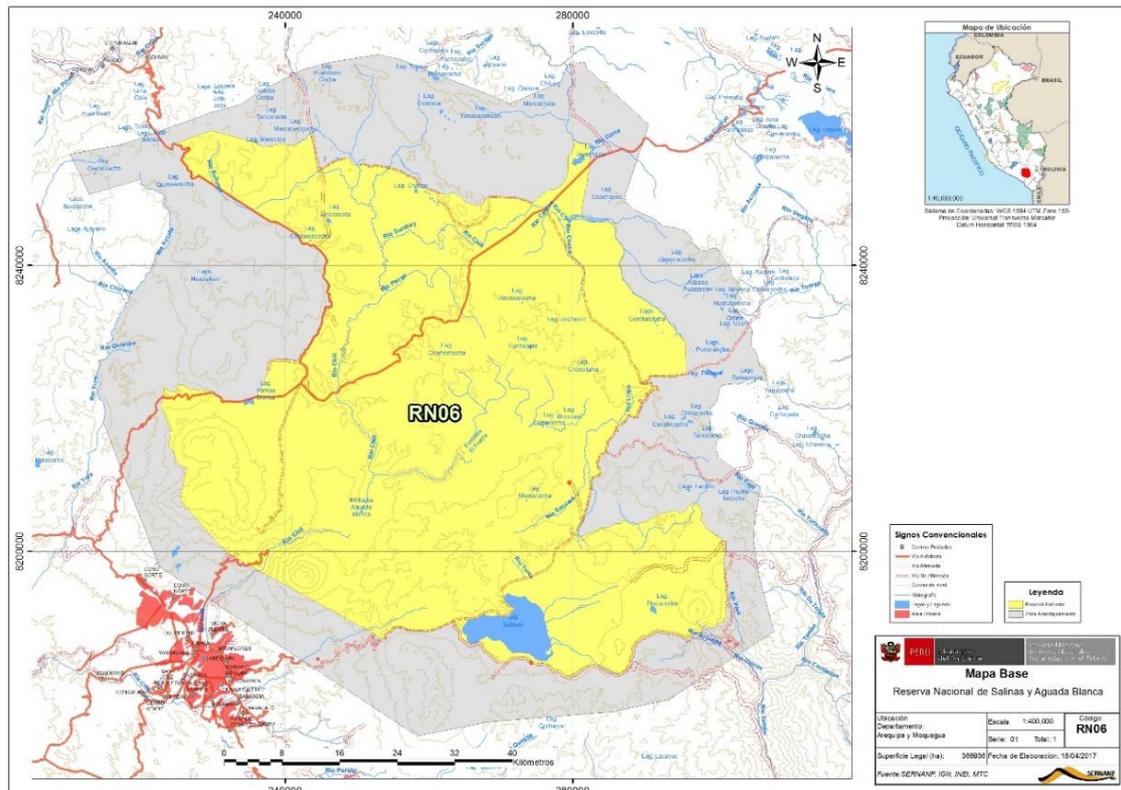


Figura 5-6. Localización de la Reserva Natural Salinas y Aguada Blanca

Fuente: SERNANP

Descosur trabaja en RNSAB junto con las comunidades locales en proyectos enfocados en la gestión de recursos. Durante el viaje 2022, Descosur invitó al equipo de la DGfZ a visitar la RNSAB para ver los resultados obtenidos a la fecha, donde vieron los proyectos de la señora Brígida Huachani Lasarte (**Figura 5-7**), quien con el apoyo de Descosur ha desarrollado dos proyectos locales de gestión del agua, dentro del concepto de siembra y cosecha de agua.

La actividad económica de Brígida, como la mayoría de las comunidades locales de RNSAB, es la crianza de Alpacas, para la posterior venta de lana o carne. La Sra. Brígida construyó un pequeño reservorio de agua en 2020, ubicado cerca de su casa y del lugar donde cría las Alpacas. Este reservorio le permite, entre otras cosas, tener agua potable para su casa, para regar su terreno y para beber agua para sus alpacas. Antes de este proyecto, la fuente de agua potable era un canal al costado de la carretera, el cual estaba constantemente contaminado con basura arrojada por los autos, y no había un control de almacenamiento y protección del agua. Además de mejorar el almacenamiento de agua para ella, otras mejoras incluyeron mejorar el suelo donde pastan sus alpacas. Sembró pastos locales de áreas

cercanas, y el embalse le permite regar de manera óptima sus cultivos a través de canales de riego (**Figura 5-8**), para la alimentación de las alpacas. Estas áreas han estado históricamente deterioradas y la calidad del suelo no era lo suficientemente buena para la crianza de alpacas, y a través del proyecto de la Sra. Brígida han podido recuperar la calidad del suelo mejorando el manejo del agua, lo que ha permitido mejorar su sustento económico (**Figura 5-8 y Figura 5-9**).



Figura 5-7. Sra. Brígida Huanachi Lasarte, en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca.



Figura 5-8. Gestión local de almacenamiento y distribución de agua en RNSAB
Izquierda: pequeño depósito. Derecha: canales de riego construidos por la Sra. Brigida Huachani



Figura 5-9. Diferentes áreas mejoradas por el proyecto de la Sra. Brígida.

Otro proyecto visitado fue la micropresa construida por la señora Brígida en el 2021. Esta micropresa fue construida dentro de las otras propiedades de la señora Brígida, dando respuesta al problema de almacenamiento de agua de lluvia que se ha visto afectado por el cambio climático. Al igual que en el proyecto anterior, esta microrrepresa mejora la gestión local del agua, aumentando la capacidad de almacenamiento para la mejora del suelo, la siembra de pastos y agua potable para los animales (**Figura 5-10**). La señora Brígida indicó que en los últimos años las lluvias están llegando en menos meses, teniendo lluvias más intensas, pero en periodos de tiempo más cortos, por lo tanto, teniendo el problema de almacenar adecuadamente el agua para su uso posterior en periodos secos. Este proyecto viene como una solución para ese problema.

Según Descosur, este tipo de soluciones locales también pueden ayudar a mayor escala. Al mejorar la capacidad de almacenamiento aguas arriba de las cuencas hidrográficas, se incrementa el tiempo de retención. Esto se traduce en una mayor capacidad de infiltración en las zonas de aguas arriba, reduciendo la escorrentía de los arroyos, causando menos problemas por caudales altos (por ejemplo, inundaciones) en las zonas de aguas abajo, donde se encuentra la ciudad de Arequipa.

Los datos compartidos por Descosur sobre los resultados de los proyectos de la Sra. Brígida indican un total de 13.5 ha de área mejorada, una capacidad total de 5000 m³ de agua para la micropresa y un almacenamiento de 800 m³ de agua en 2020 y 360 m³ en 2021 para el reservorio pequeño (**Tabla 5-1**).

Tabla 5-1. Resumen de resultados de la Sra. Brígida

Proyecto	Unidad	2020		2021	
		Pequeño reservorio	Micropresa	Pequeño reservorio	Micropresa
Capacidad	m ³	800	N/A	360	5000
Zona mejorada	ha	3	N/A	1.5	9



Figura 5-10. Proyecto de micro represa dentro de las propiedades de la señora Brígida
Arriba: Muro Micropresa . Medio: agua recolectada. Abajo: Canal y tierras mejoradas.

6. Perspectivas y desafíos

El proyecto "Protección del agua en la rehabilitación minera de Perú" formaba parte del Programa del Gobierno alemán y los Estados Federados (en alemán: Bund-Länder-Programm, BLP), cuya coordinación estuvo a cargo de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ).

En el contexto del proyecto BLP Sajonia-Perú, se realizó una revisión de las experiencias existentes sobre gestión del agua en sitios post-mineros de Sajonia, con el fin de fortalecer las capacidades de las administraciones subnacionales seleccionadas en Perú para implementar estándares internacionales de protección del agua en rehabilitación post-minera.

El proyecto BLP "Protección del agua en la rehabilitación minera en Perú" se enfoca en los efectos de la minería en el agua y la protección necesaria del agua. El agua es de suma importancia para muchas áreas de la vida. El agua en sí misma es un hábitat y al mismo tiempo cumple funciones esenciales para otros hábitats de plantas y animales. Es un recurso necesario e indispensable para el abastecimiento de agua potable y de servicio, para la producción de alimentos y para asegurar una amplia gama de actividades económicas.

Al reconocer los efectos regionales del cambio climático y la necesidad de lograr un cambio estructural en el uso de la energía, Sajonia deberá abordar más intensamente las cuestiones de la rehabilitación y gestión sostenibles de los cuerpos de agua, especialmente en las zonas mineras, pero también en otros paisajes. La tarea principal de la gestión del agua en Sajonia será organizar el uso sostenible del agua como un recurso limitado. Para ello, SMEKUL ha elaborado el "Concepto Principal de Abastecimiento de Agua 2030", que se publica en 2022. Pero aquí no solo juega un papel la renovación, también hay que abordar las consecuencias sociales. Por lo tanto, Sajonia se ha fijado el objetivo de crear nuevos puestos de trabajo en regiones post mineras mediante el establecimiento de nuevas ramas de la industria, principalmente innovadoras, para poder ofrecer alternativas a la población local.

6.1 Resumen de los resultados del proyecto

Se revisaron las regulaciones relacionadas con la protección del agua de Perú para comprender el marco legal en Perú para la gestión del agua en las áreas afectadas por la minería. Además, se revisaron los reglamentos de protección del agua de la UE y Alemania, junto con los reglamentos relacionados con el manejo de sitios contaminados de Sajonia para comparar la instrumentación legal alemana con la peruana (**Capítulo 2**). El marco legal alemán y sajón resultó ser más robusto y específico en los sitios contaminados. Además, se identificaron diferencias en los estándares de calidad ambiental entre ambos países. Los estándares de calidad ambiental peruanos se basan en el uso final de los cuerpos de agua, mientras que los alemanes se basan en la naturaleza de cada cuerpo de agua, teniendo una clasificación más compleja (23 tipos de cuerpos de agua superficiales). Además, no se encontraron EQS específicos para aguas subterráneas en las regulaciones peruanas, a diferencia de los EQS alemanes de GrwV.

Se presentó la metodología sajona para la gestión de sitios contaminados SALM, describiendo los diferentes pasos que contiene (**Capítulo 2.3**). Se realizaron investigaciones históricas en los sitios de estudio de Perú con la información disponible antes de cualquier actividad de campo (**Capítulo 3.1**). Basándose en los resultados de las investigaciones

históricas, se planificaron investigaciones orientadas en ambos sitios, con el fin de obtener información más detallada sobre las rutas de contaminantes identificadas (**Capítulo 4.1**).

Se realizó un estado del arte sobre técnicas de tratamiento de agua basado en los proyectos VODAMIN y VITAMIN de la Oficina Estatal de Medio Ambiente, Agricultura y Geología de Sajonia LfULG (**Capítulo 2.4**). Se explicaron los principales procesos involucrados en el tratamiento del agua, se presentaron diferentes clasificaciones y finalmente se presentaron los criterios para la selección de técnicas adecuadas. En el **Capítulo 4.3.4** se han resumido los mejores métodos de tratamiento de aguas recomendados y los criterios de selección para aplicarlos considerando las condiciones locales peruanas. La retención de contaminantes metálicos mediante tecnologías de humedales y el tratamiento oxidativo clásico del agua de mina obtuvieron las puntuaciones más altas de aplicabilidad local.

Tres sitios de referencia en el Sur del Perú han sido finalmente estudiados en este proyecto BLP:

- El sitio minero secundario Los Rosales ubicado en contacto con la cuenca del río Vilque en la región de Puno;
- La comunidad de El Madrigal en la cuenca del río Colca con yacimientos de antigua minería de cobre y oro en su territorio y;
- La Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca como zona de formación de la cuenca del río Chili y principal región de almacenamiento y abastecimiento de agua para la ciudad de Arequipa.

En los sitios Los Rosales y Madrigal se realizaron investigaciones históricas y orientadas sobre las implicaciones de la minería en las captaciones de agua, las cuales se incluyen en el **Capítulo 4** de esta guía.

Los resultados en Los Rosales permitieron identificar tanto las aguas superficiales como las subterráneas como vías para los contaminantes. Las altas concentraciones de metales y sulfato son consistentes con la presencia de AMD, en aguas superficiales y subterráneas. Se instalaron tres pozos de monitoreo poco profundos en Los Rosales, lo que permitió monitorear el agua subterránea en el sitio por primera vez. Se ha propuesto un concepto mejorado de control medioambiental del agua, que se ha empezado a aplicar en cooperación con los socios sajones durante la formación impartida en junio de 2022. El departamento de medio ambiente de Los Rosales ha recibido un laboratorio móvil e instrumentos para la toma de muestras. El concepto de monitoreo propuesto agrega al programa existente: aguas subterráneas filtradas, aguas de manantial, aguas de mina tratadas con el muestreo de arroyos (canales colectores) y el río Vilque. Además, se ha recomendado instalaciones para la oxidación avanzada en las balsas de agua de tratamiento de la lixiviación secundaria de estériles para una circulación y reutilización eficaces del agua. Asimismo, deben controlarse y tratarse las aguas negras del campamento minero.

Los resultados en Madrigal permitieron identificar altas concentraciones de algunos metales y sulfato en ríos cercanos al área de la Mina Madrigal. No se pudo identificar ninguna fuente específica de estos contaminantes. Además, los resultados del agua potable de Madrigal cumplen con la normativa de agua potable. Se impartió una breve formación in situ sobre muestreo de agua y análisis de campo al comité local de control del agua. Se ha abordado la importancia del control de calidad de las aguas de manantial y la protección contra los riesgos de contaminación de la zona de manantial en la montaña. Se han recomendado posibilidades de mejora técnica de los estanques de filtración de la planta local de agua potable. Se debe tenerse cuidado con el uso para el riego de aguas de arroyo afectadas por el drenaje de filtrado en un subvalle (cerrado) afectado por residuos mineros de la localidad de Madrigal.

En la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca, se presenta un ejemplo de los conflictos típicos en regiones rurales mineras: la retención local de agua y la protección de la naturaleza, y el abastecimiento del agua para zonas urbanas y la industria (véase el **Capítulo 5.3**). La mejora del rendimiento de los microembalses y el control del almacenamiento (incluidas las pérdidas) y la calidad del agua en las subregiones sensibles de la RNSAB se han debatido como un paso para reforzar la cooperación entre la población local y los principales usuarios de los recursos hídricos. Es necesario integrar la protección de la naturaleza y el medio ambiente en la normativa de la RNSAB.

Los sitios de referencia de Sajonia fueron seleccionados teniendo en cuenta su experiencia en la gestión del agua en sitios post-mineros (**Capítulo 3.2**). La atención se centró en los Proyectos Principales de Remediación Ecológica en Sajonia de Dresden Coschuetz-Gittersee y SAXONIA Freiberg con Davidschacht. Además, se ha integrado información adicional de las entidades federales alemanas de rehabilitación minera Wismut y LMBV con sus sitios de remediación de Koenigstein, Seelingstaedt y Bielatal en Sajonia. Con base en estas experiencias, se presentaron diferentes medidas aplicadas en los sitios de referencia en el **Capítulo 4**. Se detallan las medidas preventivas como inundaciones, tratamiento de agua y contención, así como experiencias de monitoreo.

Finalmente, se discuten los conflictos sociales en los sitios post-mineros (**Capítulo 5**). El compromiso de las mujeres locales y los habitantes indígenas se presenta en forma de entrevistas a actores locales de diferentes sitios de estudio. Estas entrevistas se realizaron durante la visita a Perú en 2022. Aquí se refleja la preocupación por asegurar el acceso al agua para las actividades domésticas y laborales, así como la participación en las medidas de protección de los recursos hídricos. El caso de la señora Brígida Huachani Lasarte en la Reserva Salinas y Aguada Blanca se presenta como un ejemplo de experiencia positiva en la gestión local del agua. Con el apoyo de Descosur, está desarrollando un proyecto para mejorar el suministro de agua local y así mejorar el uso del suelo para su principal actividad económica, la cría de llamas.

6.2 Declaraciones de los representantes del Estado de Sajonia

Burkhard Huth, coordinador de proyectos de SMEKUL:

Con la dirección de la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y con el cofinanciamiento del Estado Libre de Sajonia, se elaboraron propuestas para dos sitios mineros en las provincias de Arequipa y Puno al sur del Perú, que ofrecen posibles soluciones adaptadas a las condiciones locales para el uso de tecnologías respetuosas con el medio ambiente para una protección sostenible del agua en áreas posteriores a la minería y la gestión de recursos hídricos limitados. En un proceso de discusión con miembros de las autoridades nacionales y subnacionales, así como con actores locales, incluidos miembros de grupos de población indígena, se probaron posibilidades de participación ciudadana. Teniendo en cuenta las experiencias de los sitios sajones, que fueron visitados por una delegación peruana, y la normativa legal aplicable en Perú y Alemania, se elaboró una guía técnica que apoyará las competencias de las autoridades peruanas en la implementación de las leyes aplicables en materia de protección del agua en operaciones posteriores a la minería. El proyecto contribuye a la realización del objetivo 6 de los ODS "Agua limpia y saneamiento".

Dra. Christin Jahns, SMEKUL:

Los aspectos de la protección del clima, la transición energética, el auge de las materias primas y la minería y la protección del medio ambiente están estrechamente interrelacionados. La protección del agua y la gestión del agua no solo se ven afectadas aquí, sino que también son una base esencial para la implementación exitosa de los respectivos objetivos. Nos enfrentamos a desafíos complejos que solo pueden superarse mediante esfuerzos conjuntos. La cooperación a nivel de gobierno estatal, como en el proyecto BLP "Protección del agua en la rehabilitación minera en Perú", solo puede ser un inicio. A nuestro entender, tales proyectos pueden y deben impulsar una cooperación intensificada en los sectores científico y económico entre los países socios. Me gustaría promover esto en nombre del Ministerio de Energía, Protección del Clima, Medio Ambiente y Agricultura de Sajonia SMEKUL y la Corporación de Comercio e Inversión de Sajonia WFS. Debe entender como principio rector esencial que la transferencia de conocimiento no es unidireccional. También estamos abiertos a impulsos e ideas de Perú.

Durante la visita a la planta potabilizadora del municipio de Madrigal, quedó claro que existen oportunidades de cooperación en temas de abastecimiento de agua segura. Me gustaría agradecer a los socios de implementación en BLP por estar abiertos a las preguntas de la comunidad de Madrigal y brindarles soporte técnico además de las tareas principales de BLP. Durante el viaje de la delegación alemana también conocí el área protegida "Salinas y Aguada Blanca" cerca de Arequipa. Quisiera agradecer a la institución DESCOSUR por la presentación y excursión a esta región de impresionantes imágenes y duras condiciones de vida. Se mostró qué papel puede desempeñar la gestión sostenible de la tierra y el agua en la seguridad del suministro de agua y el apoyo de la población en las zonas rurales.

De mayor interés por parte de SMEKUL es la minería secundaria, es decir, la reprocesamiento de antiguos botaderos mineros para la producción de materias primas secundarias. Idealmente, debería encontrarse una combinación de remediación de antiguos sitios y residuos mineros con la extracción de materiales valiosos. Esto ya lo está implementando la empresa minera SMRL Acumulación en Los Rosales. Me gustaría agradecer a sus representantes por la interesante excursión. Me impresionaron los desarrollos tecnológicos aún planeados para mejorar los flujos del proceso y disminuir el impacto en el suelo y el agua. Esperamos que las recomendaciones de la BLP puedan dar un impulso importante. También

me complació que BGR participara en el desarrollo como parte del proyecto BMZ-GIZ MINSUS. En mi opinión, la cooperación con la Universidad Nacional del Altiplano en Puno, en particular con la Facultad de Ingeniería de Minas, también es de gran importancia. Porque los estudiantes de hoy serán los ingenieros del mañana.

6.3 Declaraciones de los representantes de los socios peruanos del proyecto

Ing. Ronal Fernandez Bravo, ANA Arequipa:

El proyecto BLP y la visita final a Sajonia han sido extremadamente beneficiosos para mis actividades en la Autoridad Nacional del Agua, especialmente en las áreas de monitoreo y control de la calidad del agua en las fuentes afectadas por la actividad minera. Hubo dos aspectos que son útiles para mi trabajo: a) El tratamiento que se realiza para el cierre de minas, considerando los impactos ambientales que producen; b) Un tema útil ha sido la investigación sobre sistemas de filtrado en el tratamiento de agua, ya que en el sur del Perú las aguas naturales tienen altos contenidos de arsénico y boro y requieren sistemas eficientes pero de bajo costo. Me gustaría continuar la cooperación en tecnologías de sistemas de tratamiento de agua para potabilización, principalmente en filtros y uso de floculantes o coagulantes para la precipitación de metales pesados.

Geog. Oliver Huamán Soto, SMRL Acumulación Los Rosales:

El proyecto fue de gran importancia para el desarrollo de la empresa basado en el cuidado del medio ambiente a través de la implementación de monitoreo de aguas subterráneas y aguas ácidas de mina. El apoyo del proyecto nos ayudó a obtener información sobre la calidad de las aguas subterráneas para evitar cualquier alteración por el proyecto minero Los Rosales.

Particularmente, el viaje de estudios a Sajonia ha sido enriquecedor, conociendo cómo se puede abordar el problema de la minería en el cierre o saneamiento en el campo del agua, energía, entre otros. La importancia que se le da a la investigación, la tecnología, y la academia, es lo que más puedo destacar. Un aspecto de perspectiva para nuestra empresa es el uso alternativo que se le puede dar a los terrenos luego del cierre de minas. Eso me llamó la atención, quizás necesito complementar más casos prácticos en este campo.

Biol. Delmy Poma Bonifaz, Descosur Arequipa:

El proyecto me permitió identificar posibilidades para que se pueda atender la demanda de buenas prácticas en la gestión del agua y los roles que puede jugar la población y la sociedad civil para ello. Lo novedoso fue el involucramiento de varios actores para realizar los estudios que permitan las diferentes perspectivas y percepciones.

Un aspecto importante de la visita a Sajonia fue la apertura de alianzas para el intercambio académico que sirviera para fortalecer las capacidades locales para una buena gestión de los recursos hídricos. Con el Consejo de Cuenca y la titular de la Reserva de Salinas y Aguada Blanca se discute una plataforma de buena gobernanza para la implementación de medidas con el Mecanismo de Retribución de SEDAPAR Servicios Ecosistémicos. Estamos insistiendo en la importancia de la investigación en el seguimiento. Me gustaría implementar un programa de capacitación en manejo de recursos hídricos relacionados con la minería y ecosistemas de alta montaña dirigido a jóvenes profesionales de la región. Esto podría ser semi presencial para hacerlo más posible.

Además, me gustaría promover una comprensión crítica colectiva de los efectos de la degradación ambiental y el cambio climático, así como los daños de la economía lineal, en el territorio y las familias del valle interandino y alta montaña de la cordillera occidental de Puna seca. Se podría crear una comunidad de práctica para estudiar y abogar con base en la evidencia sobre la instalación de un laboratorio territorial relacionado con los recursos naturales en cambio climático para el desarrollo sostenible. La cordillera de Chila sufrió la

desaparición de cerca del 99% de su superficie cubierta de nieve a causa del calentamiento global. La cordillera abastece de agua al Valle de los Volcanes, además de ser parte de las cabeceras donde se proyecta la construcción de una nueva represa con una capacidad de 1,100 millones de m³ como parte de un sistema de riego para Arequipa.

Ing. José Luís Valverde Ortiz, Arequipa:

Madrigal es un pueblo que se encuentra muy cerca de una mina clausurada que aprovechaba las aguas de los ríos cercanos y que son los mismos que actualmente sirven de fuente para el abastecimiento de agua potable a la comunidad, así como para el riego de sus tierras de cultivo. Desde hace mucho tiempo, las autoridades y la comunidad han estado muy preocupadas por no saber con certeza si las aguas estaban o no contaminadas por la mina cerrada. El proyecto ha servido para evaluar la calidad del agua con expertos especializados y con equipos debidamente calibrados. El responsable del puesto médico local debe controlar la calidad del agua potable. La formación ha servido para replicar buenas prácticas en la planificación y seguimiento de los controles que tienen que realizar de forma rutinaria.

La participación en el equipo de la DGFZ me dio la visión de contribuir a la gestión del agua en los yacimientos mineros, pero, sobre todo, de sugerir y desarrollar las reglas de gobernanza que hacen posible la gestión sostenible de los recursos en las zonas mineras. Me gustaría implementar un plan local efectivo de educación sobre el agua como una obra sostenible que garantice resultados replicables en todo el país. Capacitados en normas y fomentados en el buen uso y control del agua, todos deben tener acceso a agua segura y saneamiento.

7. Referencias

- ANA, 1981. Autoridad Nacional de Agua, Perú. Estudio de la Cuenca del Rio Ilpa Puno. Autoridad Nacional del Agua. Ministerio de Agricultura. Proyecto Manejo de Cuencas. Lima, Perú.
- ANA, 2015. Autoridad Nacional de Agua, Perú. Calidad de Aguas en Cuencas Hidrográficas a Nivel Nacional. Technical Report N°21-2015-ANA-D-GCRH-GOCRH. Lima, June 22nd 2015.
- Appelo, C. A. J., & Postma, D., 2004. Geochemistry, groundwater and pollution. CRC press.
- Bailey, M. T., Gandy, C. J., Jarvis, A. P., Drebenstedt, C., & Paul, M. (2016). Reducing life-cycle costs of passive mine water treatment by recovery of metals from treatment wastes. Proceedings IMWA.
- BIUG (Beratende Ingenieure für Umweltgeotechnik und Grundbau GmbH), 2009. Detailuntersuchung I zum Wasserpfad an der Spülhalde Davidschacht Freiberg, Teil 1 vom Februar 2009 und Teil 2 vom September 2009., unveröff.
- BMUB/UBA, 2016. Water Framework Directive – The status of German waters 2015. Bonn, Dessau.
- Canllahui Duran, J., 2020. Resultados del Estudio de Exploración de las Concesiones Acumulación Los Rosales y Los Rosales n°5. Report for Acumulación Los Rosales Mining Company. October, 2020. Lima, Perú.
- Chappuis, M., 2020. Remediación y activación de pasivos ambientales mineros (PAM) en el Perú.
- Chira J., Vargas L., Vásquez R., Palomino C., 2011. Geoquímica Ambiental de la Cuenca del Rio Camaná - Majes - Colca, (p 130), Lima, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET)
- Cusco Regional Government, 2019. Diagnostic and zoning study of the province of Espinar. Planning, Budget and Territorial Development Management, Submanagement of Territorial Development. Proyecto "Mejoramiento del Servicio de Demarcación Territorial del Ámbito Regional Cusco". 172 p.
- Dahman, Y., Deonanan, K., Dontsos, T., & Iammatteo, A., 2017. Nanopolymers. Nanotechnology and Functional Materials for Engineers, 121-144.
- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.
- DGFZ, 2012. Reinigungsverfahren von Grundwasser und Oberflächengewässern. Endbericht im Rahmen des Ziel 3 Projektes VODAMIN, Teilprojekt 04, AG: LfULG, AN: DGFZ e.V., Dresden, 27.02.2012.
- DGFZ, 2018. Recherche und Wirtschaftlichkeit (mikro-)biologischer Verfahren zur Reinigung von Bergbauwässern. Endbericht im Rahmen des Projektes VITAMIN, Teilprojekt 1.9, AG: LfULG, AN: DGFZ e.V., Dresden, 20.12.2018.
- Echavarria, L., Nelson, E., Humphrey, J., Chavez, J., Escobedo, L., & Iriondo, A., 2006. Geologic evolution of the Caylloma epithermal vein district, southern Perú. Economic Geology, 101(4), 843-863.
- European Commission, 2008. Groundwater Protection in Europe - The New Groundwater Directive - Consolidating the EU Regulatory Framework. Office for Official Publications of the European Communities. ISBN 978-92-79-09817-8.
- FRANKE, D., 2018: Regionale Geologie von Deutschland – Ein Wörterbuch, <https://faszination-rohstoffe.de/entstehung-und-vorkommen/sachsen-geologie/sachsens-geologische-bausteine-die-elbezone>

- Fritz, E.; Jahns, C., 2016. Die Spülhalde Davidschacht in Freiberg – Geschichte, Umweltproblematik und geplante Sanierung (The flotation tailing „Davidschacht“ in Freiberg – history, environmental problems and planned remediation), Freiberg Ecology online 2
- Gandy, C. J., Jarvis, A. P., Cox, N., Lofts, S., Malley, J., Moorhouse-Parry, Moorhouse, A., Neate, K.; Palumbo-Roe, B. & Potter, H. A. (2021). Challenges of watershed mine drainage characterisation and remediation at scale: Force Crag base metal mine, Cumbria, UK. In International Mine Water Association Congress. Newcastle University.
- G.E.O.S., 1993. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH: Gefährdungsabschätzung Spülhalde Davidschacht. Bericht an SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, unveröff.
- G.E.O.S., 2012. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH: Detailuntersuchung UU des Wasserpfades am Objekt „Spülhalde Davidschacht“, Teil II, Auftraggeber: FSB Freiburger Silicium Bearbeitungsgesellschaft mbH. Bericht an SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, unveröff.
- G.E.O.S., 2016. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH: Vorläufiger Bericht zur Sanierungsuntersuchung Spülhalde Davidschacht. Bericht an SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, unveröff.
- German Environment Agency, 2017. Waters in Germany: Status and assessment. Dessau-Roßlau.
- GKZ, 2018. Estudio Comparativo de Experiencias Positivas en la Gestion de Sitios Contaminados. Report for GIZ. Project N°81216685
- Guillén, N., & Vásquez, R. (2013). Caracterización geoquímica de sedimentos de quebrada en los alrededores del yacimiento minero Madrigal (Chivay, Arequipa). Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, 107, 160-165.
- Gusek, J. & Wildeman T. 2002. Passive treatment of aluminium-bearing acid rock drainage. West Virginia Surface Mine Drainage Task Force Symposium.
- Gusek, J. & Figueroa, L. 2009. Mitigation of Metal Mining Influenced Water. Part 2. SME. 164 p.
- Golden Growing, 2020a. Informe Hidrogeología en Plan de Cierre de Pasivos Ambientales con ID 8858, 8878, 9170, 8859, 8860, 8867, 8871, 8876, 8879 Y 9172 de la SMRL Acumulación Los Rosales. Private Report for Acumulación Los Rosales Mining Company.
- Golden Growing, 2020b. Informe Hidrología en Plan de Cierre de Pasivos Ambientales con ID 8858, 8878, 9170, 8859, 8860, 8867, 8871, 8876, 8879 Y 9172 de la SMRL Acumulación Los Rosales. Private Report for Acumulación Los Rosales Mining Company.
- GTK, 2022. Mine Closure webpage of the Geological Survey of Finland. <https://mineclosure.gtk.fi/>, last accessed: 21/06/2022.
- Helling, C., Wagner, H., Bunk, J., Gruhne, S., & Goldbach, E., 2014. Altlastenbehandlung in Sachsen – eine Bestandsaufnahme.
- IPEN, 2013. Determinación de la relación de las aguas de las relaveras de Ccamacmayo y Huinipampa con su entorno Hidrogeológico circundante mediante el uso de trazadores Isotópicos. Inf. Serv. Tecnológico N° 003 -2013.
- IPEN, 2017. Servicio de evaluación de posibles filtraciones de las presas de relaves Ccamacmayo y Huinipampa de la unidad minera de la Compañía Minera Antapaccay SA ubicadas en la provincia de Espinar, departamento de Cusco, mediante la inyección de trazadores y el uso de técnicas isotópicas.
- Jarvis, A. (2016). Operation and maintenance of downwards flow compost systems for mine drainage treatment: Experience from 3 full-scale systems in UK. 23RD Annual British Columbia-Mendocino ML/ARD Workshop

- Jarvis, A., Gandy, C., Bailey, M., Davis, J., Orme, P., Malley, J., Potter & Moorhouse, A. (2015). Metal removal and secondary contamination in a passive metal mine drainage treatment system. In 10th International Conference on Acid Rock Drainage (pp. 1-9).
- LABO, 2015. Berücksichtigung der natürlichen Schadstoffminderung bei der Altlastenbearbeitung. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz. Ständiger Ausschuss Altlasten – ALA. Ad-hoc Unterausschuss „Natürliche Schadstoffminderung“. Positionspapier.
- Levit, S., 2014. Minas de Glencore Xstrata en la Provincia de Espinar: Impactos acumulativos para la salud humana y el medio ambiente. CSP, Oxfam, 47 p.
- LfULG, 2000. Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 9 Sanierung. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- LfULG, 2003. Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 1 Grundsätze. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- LfULG, 2020. Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 8 Sanierungsuntersuchung. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- Martinez, L., 2018. Evaluación del Estado de Conservación de Suelos Contaminados por la Relavera El Madrigal - Arequipa y Propuesta de Fitorremediación. Doctoral Thesis in Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú.
- Mayes, W. M., Perks, M. T., Large, A. R. G., Davis, J. E., Gandy, C. J., Orme, P. A. H., & Jarvis, A. P. (2021). Effect of an extreme flood event on solute transport and resilience of a mine water treatment system in a mineralised catchment. *Science of the Total Environment*, 750, 141693.
- MINAM, 2013A. “Informe final Mesa de dialogo Espinar”. 257 p. http://www.minam.gob.pe/espinar/wp-content/uploads/sites/14/2014/02/INF_ESPINAR_FINAL_03-09-13.pdf
- MINAM, 2013B. “Resumen Ejecutivo del Informe Final. Minan”. 47 p. <http://www.minam.gob.pe/espinar/wp-content/uploads/sites/14/2013/10/RESUMEN-EJECUTIVO-MDE.compressed.pdf>
- MINAM, 2013C. “Informe Final Integrado de Monitoreo Sanitario Ambiental Participativo (MASP), de la Provincia de Espinar “Hacia una gestión ambiental que garantiza derechos y desarrollo sostenible de espinar””.
- Mineralienatlas - Fossilienatlas. (N.d.). <https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Deutschland/Th%C3%BCrtingen/Greiz,++Landkreis/Ronneburg>
- Mollèe, R., 2013. Altlastenprojekt SAXONIA – eine Retrospektive; Verlag SAXONIA Standortentwicklungs- und –verwaltungsgesellschaft mbH
- Oblasser, A., 2016. Estudio sobre lineamientos, incentivos y regulación para el manejo de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), incluyendo cierre de faenas mineras: Bolivia (Estado Plurinacional de), Chile, Colombia y el Perú.
- OCMAL Oficina de Conflictos Mineros en Latina América (OCMAL) Conflicto Minero: La defensa del agua en Espinar contra la contaminación minera de Tintaya-Antapaccay <https://www.ocmal.org/>. Last visited on: 26.07.2022.
- Ombudsman's Office, 2018 Conflictos sociales y recursos hídricos <https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2018/05/IA-Conflictos-por-Recursos-Hidricos.pdf>
- Orihuela, J. C., Hinojosa, L., Huaroto, C., & Pérez, C., 2019. Los costos de la contaminación inera: género, bienestar e instituciones. Lima: CIES.
- Page, B., & Kaika, M., 2003. The EU Water Framework Directive: Part 2. Policy innovation and the shifting choreography of governance. *European Environment*, 13(6), 328-343.

- Palomino, T. (2012). Unidad doméstica altoandina y crianza de camélidos sudamericanos. *Investigaciones sociales*, 16(29), 171-188.
- Poma, Delmy. "Gestión de los recursos hídricos en la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca". International Final Conference "Water Protection in Mining Reclamation in Saxony and Perú - Results and Benefit of a Federal-Länder Project", 02 Nov. 2022, Fraunhofer IKTS.
- Preciado, R., & Álvarez Gutiérrez, C., 2016. *Gobernanza del agua en zonas mineras del Perú: Abriendo el diálogo*. Lima: CooperAcción. Recuperado el, 5.
- Quantum MVA (2020). *Monitoreo de la Calidad Ambiental Aire, Agua, Suelo y Ruido*. Private report for SMRL Los Rosales.
- Rodriguez, R. Sánchez, E. Choquehuanca, S. Fabián, C., Del Castillo, B., 2020. Geología de los cuadrángulos de Puno (hojas 32v1, 32v2, 32v3, 32v4) y Ácora (hojas 32x1, 32x2, 32x3 y 32x4). INGEMMET, Boletín, Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000), 2, 109 p., 8 mapas.
- Ross, A., 2016. *Groundwater Governance in Australia, the European Union and the Western USA*. In *Integrated Groundwater Management* (pp. 145-171). Springer, Cham.
- SENAMHI, 2019. *Caracterización Hidroclimática del Distrito de Vilque-Puno*. PP 0089: Reducción de la Degradación de los Suelos Agrarios. Lima, Perú.
- Sesam-Perú (2021). *Informe de la Calidad Ambiental Monitoreo de Calidad de Aire, Agua, Suelo y Niveles de Ruido Ambiental*. Private Report for SMRL Los Rosales.
- Sung, W. and Morgan, J.J., 1980. Kinetics and product of ferrous iron oxygenation in aqueous systems. *Environmental Science & Technology*, 14(5), pp.561-568.
- Tandon, P.K. and Singh, S.B., 2016. Redox processes in water remediation. *Environmental chemistry letters*, 14(1), pp.15-25.
- Tong, L., Fan, R., Yang, S., & Li, C., 2021. Development and status of the treatment technology for acid mine drainage. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 38(1), 315-327.
- UBA, 2014. *Soil Protection*. Umwelt Bundesamt webpage. Last visited: 17/05/2022. <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/soil-agriculture/soil-protection>
- Valencia, M., Rossell, W. (2003). *Memoria Descriptiva de la Revisión y Actualización del Cuadrángulo de Puno (32-v)*. INGEMMET. Escala 1:50 000).
- Vegter, J. J., J. Lowe, and H. Kasamas. *Sustainable management of contaminated land: an overview*. Austrian Federal Environment Agency, 2002 on behalf of CLARINET.
- Wedekind, C., 2017: *Stand der Sanierungsarbeiten am Standort Königstein der Wismut GmbH*; <https://link.springer.com/article/10.1007/s00501-017-0643-2/Figuras/4>
- Wenzel, A., Schlich, K., Shemotyuk, L., & Nendza, M., 2015. *Revisión der Umweltqualitätsnormen der Bundes-Oberflächengewässerverordnung nach Ende der Übergangsfrist für Richtlinie 2006/11/EG und Fortschreibung der europäischen Umweltqualitätsziele für prioritäre Stoffe*.
- Wilson, W. E., & Cooper, M. P. (2010). The Force Crag mine. *The Mineralogical Record*, 41(1), S51-S51.
- Wolkersdorfer, C. 2008. *Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines*. Fundamentals, Tracer Tests, Modelling, Water Treatment. Springer. 465 p.
- Wolkersdorfer, C., 2013. *Reinigungsverfahren für Grubenwasser*. Bewertung und Selektion von Verfahren. Endbericht im Rahmen des Ziel 3 Projektes VODAMIN, Teilprojekt 09.
- Wismut GmbH (N.d.). *Wismut GmbH - Niederlassung Königstein, Flutung, Sanierung, Aufgaben*. Wismut GmbH. https://www.wismut.de/de/nl-koenigstein_flutung.php

Wismut GmbH (N.d.). Wismut GmbH - Pipe Conveyor, Gurtbandförderer. Wismut GmbH. https://www.wismut.de/de/pipe_conveyor.php

Wismut GmbH (N. d. 1). Wismut GmbH - Wasserbehandlung, Messwerte, Schadstoffbelastung, Aue, Helmsdorf, Gittersee, Königstein, Pöhla, Seelingstädt, Ronneburg. Wismut GmbH. https://www.wismut.de/de/sanierung_messungen-standorte.php?station=seelingstaedt

Wismut GmbH (2010). Wismut GmbH - Chronicle Wismut 2010. <https://www.wismut.de/de/veroeffentlichungen.php?id=614&back=veroeffentlichungen.php%3Fyear%3D0%26index%3D0>

Wismut GmbH (2021). Wismut GmbH - Wasserbehandlung, Messwerte, Schadstoffbelastung, Environmental Report Wismut 2021, <https://www.wismut.de/de/umweltberichte.php>

Younger, P. L., Banwart, S. A., & Hedin, R. S., 2002. Mine Water. Hydrology, Pollution, Remediation. Springer, Dordrecht, The Netherlands.

Zavala, B.; Vilchez, M.; Rosado, M.; Pari, W. & Peña, F., 2014. Estudio Geoambiental en la Cuenca del Río Colca, INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 57, 222 p., 11 mapas.

Zeballos H., De Weck Ch. (2008). Áreas naturales protegidas: dos experiencias de DESCO, pp. 267-290. Perú Hoy: territorio y naturaleza: desarrollo en armonía 04.04.02/PER-HOY/14.

8. Anexos

Anexo 1. Reporte de viaje BLP Octubre-Noviembre 2021

Anexo 2. Reporte de viaje BLP Junio-Julio 2022

Anexo 3. Tour de estudios BLP en Sajonia 2022

Anexo 4. Ordenanza federal alemana de protección del suelo 2021

Anexo 5. Presentaciones y recomendaciones en Perú