

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ciencias
Escuela Profesional de Química



**MONITOREO, EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO
DE CONTAMINANTES AMBIENTALES EN
MINERÍA**

**INFORME DE COMPETENCIA
PROFESIONAL**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

LICENCIADO EN QUÍMICA

Presentado por:

MERCEDES HAYDEÉ CORONADO ARCELLES

LIMA – PERÚ
2010

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mi familia, a mis recordados maestros de la universidad, y a la Gerente de la empresa D&E Desarrollo y Ecología SAC, por el apoyo y la confianza que siempre me han brindado.

DEDICATORIA

A mi padre José Coronado Antón, a mi madre Mercedes Arcelles Checa de Coronado y a mis queridos abuelos Tito, Lucrecia, Pedro y Victoria, a quienes amo y admiro profundamente.

INDICE GENERAL

		Pág.
1.	Capítulo I: ASPECTOS GENERALES	1
1.1	Introducción	1
1.1.1	Presentación de la empresa	1
1.1.2	Funciones del químico dentro de la empresa	4
1.2	Objetivos	5
2.	Capítulo II: PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LAS OPERACIONES MINERO-METALÚRGICAS	8
2.1	Contaminación ambiental por las actividades minero-metalúrgicas.	8
2.1.1	Contaminación del agua	8
2.1.2	Contaminación del aire	13
2.2	Efectos nocivos de los contaminantes en el área de influencia de las zonas mineras (comunidades cercanas).	17
2.2.1	Efectos en la salud y el ambiente producidos por la contaminación del agua	17
2.2.2	Efectos en la salud y el ambiente producidos por la contaminación del aire	17
3.	Capítulo III: LEGISLACIÓN AMBIENTAL DEL SUB-SECTOR MINERÍA	19
3.1	Definiciones	19
3.2	Antecedentes	22
3.3	Legislación en materia de calidad del agua	23
3.4	Legislación en materia de calidad del aire	24
4.	Capítulo IV: MONITOREO, EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LOS CONTAMINANTES AMBIENTALES	26
4.1	Monitoreo y análisis de los contaminantes ambientales.	26
4.1.1	Muestreo de cuerpos hídricos y efluentes minero-metalúrgicos	26
4.1.1.1	Parámetros	26
4.1.1.2	Método de muestreo	31
4.1.1.3	Aseguramiento de la calidad de la información: calibración, trazabilidad y manejo de muestras	43

4.1.1.4	Requerimientos mínimos: humanos, equipos e instrumentos	53
4.1.2	Monitoreo de aire y emisiones atmosféricas	55
4.1.2.1	Parámetros	55
4.1.2.2	Método de monitoreo	55
4.1.2.3	Mecanismos de Aseguramiento de la Calidad	69
4.1.2.4	Requerimientos mínimos: humanos, equipos e instrumentos	70
4.2	Evaluación de los contaminantes ambientales.	72
4.3	Diagnóstico ambiental de las operaciones mineras.	77
5.	Capítulo V: PRESENTACIÓN DE CASOS REALES	83
5.1	Implementación del Plan de Cierre del Depósito de Relaves Mayoc de Larizbeascoa & Zapata SAC.	83
5.2	Supervisión Especial de Monitoreo Ambiental de efluentes minero-metalúrgicos del ámbito geográfico Huancavelica-Junín.	90
6.	Capítulo VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
6.1	Conclusiones	103
6.2	Recomendaciones	104
6.3	Bibliografía	105
	Anexos	106
Nº 1	Manual de trabajo de campo y muestreo	107
Nº 2	Fotografías de los puntos de monitoreo de aire. Plan de Cierre Mayoc	117
Nº 3	Diagramas unifilares. Ámbito geográfico Huancavelica - Junín	120
Nº 4	Panel Fotográfico. Ámbito geográfico Huancavelica – Junín. SEMA 2008	123

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
1.2.1 Responsabilidad del Químico en las labores de Supervisión de Monitoreo Ambiental	6
1.2.2 Organigrama de la empresa D&E Desarrollo y Ecología SAC	7
2.1.1 Riesgo ambiental en depósitos de relaves	11
2.1.2 Riesgo ambiental en pilas de desmontes	12
2.1.3 Riesgo ambiental en mina subterránea	12
Anexo 3 Diagrama unifilar – Cuenca Mantaro Sur “Zona Huancavelica”	121
Anexo 3 Diagrama unifilar – Cuenca Mantaro Centro “Zona Junín”	122

INDICE DE TABLAS

	Pág.
1.1.1 Cuadro Resumen – Trayectoria profesional de la empresa en Auditorías Ambientales	2
1.1.2 Cuadro Resumen – Trayectoria profesional de la empresa en Consultoría Ambiental	3
2.1.1.1 Principales contaminantes de la industria minera	15
2.1.1.2 Contaminantes para los principales tipos de minería	16
2.1.1.3 Principales agentes contaminantes que afectan la salud	17
4.1.1 Profundidad de lectura del correntómetro	29
4.1.2.a Métodos de campo acreditados por el Indecopi	42
4.1.2.b Métodos de análisis químico acreditados por el Indecopi	43
4.1.3 Comparación de LD de los parámetros según métodos de ensayo y las normas de comparación	52
4.1.2.1 Parámetros indicados en la normatividad peruana	55
4.1.2.2 Descripción de los tipos de muestreadores	57
4.1.2.3 Métodos de referencia para el análisis de los contaminantes de calidad de aire	58
4.1.2.4 Métodos de referencia para el análisis de los contaminantes de emisiones gaseosas	59
4.1.2.5 Conformación del equipo de profesionales	71
5.1.1 Resumen de las medidas del Plan de Cierre del Depósito de Relaves Mayoc	84
5.1.2 Ubicación, frecuencia y parámetros de monitoreo en las estaciones de control de aire	85
5.1.3 Resultados de monitoreo de calidad de aire Punto E-1 (antes – durante – después de la remoción de relaves)	86
5.1.4 Resultados de monitoreo de calidad de aire Punto E-2 (antes – durante – después de la remoción de relaves)	87
5.1.5 Resultados de monitoreo de calidad de aire Punto E-3 (antes – durante –	88

	después de la remoción de relaves)	
5.2.1	Métodos de análisis de la American Public Health Association (APHA) y la Environmental Protection Agency (EPA)	93
5.2.2	Programa de Monitoreo Desarrollado	95
5.2.3.a	Ubicación Geográfica y Descripción de Puntos de Monitoreo – Zona Junín	96
5.2.3.b	Ubicación Geográfica y Descripción de Puntos de Monitoreo – Zona Huancavelica	97
5.2.4	Resultados obtenidos. Cuerpo receptor – Zona Junín	98
5.2.5	Resultados obtenidos. Cuerpo receptor – Zona Huancavelica	99
5.2.6	Resultados obtenidos. Efluentes – Zona Junín	100
5.2.7	Resultados obtenidos. Efluentes – Zona Huancavelica	101

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Monitoreo calidad de aire	
N° 01 Punto de monitoreo E – 1	118
N° 02 Punto de monitoreo E – 2	118
N° 03 Punto de monitoreo E – 3	119
Monitoreo calidad de agua	
N° 01 Verificación de equipos en campo	124
N° 02 Trabajo de campo	125
N° 03 Trabajo de campo	125
N° 04 Trabajo de campo	126
N° 05 Trabajo de campo	126

GLOSARIO DE TÉRMINOS

1. **Aerodinámica** Rama de la dinámica que estudia el movimiento del aire, sobre todo cuando interactúa con un objeto en movimiento.
2. **ANA** Autoridad Nacional del Agua.
3. **Auditoría** Proceso sistemático para obtener y evaluar de manera objetiva las evidencias relacionadas con afirmaciones expuestas en un informe de un tema específico que permita determinar el grado de correspondencia del contenido informativo con las evidencias.
4. **Beneficio del mineral** Consiste en el proceso de separación, molienda, trituración, lavado, concentración y otras operaciones similares, a que se somete el mineral extraído para su posterior utilización o transformación.
5. **Bocamina** Sitio en superficie por donde se accede a un yacimiento mineral.
6. **Botadero** Depósito donde se disponen de manera ordenada los materiales o residuos no aprovechables (estériles) procedentes de las labores de extracción minera.
7. **Calcopirita** Mineral de cobre más ampliamente distribuido. Su fórmula es $CuFeS_2$.
8. **Calibración** Conjunto de operaciones que permiten establecer, bajo unas determinadas condiciones, la relación que existe entre los valores de magnitudes indicados por un instrumento o sistema de medida, o valores representados por una medida de un material o por un material de referencia, y los correspondientes valor obtenidos con los patrones
9. **Canteras** Sistema de explotación a cielo abierto para extraer de él rocas o minerales no disgregados, utilizados como material de construcción
10. **Cargadores** Equipos para remoción y movimiento de materiales.
11. **Caudal** Cantidad de agua que fluye a través de una conducción natural o artificial en una unidad de tiempo (L/s, $m^3/día$).
12. **Cianuración** Método para extraer oro o plata a partir de un mineral triturado o molido, mediante disolución en una solución de cianuro de sodio o potasio.
13. **Cierre de minas** Terminación de actividades mineras o desmantelamiento del proyecto originado en renuncia total, caducidad o extinción de los derechos del titular minero.
14. **Correntómetro** Instrumento apto a medir la velocidad de corrientes en el mar, en los ríos, arroyos, estuarios, etc.
15. **Chancado de mineral** Proceso mediante el cual se disminuye el tamaño de las rocas mineralizadas triturándolas en chancadoras y molinos.
16. **Desmante** Remoción de vegetación en un área previa delimitada. Durante el desarrollo de esta actividad se debe dar un manejo adecuado a la vegetación removida.
17. **Drenajes ácido de roca** Agua de pH bajo, enriquecida en sulfatos y con grandes concentraciones de acidez. Es producida por oxidación e

- hidrólisis de minerales de sulfuros y está representada por acidez mineral (Fe, Al, Mn y otros, dependiendo de la geología del depósito) y acidez de ión hidrógeno.
18. ECA Estándar de Calidad Ambiental.
19. Electro-refinación Proceso de refinación de un material metálico mediante la aplicación de corriente eléctrica.
20. Encefalopatía Enfermedad que afecta a la sustancia blanca del encéfalo.
21. EPA Environmental Protection Agency.
22. Erosión Pérdida física de suelo transportado por el agua o por el viento, causada principalmente por deforestación, laboreo del suelo en zonas no adecuadas, con impactos adversos tan importantes sobre el recurso como la pérdida de la capa u horizonte superficial con sus contenidos y calidades de materiales orgánicos, fuente de nutrientes y cementantes que mantienen una buena estructura y, por lo tanto, un buen paso del agua y el aire.
23. Esfalerita Es un mineral compuesto por sulfuro de zinc (ZnS).
24. Escorrentía Parte de la precipitación que se presenta en forma de flujo en un curso de agua.
25. Falla de talud Desprendimiento repentino de uno o más bloques de suelo o roca que descienden en caída libre.
26. Fluorosis Anomalia de la cavidad oral, en especial de las piezas dentales originada por ingestión excesiva y prolongada de flúor.
27. Fundición de concentrados Proceso pirometalúrgico mediante el cual un metal es llevado del estado sólido al líquido.
28. Galena Mineral del grupo de los sulfuros. Su fórmula química es PbS.
29. Impingers Son tubos de vidrio (pyrex) diseñados para recoger los gases contaminantes del aire en medio líquido (soluciones captadoras).
30. Infiltración Penetración del agua en el suelo.
31. LD Límite de Detección.
32. LGA Ley General de Aguas.
33. Lixiviación Proceso mediante el cual se provoca la disolución de un elemento desde el mineral que lo contiene para ser recuperado en etapas posteriores. Este proceso se aplica a las rocas que contienen minerales oxidados, ya que éstos son fácilmente atacables por los ácidos.
34. LMP Límite Máximo Permisible.
35. Manómetro Es un instrumento utilizado para la medición de la presión en los fluidos, determina la diferencia de presión entre el fluido y la presión local.
36. Material de desbroce Capa de tierra vegetal extraída y retirada de una determinada zona.
37. Material particulado Cualquier sustancia presente en la atmósfera, en estado sólido o líquido, por causas naturales o antropogénicas.
38. Mena Mineral de base del que es posible extraer otro mineral de mayor pureza e importancia económica.
39. Metahemoglobina Es un trastorno caracterizado por la presencia de un nivel superior al normal de metahemoglobina (MetHb) en la sangre. La

- metahemoglobina es una forma de hemoglobina que no se une al oxígeno.
40. Metrología Ciencia de las mediciones exactas.
41. Minado a tajo abierto Método de explotación propicio para las vetas cercanas a la superficie y de gran magnitud.
42. Minado subterráneo Método de extracción de mineral de debajo de la superficie de la tierra.
43. Modelos de dispersión Simulación matemática de cómo los contaminantes del aire se dispersan en el ambiente.
44. Molienda de minerales Operación de reducción de tamaño de un mineral realizada posteriormente a la trituración; puede ser de tipo primario o secundario según el tamaño requerido del producto.
45. Movimiento de tierras Operaciones que se realizan en un terreno y que implican un movimiento de la tierra, por medios mecánicos.
46. Neuropatía Enfermedad del sistema nervioso periférico.
47. Osinergmin Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.
48. Pirita Mineral del grupo de los sulfuros cuya fórmula química es FeS_2 .
49. Pirrotita Mineral del grupo de los sulfuros cuya fórmula química es Fe_{1-x}S . Su composición es variable pero con deficiencia de hierro ($x = 0$ a $0,2$) que lo hace un mineral de carácter complejo.
50. Piques Perforación en forma vertical en la cual se puede descender en ascensores a profundidades de la tierra.
51. PM2.5 Partículas en suspensión con un diámetro aerodinámico de hasta $2.5 \mu\text{m}$, denominadas partículas finas o fracción fina.
52. PM10 Partículas en suspensión con un diámetro aerodinámico de hasta $10 \mu\text{m}$, es decir, comprende las fracciones fina y gruesa.
53. Protocolo Procedimientos específicos establecidos en un plan.
54. Protoporfirina Estructura que forma la base del hemo, que juntamente con una proteína constituye la hemoglobina.
55. PTS Partículas Totales en Suspensión.
56. Rampa Túnel o galería inclinada que sirve de acceso a las labores mineras, desde la superficie, o como conexión entre niveles de una mina subterránea.
57. Relave Producto final del proceso.
58. SNC Sistema Nervioso Central.
59. Supervisión Es la actividad de apoyar y vigilar la coordinación de actividades de manera que se realicen en forma satisfactoria.
60. Termocupla Sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldado).
61. Timer Instrumento que permite programar hora de encendido, de apagado, y repeticiones del equipo PM10.
62. Trazabilidad Procedimientos preestablecidos que permiten conocer el histórico, la ubicación y la trayectoria de un producto.
63. Tubo de Pitot Es un tubo hueco de sección circular de pequeño diámetro, doblado en L y cuyo eje se alinea con la dirección de la velocidad del flujo en el punto de medida.

64. Vacuómetro Instrumento que mide presión por debajo de la presión atmosférica, presiones negativas o vacíos.
65. Ventilación de mina Operación encargada de llevar aire fresco y puro a los frentes de explotación y evacuar de ellos el aire viciado o enrarecido, por medio de recorridos definidos en las diferentes secciones de la mina.
66. Voladura Ignición de una carga masiva de explosivos. El proceso de voladura comprende el cargue de los huecos hechos en la perforación, con una sustancia explosiva, que al entrar en acción origina una onda de choque y, mediante una reacción, libera gases a una alta presión y temperatura de una forma substancialmente instantánea, para arrancar, fracturar o remover una cantidad de material según los parámetros de diseño de la voladura misma.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

1.1.1 Presentación de la empresa

D&E Desarrollo y Ecología SAC, cuenta con más de 10 años de reconocida trayectoria en Auditoría y Consultoría Ambiental. Fue fundada en 1999 por un grupo de profesionales de diversas especialidades (entre ellos químicos, ingenieros químicos, de minas y metalurgistas) que conociendo la problemática ambiental en nuestro país deciden poner a disposición de las empresas del sub-sector minero, los servicios de consultoría y auditoría ambiental.

La empresa ha participado en los siguientes rubros:

- a) Fiscalización en el sub-sector minería, en los temas de Normas de Protección y Conservación del Ambiente y Seguridad e Higiene Minera (desde 1999 hasta 2007 en representación del Ministerio de Energía y Minas, a partir del 2008 a la fecha, por encargo del Osinergmin).
- b) Proyectos de consultoría ambiental (1998 – 2007).
- c) Monitoreo y elaboración de reportes trimestrales de calidad de aguas, aire y emisiones para empresas mineras (2003 – hasta la fecha).
- d) Supervisión Especial de Monitoreo Ambiental del ámbito geográfico Huancavelica – Junín para el Osinergmin (abril – diciembre 2008).

- e) Supervisión Especial de Monitoreo Ambiental del ámbito geográfico Lima para el Osinergmin (agosto 2009 – marzo 2010).
- f) Supervisión Especial de Monitoreo Ambiental de Calidad de Aire del ámbito geográfico Pasco-Callao para el Osinergmin (noviembre 2009 – marzo 2010).

En las **Tablas N° 1.1.1 y 1.1.2** se muestra un resumen de la trayectoria profesional de la empresa en Auditoría y Consultoría Ambiental.

Tabla N° 1.1.1.- Cuadro Resumen – Trayectoria profesional de la empresa en Auditorías Ambientales

1.	AUDITORES EN: TEMA 1) Normas de Seguridad e Higiene Minera, TEMA 2) Normas de Conservación del Medio Ambiente.	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2008 - a la fecha)	--
2.	Monitoreo Ambiental de calidad de aire	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (noviembre 2009 - enero 2010)	--
3.	Monitoreo Ambiental de recursos hídricos y efluentes minero metalúrgicos	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (abril 2008 - marzo 2010)	--
4.	Supervisión Permanente del Complejo Metalúrgico La Oroya de Doe Run Perú SRL	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (enero 2007 - marzo 2010)	
5.	AUDITORES EN: TEMA 1) Normas de Seguridad e Higiene Minera, TEMA 2) Normas de Conservación del Medio Ambiente. TEMA 3) Geotecnia	Ministerio de Energía y Minas (Minem) (1999 - 2007)	--

Fuente: D&E Desarrollo y Ecología SAC

**Tabla N° 1.1.2.- Cuadro Resumen – Trayectoria profesional de la empresa en
Consultoría Ambiental**

Proyectos Ambientales		Empresa	Condición
1.	Monitoreo y reportes trimestrales de calidad de aire	Compañía Minera San Nicolás SA - UEA Colorada	Aprobado
2.	Monitoreo y reportes trimestrales de calidad de aguas, aire y emisiones	Compañía Minera Las Camelias SA - UEA La Tormenta	Aprobado
3.	DIAs de pequeños productores mineros	Compañía Minera Poderosa	Aprobado
4.	Modificación de la Evaluación Ambiental Las Bambas	Xstrata Perú SA	Aprobado
5.	DJ Villavilane	El Remanso SA	Aprobado
6.	DJ Venus	Peregrine Diamonds Perú SAC	Aprobado
7.	Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado	TRANSMILSA	Aprobado
8.	Evaluación Ambiental del Proyecto de Exploración Minera Las Bambas	Xstrata Perú S.A.	Aprobado
9.	Plan de Cierre Conceptual	Compañía Minera Milpo SA	Aprobado
10.	Programa de Adecuación y Manejo Ambiental de la Concesión Minera IGOR	Matrix Gold Mining Investment SA	Aprobado
11.	Estudio de Impacto Ambiental de la Cantera Perlita 99	Julio Meléndez Guerra	Aprobado
12.	Auditoría Ambiental PAMA de la Unidad de Producción Milpo	Compañía Minera Milpo SAA	Aprobado
13.	Evaluación Ambiental de la Concesión San Luis Primero	SMALLVILL SA	Aprobado
14.	Inspección Especial de Estabilidad Física y Química de los Depósitos de Relaves de la UM Caudalosa Grande	Corporación Minera Castrovirreyna SA	Aprobado
15.	Inspección Especial de Conservación del Medio Ambiente en la Unidad de Exploración Los Chancas	Southern Perú Copper Corporation	Aprobado
16.	Inspección Especial Verificación de Condiciones Ambientales del Depósito de Relaves Mayoc	Minera Lizandro Proaño SA	Aprobado
17.	Estabilidad Física y Química del Depósito de Relaves Puquicocha	Sociedad Minera Austria Duvaz SA	Aprobado
18.	Inspección especial de Seguridad e Higiene Minera y Conservación del Medio Ambiente	SMRL Don Pancho I de Lima	Aprobado
19.	Verificación de avance Físico e Inversiones de PAMA	Volcan Cía. Minera SAA UP Andaychagua	Aprobado
20.	Verificación de Avance Físico e inversiones en PAMA	Volcan Cía. Minera SAA UP San Cristóbal	Aprobado
21.	Verificación de Avance Físico e inversiones en PAMA	Volcan Cía. Minera SAA UP Carahuacra	Aprobado
22.	Verificación de Cumplimiento de PAMA	Perubar SA UEA Graciela	Aprobado
23.	Estabilidad Física del Depósito de Relaves Puquicocha	Sociedad Minera Austria-Duvaz SA	Aprobado

Fuente: D&E Desarrollo y Ecología SAC

1.1.2 Funciones del químico dentro de la empresa

La labor del químico dentro de la empresa está relacionada principalmente con las áreas de competencia referidas a su formación académica como son el monitoreo y evaluación de la calidad ambiental (agua, aire, suelo) y la fiscalización minera. (Ver **Figuras N° 1.2.1 y 1.2.2**).

A. Labor del químico en el Área de Estudios Ambientales

1. Supervisión del monitoreo ambiental y evaluación de la calidad de los componentes: agua y aire para actividades de exploración minera.
- ii. Monitoreo y elaboración de reportes trimestrales de calidad de aguas, aire y emisiones presentados al Ministerio de Energía y Minas.

B. Labor del químico en el Área de Fiscalización Minera y Monitoreo

1. Evaluación y selección de laboratorios, acreditados por el Indecopi, para la toma de muestras (aguas, aire y emisiones gaseosas) y análisis químicos ambientales, considerando como requisito básico que cuenten con metodologías acordes a los valores límites, límites máximos permisibles y niveles máximos permisibles contemplados por la normatividad nacional e internacional de referencia.
- ii. Planificación y Coordinación General del Programa de Monitoreo Ambiental de efluentes minero-metalúrgicos y recursos hídricos de diferentes ámbitos geográficos a nivel nacional.
- iii. Planificación y Coordinación General del Programa de Monitoreo Ambiental de Calidad de Aire de diferentes ámbitos geográficos a nivel nacional.
- iv. Revisión, evaluación e interpretación de resultados de análisis químicos emitidos por los laboratorios de ensayo y elaboración de informes en el que los que se emitirá un juicio sobre el manejo ambiental de las empresas mineras fiscalizadas.

Asimismo, cabe mencionar que el 24 de octubre del 2008 se presentó la Propuesta de Ley N° 2573/2007-CP, Ley del Trabajo del Profesional Químico. En el art. 5° de la propuesta se confiere como responsabilidades del Químico lo siguiente:

“Inciso c) La responsabilidad técnica de los muestreos y resultados de análisis químicos, bioquímicos, bromatológicos, toxicológicos, clínicos, farmacológicos, radiológicos y del control de calidad de los laboratorios de análisis correspondientes”.

“Inciso e) La participación en grupos de trabajo interdisciplinarios en las áreas que le competen”.

Estas responsabilidades son asumidas por el Químico dentro de su campo de acción en una empresa del rubro ambiental y que serán expuestas a lo largo del presente Informe de Competencia Profesional.

1.2 Objetivos

1. Dar a conocer la importancia del monitoreo de las emisiones de las actividades mineras para el diagnóstico del medio ambiente.
2. Definir la función del químico en las actividades de las empresas consultoras ambientales.

Figura N° 1.2.1.- Responsabilidad del Químico en las labores de Supervisión de Monitoreo Ambiental

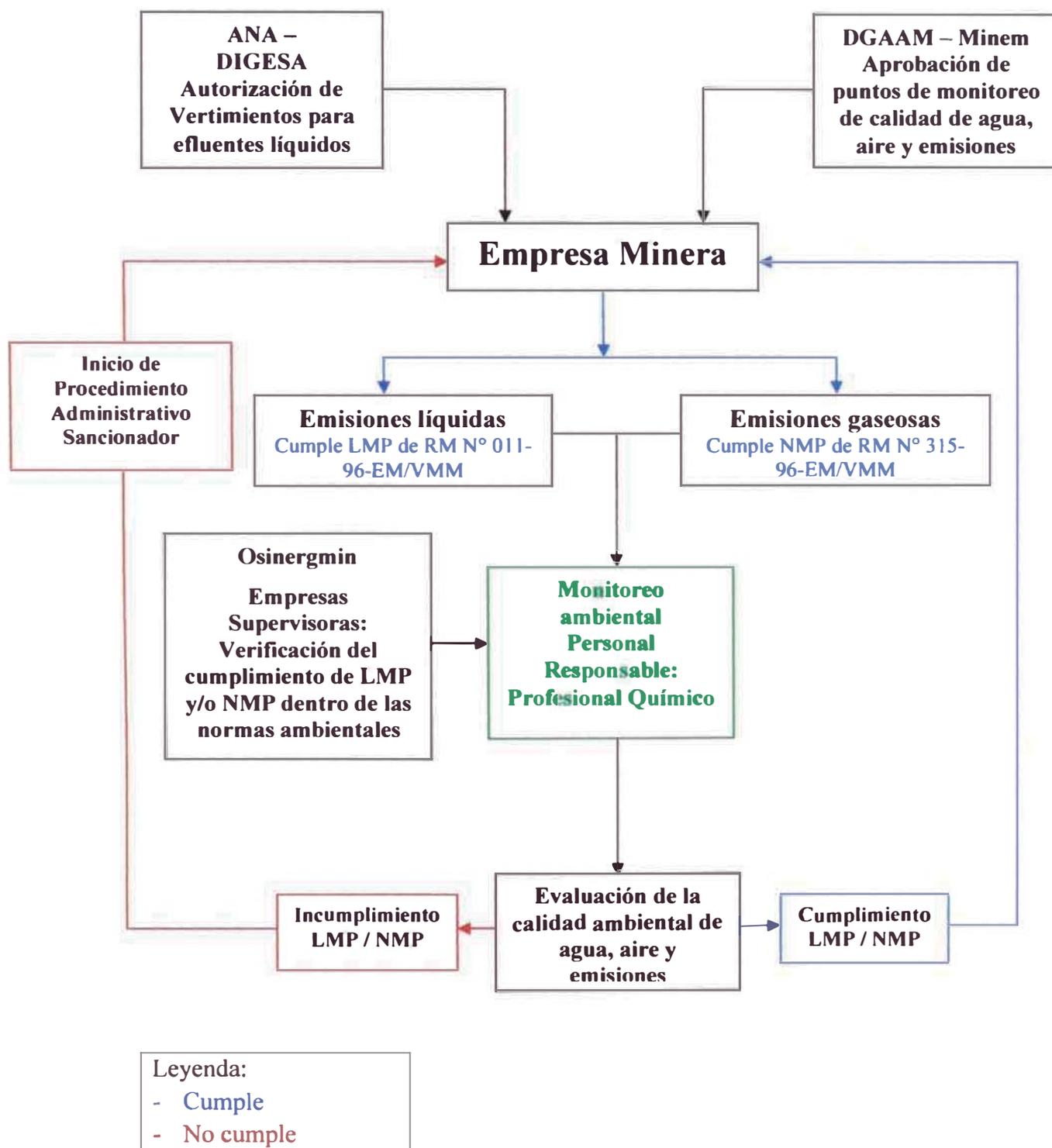
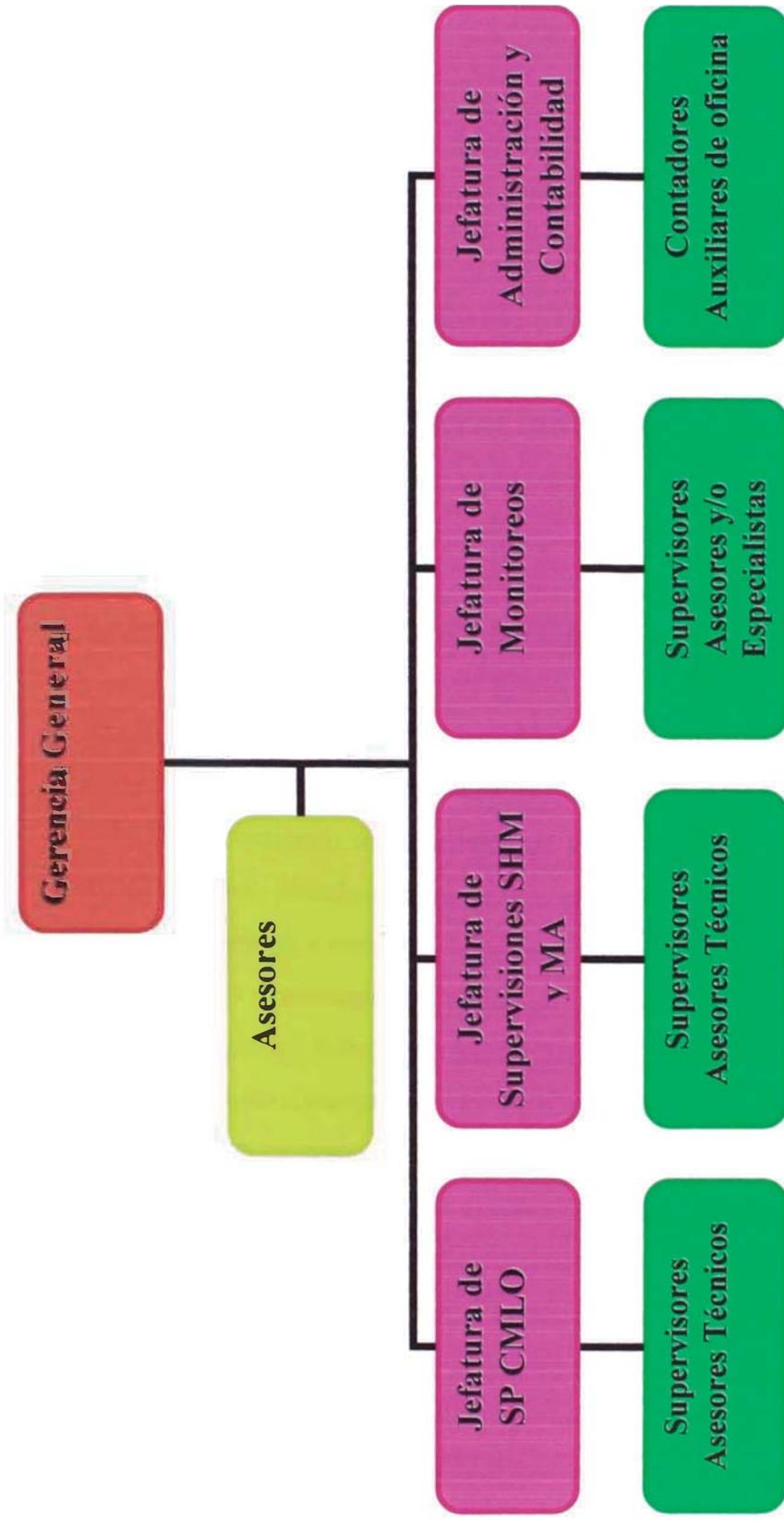


Figura N° 1.2.2.- Organigrama de la empresa D&E DESARROLLO Y ECOLOGÍA SAC



CAPÍTULO II

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LAS OPERACIONES MINERO-METALÚRGICAS

2.1 Contaminación ambiental por las actividades minero-metalúrgicas

2.1.1 Contaminación del agua

*Definición*¹.- El agua es el solvente universal. Las fuentes de agua en la naturaleza contienen una variedad de contaminantes tales como: minerales, sales, metales pesados, compuestos orgánicos (compuestos naturales que contienen carbón, o son fabricados tales como gasolina, solventes de limpieza en seco o pesticidas); residuos radioactivos y materiales vivos (microbiológicos), tales como parásitos, hongos y bacterias. Estos materiales ingresan al agua a través de procesos naturales tales como contacto con rocas, suelos, plantas en descomposición y restos de animales.

La EPA² define contaminante como “cualquier sustancia o material físico, químico, biológico o radiológico en el agua”.

Se entiende por contaminación, a la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores, con la salud humana, o con los ecosistemas acuáticos o

¹ EPA, Small Drinking Water Systems Handbook, USA, 2003. p. 3

² EPA: Environmental Protection Agency

terrestres directamente asociados a los acuáticos; causen daño a los bienes; y deterioren o dificulten el disfrute y los usos del medio ambiente.³

El agua se considera contaminada cuando se altera su composición de tal manera que resulta menos apta para cualquiera o todas las funciones y propósitos para los que sería apropiada en su estado natural. Las alteraciones se refieren a variaciones producidas en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como a la descarga de sustancias líquidas, gaseosas o sólidas que conviertan el agua en un peligro para la salud pública, industriales, agrícolas o bien para el ganado, animales en estado salvaje, peces y otra fauna acuática. Se incluye dentro de estas alteraciones los cambios de temperatura debido a la descarga de agua caliente (contaminación térmica).

La contaminación es producida por la evacuación sin control de: 1) aguas residuales y 2) desechos industriales que contienen una gran variedad de contaminantes.

*Clasificación*⁴.- Según el art. 4º de la Resolución Jefatural N° 0291-2009-ANA⁵, la calidad de los cuerpos de agua se clasifican en:

- a. Aguas de abastecimiento doméstico con simple desinfección.
- b. Aguas de abastecimiento domésticos con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración, aprobados por el Ministerio de Salud.
- c. Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.
- d. Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares).
- e. Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos.
- f. Aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial.

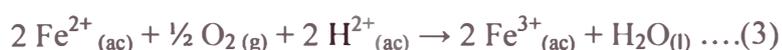
³ Álvaro Sánchez Bravo, Agua: un recurso escaso, ArCiBel Editores SL, 2006, España, p. 25

⁴ R.J. N° 0291-2009-ANA. Dictan disposiciones referidas al otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y de reusos de aguas residuales tratadas de fecha 01 de junio del 2009.

⁵ ANA: Autoridad Nacional del Agua – Ministerio de Agricultura (www.ana.gob.pe)

Los recursos hídricos son utilizados en las diversas fases de extracción y procesamiento de los minerales, lo que provoca la contaminación de las fuentes de agua: ríos, lagos, lagunas y manantiales, que son afectadas a través de los drenajes de minas -subterráneos y superficiales- producidos durante el proceso de extracción, apilamiento de desmonte en los botaderos y los relaves que se generan en el proceso de concentración de minerales. Por lo general, las canchas de relaves se encuentran próximas a los cauces de los ríos u otros cuerpos receptores que son afectados por la saturación, los deslizamientos, filtraciones y arrastres por el aumento del caudal en épocas de lluvias.

En la industria minero metalúrgica un gran número de menas contienen minerales sulfurados de los metales bases que son inestables en nuestro hábitat. La molienda de estos minerales ricos en sulfuros, resulta en la producción de una gran cantidad de relaves que son expuestos al ambiente. Los minerales sulfurados de hierro que se encuentran en estos relaves, principalmente pirita y pirrotita son oxidados al exponerse tanto directamente al aire y agua. Las tres reacciones presentadas a continuación pueden describir el proceso de oxidación directa de la pirita:



Además, la oxidación de la pirita puede presentarse indirectamente de la reacción con el hierro férrico.

La siguiente ecuación puede describir la oxidación indirecta:



Los factores bioquímicos o geoquímicos pueden influir en las reacciones de oxidación de la pirita. La bacteria *Thiobacillus ferro-oxidans* (T. ferro-oxidans) se encuentra bastante extendida en ambientes naturales y se ha demostrado que acelera el proceso de oxidación de la pirita (ión ferroso (+2))

a ión férrico (+3)), principalmente a valores bajos de pH de aproximadamente 3 a 3,5.

Las consideraciones geoquímicas en la oxidación de la pirita incluyen el pH, el oxígeno, la alcalinidad, la abundancia de pirita y los granos de pirita en áreas superficiales, la temperatura, los microambientes, los defectos estructurales de la pirita y trazas de elementos.

La solución resultante de la oxidación (ecuaciones 1, 2, 3 y 4) es caracterizada por su pH ácido y alta concentración de iones: ferroso y sulfato. El ión férrico (+3) generado puede ser hidrolizado y precipitado como hidróxido férrico $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ u oxidar otros sulfuros de metales pesados presentes como la galena (PbS), esfalerita (ZnS) y calcopirita (CuFeS_2). La solución ácida producto de este proceso puede contener altas concentraciones de metales pesados y generalmente se refieren como drenaje ácido de mina y en el caso de mineral de desbroce como drenaje ácido de rocas. Ver Figuras N° 2.1.1, 2.1.2 y 2.1.3.

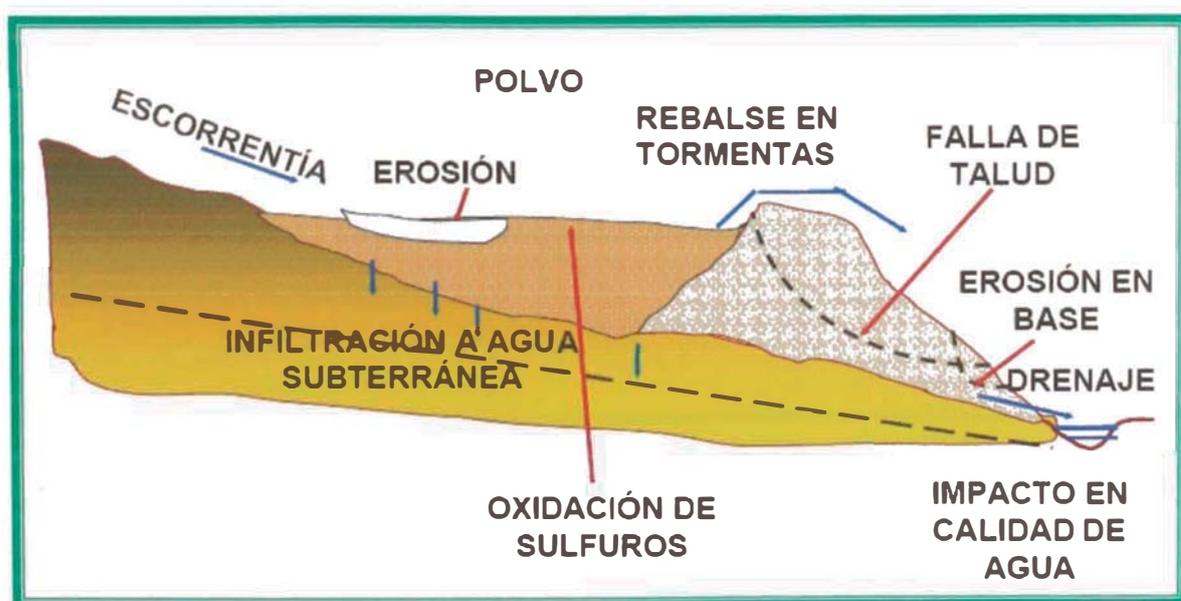


Figura N° 2.1.1.- Riesgo ambiental en depósitos de relaves

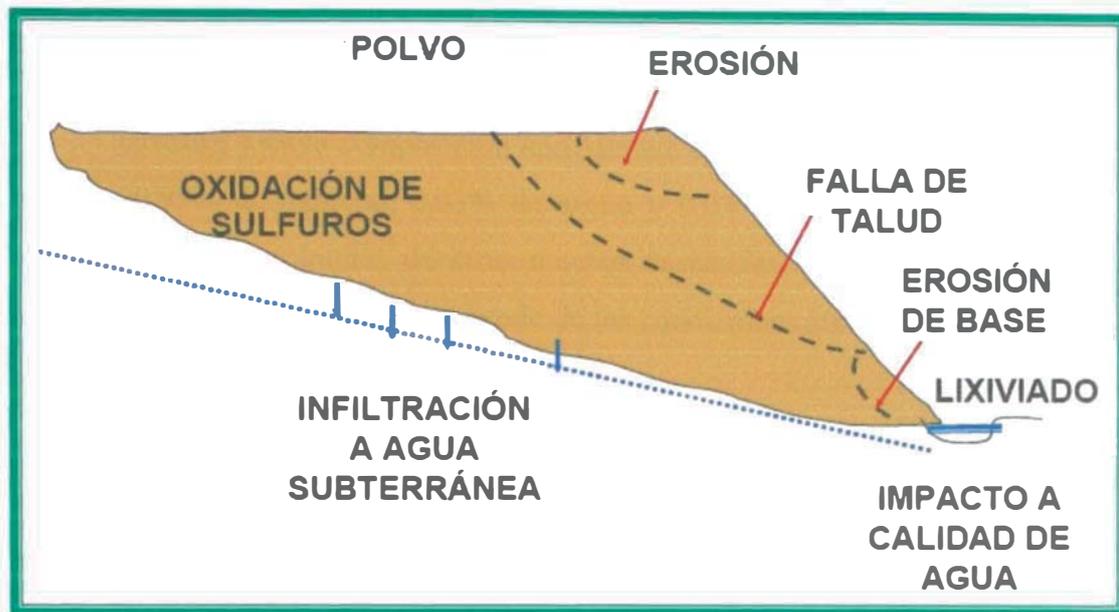


Figura N° 2.1.2.- Riesgo ambiental en pilas de desmontes

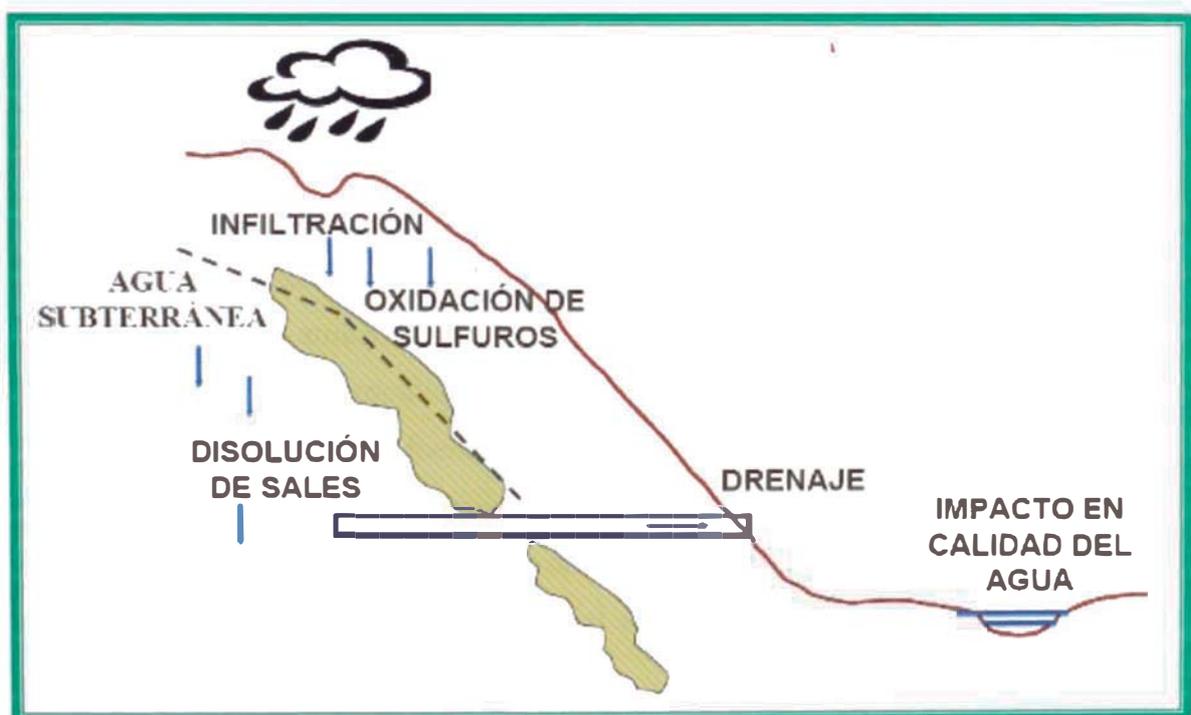


Figura N° 2.1.3.- Riesgo ambiental en mina subterránea

El vertimiento indiscriminado e inadecuado de los efluentes mineros ácidos con elevadas concentraciones de compuestos metálicos disueltos y totales (plomo, mercurio, arsénico, etc.), sólidos en suspensión, reactivos químicos de proceso y aguas negras o servidas, contaminan los cuerpos de agua.

2.1.2 Contaminación del aire

*Definición*⁶.- El aire es una mezcla gaseosa que compone la atmósfera terrestre y cuya composición aproximada es, en volumen, 78% de nitrógeno, 20,95% de oxígeno, 0,93% de argón y 0,03% de dióxido de carbono, con cantidades mínimas de otras muchas sustancias. El contenido de vapor de agua es muy variable y depende de las condiciones atmosféricas.

Los problemas de contaminación del aire en el Perú son causados principalmente por:

1. Las fuentes móviles: emisiones del transporte urbano, se estima que contribuye entre un 70 y 80% de la contaminación atmosférica.
2. Las fuentes fijas: en las actividades minero-metalúrgicas se debe principalmente a fundiciones. Se considera una de las más importantes fuentes que genera contaminación. En las zonas de influencia, diariamente, se emiten al aire cantidades apreciables de humo, que no sólo constituyen un contaminante visual, enturbiando la atmósfera, sino que también contienen sustancias tóxicas y partículas que afectan a la salud humana. Además, los humos de las fundiciones contienen compuestos de azufre, que al contacto con el agua atmosférica forman ácidos letales para las plantas, éstos afectan la vegetación, la agricultura y la salud humana.

La intensidad de la fuente está determinada por una serie de variables, como son su tamaño, la temperatura de las emisiones de humo tipo pluma, la uniformidad de los volúmenes de emisión y la eficiencia del equipo empleado para controlar la contaminación del aire.

Actividades del sub-sector minería.- Las principales actividades se señalan a continuación:

1. Minado subterráneo o a tajo abierto.
2. Concentración de minerales y/o tratamiento hidrometalúrgico.
3. Fundición de concentrados y/o metales.

⁶ Francisco Román Ortega, Diccionario de medio ambiente y afines, Editorial CONFEMETAL, España, 1996, pp. 31-32.

4. Electro-obtención y electro-refinación.

Estas actividades producen contaminación porque emiten al medio ambiente partículas en suspensión y gases (entre ellos: SO₂, CO y CO₂).

Las actividades mineras generan contaminantes como parte de sus emisiones, los que se pueden clasificar como⁷:

a. Contaminantes primarios: Procedentes de las fuentes de emisión.

Las partículas primarias son emitidas al ambiente como partículas sólidas y están compuestas por:

- 1) *Material particulado total* – Partículas Totales en Suspensión (PTS).
- 2) *Material particulado inhalable* – PM10 (diámetro menor a 10 µm).
- 3) *Material particulado respirable* – PM2.5 (diámetro menor a 2,5 µm).
- 4) *Metales traza*.

b. Contaminantes secundarios (y precursores de ozono): Son las especies que sufren procesos químicos dentro de la atmósfera para convertirse en un contaminante secundario (reacción entre contaminantes primarios y los componentes de la atmósfera).

Las partículas secundarias incluyen:

- 1) *Óxidos de nitrógeno* (NO_x)
- 2) *Dióxido de azufre* (SO₂)
- 3) *Aerosoles ácidos* (SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻)
- 4) *Hidrocarburos totales* (CH₄)
- 5) *Amoníaco* (NH₃)
- 6) *Compuestos orgánicos volátiles* (VOCs)
- 7) *Compuestos orgánicos semi volátiles* (SVOCs)

Muchos de estos contaminantes aún no se encuentran regulados por la normatividad nacional, lo cual no significa que no son tóxicos.

⁷ Guía para la Evaluación de Impactos en la Calidad del Aire por Actividades Minero Metalúrgicas, Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros-Sub-Sector Minería. PERCAN, 2007, p. 15.

En la **Tabla N° 2.1.1.1** se muestran los principales contaminantes primarios y secundarios.

Tabla N° 2.1.1.1.- Principales contaminantes de la industria minera

N°	Tipo	Contaminantes		Fuentes de emision
		Primarios	Secundarios	
1	Compuestos del azufre	SO ₂ , SH ₂	SO ₃ , H ₂ SO ₄ , MSO ₄	1) Combustión carburante que contiene azufre 2) Fundición de concentrados sulfurados
2	Compuestos del nitrógeno	NO, NH ₃	NO ₂ , MNO ₃	Combustión del nitrógeno y oxígeno a altas temperaturas
3	Compuestos del carbón	Hydrocarburos	Aldehídos y cetonas	Combustión incompleta de carburantes
4	Óxidos de carbono	CO, CO ₂	--	Combustión
5	Compuestos de halógeno	HF, HCl	--	Industria metalúrgica
6	Partículas	Varios	--	Molienda de minerales

Fuente: Guía para la Evaluación de Impactos en la Calidad del Aire por Actividades Minero Metalúrgicas. DGAAM-Sub-Sector Minería, setiembre 2007.

Los contaminantes varían dependiendo del tipo de minería (ver **Tabla N° 2.1.1.2**)

2.2 Efectos nocivos de los contaminantes en el área de influencia de las zonas mineras

2.2.1 Efectos en la salud y ambiente producidos por la contaminación del agua

La contaminación del agua afecta a la salud humana cuando ésta es ingerida directamente como agua potable para consumo humano (o agua no potabilizada empleada para bebida) o a través de alimentos que han tenido contacto con agua contaminada (frutas, verduras, pescados, mariscos, etc.). En la **Tabla N° 2.1.1.3** se muestra los efectos en la salud de los principales contaminantes encontrados en el agua.

Tabla N° 2.1.1.3.- Principales agentes contaminantes que afectan la salud

Nº	Constituyente	LMP(*)	Efectos sobre los humanos, animales y plantas
1	Nitrato (NO ³⁻)	10 mg/L	En exceso puede causar metahemoglobina infantil.
2	Fluoruros (F ⁻)	~ 2 mg/L	Efecto beneficioso en el rango de 1,5 mg/L, por debajo de 0,5 mg/L incidencia de caries, a concentraciones elevadas puede causar fluorosis endémica acumulativa.
3	Arsénico (As)	0,05 mg/L	Altamente venenoso y cancerígeno en humanos, se sabe que se acumula en las almejas y camarones (50-100 mg/Kg). El selenio (Se) parece contrarrestar su toxicidad.
4	Mercurio (Hg)	0,002 mg/L	Concentraciones mayores causan parálisis y retraso mental. Se acumula en los peces y mariscos.
5	Plomo (Pb)	0,015 mg/L	En exceso causa retraso mental en los jóvenes.
6	Cadmio (Cd)	0,01 mg/L	En concentraciones mayores causa hipertensión renal y náuseas violentas.

Referencia: Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial – UNMSM, Gestión de la Calidad del Aire. Causa, Efectos y Soluciones, Perú, 2004.

(*) LMP: Límite Máximo Permisible

2.2.2 Efectos en la salud producidos por la contaminación del aire⁸

La contaminación del aire tiene un efecto directo sobre la salud humana. En casos extremos, ha causado muertes como resultado de la combinación de características geográficas inusuales con factores climáticos. Los contaminantes atmosféricos liberados por la industria minera tienen diferentes

⁸ Kenneth Wark & Cecil F. Warner, Contaminación del aire. Origen y Control, Limusa, México, 2001, pp.28-59.

efectos nocivos sobre la salud de los seres humanos. La inhalación es la ruta principal de exposición a los contaminantes del aire originado por las emisiones.

Asimismo existen otras vías de exposición, como la contaminación del agua potable, la contaminación de los alimentos y la absorción por la piel. La exposición por inhalación afecta directamente los sistemas respiratorio, nervioso y cardiovascular de los seres humanos, provocando deficiencias pulmonares, distintas enfermedades e incluso la muerte. Los contaminantes de aire, tanto gaseosos como particulados, pueden tener efectos negativos sobre los pulmones.

Los efectos de la contaminación del aire sobre la salud varían enormemente de persona en persona. Los más afectados son los ancianos, lactantes, mujeres embarazadas y enfermos crónicos del pulmón y corazón.

A continuación se mencionan algunos contaminantes y su efecto en la salud:

CAPÍTULO III

LEGISLACIÓN AMBIENTAL DEL SUBSECTOR MINERÍA

3.1 Definiciones⁹

De acuerdo al Artículo I del Título Preliminar del Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, aprobado mediante Decreto Legislativo N° 613 de fecha 08 de setiembre de 1990, se establece que, es obligación de todos la conservación del ambiente; y es también obligación que corresponde al Estado, prevenir y controlar cualquier proceso de deterioro o depredación de los recursos naturales que puedan interferir con el normal desarrollo de toda forma de vida y de la sociedad.

Para lograr una eficaz protección del ambiente se requiere determinar el nivel de calidad del mismo, es por ello que se crean los Estándares Ambientales, que son los instrumentos a través de los cuales se busca establecer los niveles de calidad adecuados que sustentan la vida y de esa manera garantizar su protección.

La normatividad legal peruana en materia de calidad ambiental distingue dos instrumentos complementarios, los ECA¹⁰ y los LMP¹¹.

⁹ Lorenzo de la Puente Brunke, Legislación Ambiental en la Minería Peruana, Lima, 2005, IDEM - DelaPuente Abogados, p.129-135.

¹⁰ ECA: Estándares de Calidad Ambiental

¹¹ LMP: Límites Máximos Permisibles

Estándare de Calidad Ambiental

En el art. 31° de la Ley N° 28611 Ley General del Ambiente aprobada en fecha 15 de octubre del 2005, se define el siguiente término:

Artículo 31.- Del Estándar de Calidad Ambiental

31.1 El Estándar de Calidad Ambiental - ECA es la medida que establece e nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

Límite Máximo Permisible

El 27 de junio del 2008 se aprueba el Decreto Legislativo N° 1055 que Modifica la Ley N° 28611 Ley General del Ambiente. De acuerdo a su art. 1° queda modificado el art. 32° de la Ley General del Ambiente en el siguiente término:

Artículo 32.- Del Límite Máximo Permisible

32.1 El Límite Máximo Permisible - LMP, es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental.

Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio.

De las definiciones presentadas se establece que los ECA son una categoría diferente a los LMP.

El LMP debe guardar coherencia entre el nivel de protección ambiental establecido para una fuente determinada y los niveles generales que se establecen en los ECA.

Los LMP regulan la concentración de los parámetros fisicoquímicos, químicos y biológicos que caracterizan un efluente o una emisión de una operación, mientras que los ECA establecen el nivel de calidad adecuado de los “cuerpos receptores” (agua, aire y suelo) que reciben a un efluente o una emisión de una operación. Los LMP son valores medidos en la propia descarga.

En el Glosario de Términos del Decreto Supremo N° 044-98-PCM, Reglamento nacional para la aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, se indican las definiciones para los términos “efluente” y “emisión”.

Efluente.- Descarga líquida de materiales de desecho en el ambiente, la cual puede estar tratada o sin tratar.

Emisión.- Todo fluido gaseoso, puro o con sustancias en suspensión; así como toda forma de energía radioactiva o electromagnética (sonido), que emanen como residuos o productos de la actividad humana.

Los ECA y LMP son contemplados en la elaboración de los Estudios de Impacto Ambiental presentados por las empresas mineras a la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM) del Ministerio de Energía y Minas, la cual tendrá en cuenta los estándares de calidad ambiental para la evaluación y aprobación de los estudios.

La implementación de los ECA y LMP debe asegurar que no exceda la capacidad de carga de los ecosistemas.

Por otro lado, se debe señalar que los ECA no son exigibles a las personas naturales o jurídicas, salvo la excepción estipulada en el art. 31.4 de la Ley General del Ambiente que indica lo siguiente:

31.4 Ninguna autoridad judicial o administrativa podrá hacer uso de los estándares nacionales de calidad ambiental, con el objeto de sancionar bajo forma alguna a personas jurídicas o naturales, a menos que se demuestre que existe causalidad entre su actuación y la transgresión de

dichos estándares. Las sanciones deben basarse en el incumplimiento de obligaciones a cargo de las personas naturales o jurídicas, incluyendo las contenidas en los instrumentos de gestión ambiental.

En cambio, los LMP son de cumplimiento obligatorio (exigibles legalmente) por la autoridad competente y son considerados como elemento de juicio para determinar la existencia o no de contaminación y en base a este juicio la Autoridad Administrativa podrá iniciar procedimiento administrativo sancionador por el incumplimiento de los LMP regulados.

Los LMP son los únicos instrumentos que establecen el estándar ambiental específico para emisiones y vertimientos de las operaciones industriales.

3.2 Antecedentes

- 1) Mediante el artículo 1º de la Ley que transfiere las competencias de supervisión y fiscalización de las actividades mineras al OSINERG, Ley N° 28964 de fecha 24 de enero de 2007, se crea el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinermin¹²), como organismo regulador, supervisor y fiscalizador de las actividades desarrolladas en los subsectores de electricidad, hidrocarburos y minería.
- 2) En el artículo 2º de la Ley del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, Ley N° 26734, se establece que, la misión del Osinermin es regular, supervisar y fiscalizar el cumplimiento de las normas legales y técnicas referidas a la conservación y protección del medio ambiente en el desarrollo de las actividades mineras.
- 3) La Resolución del Consejo Directivo del Osinermin N° 324-2007-OS/CD, de fecha 07 de junio de 2007, se aprueba el Reglamento de Supervisión de las Actividades Energéticas y Mineras, estableciendo en su Título II: La función de Supervisión, artículo 4º que, una de las funciones del Osinermin, es supervisar las actividades de la gran y mediana minería en lo que respecta al

¹² OSINERGMIN: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.

cumplimiento de normas de medio ambiente. Así mismo, establece realizar monitoreos en las instalaciones de las entidades supervisadas o en las áreas geográficas vinculadas a la actividad supervisada.

- 4) En el artículo 2° de la Resolución del consejo Directivo del Osinergmin N° 732-2007-OS/CD, de fecha 05 de diciembre de 2007, se autoriza a la Gerencia de Fiscalización Minera a desarrollar el programa de supervisión especial de monitoreo ambiental a nivel nacional, a través de las Fiscalizadoras Externas habilitadas para el año 2007 y que pertenecen al registro del Ministerio de Energía y Minas. Así mismo, se precisa que la designación de las FE se realizará considerando la propuesta técnica para el desarrollo de los estudios de monitoreo, así como su evaluación económica. Además se indica que los costos que signifiquen el programa de monitoreo serán asumidos, en lo pertinente, por los titulares de la actividad minera.
- 5) Decreto Supremo N° 016-93-EM que aprueba el Reglamento para la Protección ambiental en la actividad minero-metalúrgica.

3.3 Legislación en materia de calidad del agua

- 1) Resolución Jefatural N° 0291-2009-ANA. Dictan disposiciones referidas al otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y de reusos de aguas residuales tratadas.
- 2) Reglamento de la Ley General de Aguas. D.S. N° 261-69-AP, modificado por D.S. N° 007-83-SA y D.S. N° 003-2003-SA.
- 3) Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM.
- 4) Otras normativas internacionales tomadas como criterio de comparación:
 - a. FAO. Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y Agricultura.
 - b. IFC. Guías de salud ambiental y seguridad/Descarga de efluentes mineros (Environmental Health and Safety Guidelines for Precious Metal Mining) - Borrador. 2004.
 - c. Canadá. Metal Mining Effluent Regulations P.C. 2002-987/6 June 2002/Column 4.

- d. Venezuela. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertido o efluentes líquidos. De las descargas a cuerpos de agua. Sección III. 11 octubre 1995.
- e. Chile. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. Límites máximos permitidos para descargas de residuos líquidos a aguas continentales superficiales y marinas. D.S. N° 90/2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Desde la reglamentación de la Ley General de Aguas (LGA) y su implementación, la Dirección General de Salud Ambiental (Digesa) ha otorgado las respectivas Autorizaciones Sanitarias de Vertimientos de efluentes a los recursos hídricos del país, en las que se estipula el caudal y volumen anual de vertimiento, y la Autorización Sanitaria de Reuso de aguas residuales a las empresas mineras que vierten sus efluentes a los cuerpos receptores, con el fin de realizar un control periódico de estos. A partir del 31 de julio de 2008, se aprueban los ECA para agua y, de acuerdo al art. 1°, se establece que los estándares aprobados son un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental. Los ECA para agua, además, establecen la clasificación de las aguas en categorías y los valores límites para los parámetros físicos, químicos y biológicos.

Otra medida adoptada con el objetivo de controlar los vertimientos y reducir los niveles de contaminación ambiental es la aprobación de la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, que estipula los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos para las actividades minero-metalúrgicas.

3.4 Legislación en materia de calidad del aire

- 1) Resolución Ministerial N° 315-96-EM-VMM que aprueba los niveles máximos permisibles de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero-metalúrgicas.

- 2) Decreto Supremo N° 074-2001-PCM que aprueba el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.

Mediante Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM de fecha 19 de julio de 1996 se aprueban los niveles máximos permisibles de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero-metalúrgicas: partículas en suspensión, plomo (Pb), arsénico (As) y dióxido de azufre (SO₂).

En los últimos años se han especificado normas sobre el material particulado igual o menor de 10 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM10). La razón fundamental de esta especificación se debe a que las partículas más pequeñas (PM 10 y PM 2.5) son las más peligrosas para la salud de los seres humanos porque son capaces de alcanzar la zona inferior de los pulmones, puede contribuir a aumentar las enfermedades respiratorias como la bronquitis y exacerbar los efectos de otras enfermedades cardiovasculares y en general disminuir la esperanza de vida de adultos mayores y enfermos, mientras que las partículas (PTS) más grandes son filtradas por la nariz y los bronquios, pero afectan la visibilidad y velocidad de deterioro de muchos materiales hechos por el hombre.

Con el objetivo de proteger la salud, se establece el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, aprobado mediante Decreto Supremo N° 074-2001-PCM de fecha 22 de junio de 2001, en el que se considera los niveles de concentración máxima de los siguientes contaminantes del aire: dióxido de azufre (SO₂), material particulado menor o igual a 10 micrómetros (PM 10), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), plomo (Pb) y sulfuro de hidrógeno (H₂S).

CAPÍTULO IV

MONITOREO, EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LOS CONTAMINANTES AMBIENTALES

4.1 Monitoreo y análisis de los contaminantes ambientales

4.1.1 Muestreo de cuerpos hídricos y efluentes minero metalúrgicos

4.1.1.1 Parámetros

A. De campo

1. pH

El pH es un parámetro de calidad de gran importancia, tanto para el caso de calidad de las aguas naturales como residuales.

El agua residual con alta concentración de iones hidrógeno presenta elevadas dificultades para el tratamiento con procesos biológicos y el efluente puede modificar la concentración de iones hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación al recurso hídrico.

Método de medición en campo

Este parámetro es medido in situ, de modo que no se modifiquen los equilibrios iónicos. El método aplicado es el Electrometric Method. Mediante el uso de equipo electrónico, multiparámetro o pH-metro, se registra el valor de pH a través de un sensor analógico.

2. Conductividad Eléctrica (CE)

La presencia de sales afecta el crecimiento de las plantas por tres mecanismos:

- a. Efectos osmóticos, provocados por la concentración total de sales en el agua del suelo.
- b. Toxicidad de iones específicos, provocada por la concentración de un ión determinado.
- c. Dispersión de las partículas de suelo, provocada por la presencia importante de sodio y por una baja salinidad.

Es habitual encontrar valores de 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 1 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de manera natural en cuerpos de agua superficiales.

Método de medición en campo

Este parámetro es medido in situ. El método aplicado es el Laboratory Method (medición en campo). El equipo empleado es el conductivímetro.

3. Oxígeno Disuelto (OD)

El OD es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua.

Su importancia en la vida acuática se debe a que, en los casos en los que el nivel de OD se sitúa por debajo de 4-5 mg/L, se pueden producir efectos nocivos en determinadas especies.

Se considera agua de mala calidad de 0 – 4 ppm y es aceptable entre los valores 4,1 – 7,9 ppm y de buena calidad de 8 – 12 ppm.

Método de medición en campo

Se describen dos métodos:

- a. El de Winkler o yodométrico, es un procedimiento titulométrico basado en la propiedad oxidante del oxígeno disuelto.
- b. El Oxygen (Dissolved) Membrane Electrode Method, que utiliza electrodos de membrana se basa en la tasa de difusión del oxígeno

molecular a través de una membrana. El equipo empleado es el oxímetro.

4. Temperatura

El oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría.

El aumento de la temperatura produce un aumento en las velocidades de las reacciones químicas, con la consecuente reducción de oxígeno presente en las aguas superficiales.

Un cambio brusco de temperatura puede conducir a un aumento en la mortalidad de la vida acuática. Las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos.

Método de medición en campo

Este parámetro es medido in situ mediante los Métodos de Laboratorio y Campo (Laboratory and Field Methods). El equipo empleado es un sensor de temperatura.

5. Caudal

Es la cantidad de fluido que pasa por el río en una unidad de tiempo.

Método de medición en campo

El método aplicado es el Sensor de Fibra Óptica Swoffer, aunque también existen otros métodos para la medición del caudal, siendo los más utilizados el del correntómetro y el del flotador:

- a. Método del Correntómetro.- En este método la velocidad del agua se mide por medio de un instrumento llamado correntómetro que mide la velocidad en un punto dado de la masa de agua. Existen varios tipos de correntómetros, siendo los más empleados los de hélice de los cuales hay de varios tamaños; cuando más grandes sean los caudales o más altas sean las velocidades, mayor debe ser el tamaño del aparato. Cada correntómetro debe tener un certificado de calibración en el que figura la fórmula para calcular la velocidad sabiendo el

número de vueltas o revoluciones de la hélice por segundo. Estos correntómetros se calibran en laboratorios de hidráulica. Como el correntómetro mide la velocidad en un punto, para obtener la velocidad media de un curso de agua se debe, en ciertos casos, medir la velocidad en dos, tres o más puntos, a diversas profundidades a lo largo de una vertical y a partir de la superficie del agua. En la **Tabla N° 4.1.1** se indica las profundidades en las cuales se mide las velocidades con el correntómetro están en función de la altura del tirante de agua (d).

Tabla N° 4.1.1.- Profundidad de lectura del correntómetro

<u>Tirante de agua (d)</u>	<u>Profundidad de lectura del Correntómetro</u>
cm	cm
< 15	d / 2
15 < d < 45	0,6 d
> 45	0,2 d y 0,8 d o 0,2 d, 0,6 d y 0,8 d

Conocidas las profundidades se calcula el área de la sección transversal, la que se utilizara para el cálculo del caudal.

Donde:

V: Velocidad determinada con el correntómetro

A: Área de la sección transversal

$$Q = v \times A$$

d = Tirante del agua

- b. Método del Flotador.- Este método se utiliza cuando no se tiene equipos de medición y para este fin se tiene que conocer el área de la sección y la velocidad del agua. Para medir la velocidad se utiliza un flotador con el se mide la velocidad del agua de la superficie, pudiendo utilizarse como flotador cualquier cuerpo pequeño que flote: como un corcho, un pedacito de madera, una botellita lastrada. Se emplea en los siguientes casos:

1. A falta de correntómetro.
- ii. Excesiva velocidad del agua que dificulta el uso del correntómetro.
- iii. Presencia frecuente de cuerpos extraños en el curso del agua, que dificulta el uso del correntómetro.
- iv. Cuando pelagra la vida del que efectúa el aforo.
- v. Cuando pelagra la integridad del correntómetro.

Él cálculo consiste en $Q = A \times v$

Donde:

$v = e / tv$: velocidad (m/s)

e: espacio recorrido en m del flotador

t: tiempo en segundos del recorrido (e), por el flotador

A: Área de la sección transversal

Q: Caudal

B. De laboratorio

1. Sólidos totales en suspensión (STS)

Son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas residuales, y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido.

Método de análisis

El método aplicado es el Total Suspended Solidos dried at 103-105° C.

2. Metales totales y disueltos

Estos metales aparecen en el agua como deshecho de ciertos tipos de industrias. Sus niveles están regulados por las diversas normas dependiendo del tipo de efluente.

Métodos de análisis

Los análisis se realizan en el laboratorio aplicando el método Determinación de metales y elementos trazas en agua y residuos por Emisión Espectrométrica de Plasma Acoplado Inductivamente.

3. Cianuro total (efluentes)

Es la medida de concentración de cianuro que incluye el cianuro libre, los complejos de cianuro WAD y los cianuros metálicos fuertes, como el ferrocianuro $\text{Fe}(\text{CN})_6^{-4}$, el ferricianuro $\text{Fe}(\text{CN})_6^{-3}$, segmentos de hexaciano-cobaltato $\text{Co}(\text{CN})_6^{-3}$ y los del oro y platino. Sólo los compuestos relacionados o derivados cianato (CN^-) y tiocianato (SCN^-) se excluyen de la definición de cianuro total.

Método de análisis

Se tienen dos métodos:

- a. Cianuro Total después de destilación / Método de electrodo selectivo.
- b. Método colorimétrico - Cianato Total.

4. Cianuro weak acid dissociable WAD (cuerpos receptores)

Los complejos débiles de cianuro, con frecuencia denominados cianuros “disociables en ácidos débiles” o cianuros DAD (WAD), pueden disociarse en solución y producir concentraciones ambientalmente significativas de cianuro libre. Los complejos débiles incluyen complejos de cianuro de cadmio, cobre, níquel, plata y zinc. El grado al cual se disocian estos complejos depende en gran medida del pH de la solución (pH 4,5).

Método de análisis

Se tienen dos métodos:

- a. Cianuro disociable en ácido débil / Método de electrodo selectivo.
- b. Método colorimétrico. Cianuro disociable en ácido débil.

4.1.1.2 Método de muestreo¹³

La actividad de recolección y manejo de las muestras, es uno de los procesos más importantes y trascendentes en la caracterización de calidad de aguas. La exactitud y confiabilidad de los resultados

¹³ Dirección de Asuntos Ambientales-Minem, Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua, Perú, 1993, pp. 6-18.

analíticos finales, se basan tanto en la representatividad de la muestra como en la exactitud de los métodos de ensayo aplicados.

Para las actividades de monitoreo ambiental generalmente se considera el método de **muestreo manual**, el cual establece la toma de muestras simples puntuales, obtenidas en un sitio determinado y una sola vez por cada turno durante el período de monitoreo. Considerando la topografía, lugar de colección, tipo de muestra y las condiciones del tiempo se emplearán procedimientos específicos para cada estación, según el contexto señalado.

En el **anexo N° 1** se presenta el Manual de Monitoreo de Calidad de Agua del JICA.

Para ello, es necesario establecer un procedimiento de muestreo, el cual consta de tres partes:

A. Etapa de pre-muestreo:

Es la etapa en la que se define el Plan de Monitoreo, se prepara el equipo de muestreo y los recipientes que contendrán las muestras, los cuales serán custodiados hasta el lugar en el que se realizará la toma de muestras.

1. Recopilación y revisión de información general de las unidades mineras emplazadas en la zona de interés.

La recopilación de información, se realiza principalmente mediante la revisión de instrumentos de gestión ambiental en la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Minem¹⁴ e informes de fiscalización en la Gerencia de Fiscalización Minera del Osinergmin. Seguidamente, se procede con la revisión de la información recopilada, distribuyéndose la documentación entre los supervisores participantes, según corresponda.

¹⁴ Minem: Ministerio de Energía y Minas.

11. Selección de los puntos de muestreo de calidad de aguas superficiales y efluentes minero-metalúrgicos.

Los puntos de toma de muestra se seleccionarán de acuerdo a la información obtenida respecto a las empresas mineras emplazadas en la zona: puntos de monitoreo registrado en el Sistema de Información Ambiental, estudios ambientales, informes de fiscalización realizados en años 2005-2008, cartografía u otros documentos relacionados. Estos puntos serán presentados en el Plan de Monitoreo, que será aprobado por el Osinergmin, previo a la salida al campo.

111. Selección del laboratorio acreditado por Indecopi.

La selección del laboratorio se realiza bajo las siguientes consideraciones:

- a. Estar acreditado por el Indecopi, como mínimo en la determinación de los parámetros de laboratorio: sólidos totales en suspensión, metales (totales y disueltos) como: Pb, Cu, Zn, As, Cd, Cr, Ni, Se, Fe y Hg y cianuro total (efluentes) y WAD (cuerpos receptores). Pero además, como parte del criterio técnico aplicado para el aseguramiento de la calidad es necesario que el laboratorio cuente también con métodos de campo acreditados por el Indecopi: pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y temperatura.
- b. Aplicar el método de ensayo por Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP), para el análisis de metales totales y disueltos en aguas.
- c. Los métodos de ensayos deben tener una alta exactitud, precisión y bajo límite de detección, por lo menos una décima de los valores límites (cuerpos receptores) y límites máximos permisibles (efluentes).
- d. Identificación y verificación del límite de detección reportado así como nivel de avances del laboratorio en cuanto a límite de cuantificación, específicamente de SQL¹⁵.

¹⁵ SQL: Limit of Quantification of the Sample (Límite de Cuantificación de la Muestra).

- e. Verificación de procedimientos previos (o de campo) para la determinación del parámetro metales disueltos.
 - f. Verificación del tratamiento de los resultados de las diferentes muestras blancos (de campo, viajero y de frascos) y de muestras duplicadas.
 - g. Las medidas de seguridad implementadas por el laboratorio en los ambientes en los que se realizan los análisis químicos.
 - h. Las instalaciones deben ser funcionales y operativas y con condiciones ambientales controladas.
 - i. Costos del servicio.
- iv. Elaboración del plan de trabajo.
- Se procede con la elaboración de un plan de trabajo de campo detallado, considerando el área que comprenden los puntos de muestreo seleccionados. Es importante determinar durante el reconocimiento de campo, los puntos críticos y el control que se requiere en las actividades de muestreo.
- Incluye además, las coordinaciones con el laboratorio y los preparativos para el trabajo de campo. Finalmente, se elabora el cronograma de monitoreo de campaña (presentado en calidad de propuesta al Osinergmin).
- v. Elaboración de la hoja de solicitud de análisis de las muestras.
- Se solicita al laboratorio por escrito los parámetros a analizar en las muestras que se tomarán en campo. Esta hoja acompaña a la muestra, una vez ingresada al laboratorio para su análisis.
- vi. Preparación de los equipos y recipientes de muestreo.
- Para garantizar la calidad de las muestras se emplea un mecanismo de custodia, mediante el cual se verifica que se proceda con la adecuada limpieza y calibración de los equipos, el buen estado de los reactivos para la preservación de las muestras y soluciones buffer a utilizarse en

campo y que el material necesario para el muestreo en campo se mantenga en un área limpia.

Los materiales generalmente están conformados por: frascos de muestreo (incluyendo recipientes extras), bombas de filtración (con repuestos), papel de filtro, ice packs, etiquetas, bolsas plásticas, guantes, pipetas, marcadores a prueba de agua, cronómetro para cálculo o estimación del flujo (en caso se requiera), agua destilada, recipientes limpios para mediciones de campo, soluciones buffer y preservantes: ácido nítrico (HNO_3) e hidróxido de sodio (NaOH).

Asimismo, se emplearán equipos muestreadores (brazo extensor), botas, sogas, estacas y/o cintas de referencia para marcar estaciones de muestreo adicionales o temporales y cajas de herramientas.

- vii. Los equipos básicos deben incluir: potenciómetro de campo, termómetro, oxímetro, correntómetro, recipientes de muestreo, planos del área de muestreo y hojas de registro de datos.

B. Etapa de muestreo:

En esta etapa se procede con la colección de muestras de aguas de los cuerpos receptores y de los efluentes mineros metalúrgicos, preservación de muestras, etiquetado, empaquetamiento, transporte, almacenamiento, documentación y análisis físico químico de las muestras.

Se debe tener en cuenta que la etapa de muestreo es de vital importancia porque la toma debe realizarse con cuidado, a fin de garantizar que el resultado analítico represente la composición real.

1. Colección de muestras.

El objetivo de la toma de muestras es la obtención de una porción de material cuyo volumen sea lo suficientemente pequeño como para que pueda ser transportado con facilidad y manipulado por el laboratorio, sin que por ello deje de representar con exactitud al material de donde

procede. Este objetivo implica que la proporción o concentración relativa de todos los componentes serán las mismas que en el material de donde proceden, y que dichas muestras serán manejadas de tal forma que no se produzcan alteraciones significativas en su composición antes de que se hagan las pruebas correspondientes, el resultado de cualquier determinación analítica no puede ser mejor que la muestra sobre las que se realiza.

En cada estación de monitoreo se recolectaran las muestras de agua, teniendo en cuenta los procedimientos seleccionados para el muestreo de aguas superficiales y efluentes minero metalúrgicos. Las recomendaciones generales a tener en cuenta son las siguientes:

- a. Para la toma de muestras de ríos se tendrá especial cuidado de realizarlas con un equipo muestreador (brazo extensor) para evitar contaminar las muestras con sólidos acumulados en las orillas o bordes del punto de muestreo.
- b. Antes de llenarse el envase con la muestra hay que enjuagarlo dos o tres veces con el agua que se va a recoger o con agua destilada, a menos que el envase contenga un preservante. Del mismo modo, las sondas para los medidores, equipos de muestreo y filtración.
- c. Según los análisis que deban realizarse, hay que llenar el envase por completo (análisis orgánicos), o dejar un espacio vacío para aireación, mezclas, etc. En el caso que las muestras deban ser transportadas, lo mejor es dejar un espacio del 1% de la capacidad del envase para permitir la expansión térmica.
- d. En el caso de muestras que contienen vestigios metálicos hay que tomar precauciones especiales, teniendo en cuenta que muchos de sus componentes pueden tener unas concentraciones de apenas unos microgramos por litro, cabe la posibilidad de que se pierdan totalmente o parcialmente si la muestra recogida es defectuosa o no se toman las precauciones necesarias para su conservación.

- e. Los principales factores que influyen sobre los resultados se encuentran la presencia de materia suspendida o de turbidez, el método elegido para la recogida y los cambios físicos y químicos producidos por la conservación o la aireación.
 - f. Es necesario tomar precauciones especiales cuando en el procesado de muestras (división, mezcla, separación, filtrado) se han de analizar componentes residuales sobre todo metálicos porque los análisis pueden quedar invalidados por alguna contaminación producida durante el procesado.
 - g. Cada muestra se debe tratar de manera individual, según las sustancias a analizar, la cantidad y la naturaleza de la turbidez existente y otras condiciones que puedan influir en los resultados. Si la turbidez es notable, hay que decidir si se filtra o no la muestra. Para medir la cantidad total de un componente, no hay que eliminar los sólidos suspendidos, sino tratarlos de forma adecuada.
 - h. Los papeles de filtro se manipularán únicamente con pinzas limpias. No se debe tocar con las manos el interior de las botellas, tapas o equipos de filtración.
 - 1. Recolectar las muestras para el control de calidad (QA/QC). Se procederá a la toma de muestras denominadas blancos y duplicados para la determinación de QC como blanco de botella, de campo, de equipo (en el caso de usar el brazo extensor) y muestra duplicada. Así también, se debe considerar que las contramuestras serán almacenadas de 01 a 03 meses y estarán a disposición del solicitante.
11. **Preservación de las muestras.**
- Los métodos de preservación de las muestras se limitan a al control del pH, la adición de productos químicos, refrigeración y filtración. Para reducir al máximo la posible volatilización o biodegradación entre el momento de hacer la toma y el proceder al análisis, se debe mantener la muestra a la menor temperatura posible sin que llegue a

congelarse. Las muestras deben mantenerse con hielo o un sistema de refrigeración a 4°C.

Se utilizarán conservantes químicos en el caso que las muestras lo requieran. El preservante debe elegirse en función de los análisis a realizar.

En el documento Standard Methods for Examination of Water & Wastewater (21ª Edición) se presenta un resumen de los procedimientos de colección, preservación y almacenamiento de muestras.

Para las muestras colectadas en campo se procederá de la siguiente manera:

Metales Totales.- Se preservará la muestra con ácido nítrico (HNO_3 1:1) hasta que el pH sea menor que 2.

Metales Disueltos.- Se procederá a filtrar las muestras en campo y posteriormente a preservarlas con ácido nítrico como en el caso de metales totales.

Cianuro Total y WAD.- Se preservará la muestra con hidróxido de sodio (NaOH) hasta que el pH sea básico (mayor que 12).

iii. Etiquetado.

El envase que contiene la muestra recogida se identifica pegando una etiqueta debidamente rotulada, en la que se registre información suficiente de manera que se pueda realizar una identificación positiva de la muestra en fechas posteriores, y en esta información debe constar el código del punto de monitoreo, el nombre del que ha hecho la toma, la fecha, hora y la localización exacta del punto (coordenadas UTM¹⁶), la temperatura del agua y cualquier otro dato adicional que se considere relevante y que pueda resultar necesario para establecer una correlación y/o referencia al momento de realizarse el análisis (posibles interferentes de la matriz).

¹⁶ UTM: Universal Transversa de Mercator.

La etiqueta se rellena con tinta indeleble y deben adherirse a los envases preferiblemente antes de hacer la toma.

iv. Sellado de la muestra.

Se utilizan sellos para detectar cualquier falsificación de la muestra que pueda hacerse antes del análisis. Se recurre para ello a precintos de seguridad en las tapas de los frascos. Este sello se coloca de forma tal que sea necesario romperlo para abrir el envase. El sellado ha de realizarse antes que el envase haya sido apartado de la vigilancia del personal que ha hecho la toma y solo se abrirá para el análisis de la muestra, una vez ingresado al laboratorio.

v. Libro de registro de campo.

La información pertinente de la toma de muestras se registra en un libro que al menos constará de lo siguiente: objeto de la toma, localización del punto donde se ha hecho, nombre y dirección del contacto de campo, productor del material del que se ha hecho la toma y dirección de dicho productor. También es necesario hacer constar la posible composición de la muestra, incluyendo el número y volúmenes de las muestras tomadas, la descripción del punto donde se ha hecho la toma y el método de la misma, la fecha y hora de la toma, referencias del lugar en forma de mapas o fotografías, observaciones y mediciones de campo y firmas del personal responsable de las observaciones.

Dado que las situaciones de toma de muestras son muy variadas, no pueden darse reglas generales acerca de la información que debe registrarse en el libro, pero en cualquier caso conviene incluir la información suficiente como para que pueda reconstruirse la toma de la muestra. El libro de registro estará protegido y guardado en un lugar seguro.

vi. Registro de cadena de custodia.

En el registro de la cadena de custodia, que acompaña a cada muestra o grupo de muestras, deberá constar la siguiente información: código de la muestra, lugar del momento de la toma, firma del operador de campo, fecha y hora, tipo de muestra, firma de las personas que han participado en el muestreo.

vii. Empaquetamiento, transporte y almacenamiento.

Las muestras debidamente empaquetadas en sus respectivos contenedores, deben enviarse al laboratorio a la brevedad posible. Durante el almacenamiento y transporte, las muestras deben conservarse en un contenedor fresco, oscuro y en posición vertical.

En el laboratorio, la persona encargada de recibir la muestra inspeccionará su estado y su sello, comprobando que la información de la etiqueta coincida con la registrada en la cadena de custodia. Posteriormente, se le asignará un código de laboratorio, se registrará en el libro de entrada al laboratorio y se guardará en una habitación o cabina de almacenamiento hasta que sea asignada a un analista.

C. Etapa de post-muestreo:

En esta etapa se procede con la verificación de los análisis fisicoquímicos y el control y aseguramiento de la calidad.

1. Análisis fisicoquímico.

Se verifica que el laboratorio proceda con el análisis de las muestras de acuerdo a los tiempos permitidos y parámetros solicitados en la etapa de pre-muestreo.

El laboratorio procederá al análisis de multielementos mediante la aplicación del método: ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrofotometry) que permitirá la determinación de los elementos de interés y que son empleados en una amplia aplicación para la determinación de elementos trazas o de rutina.

Asimismo, la determinación de las concentraciones de los parámetros sólidos totales en suspensión (STS) y cianuro total y WAD.

11. **Garantía de Control de Aseguramiento (QA)/Control de Calidad (QC).**
Además de verificar el tratamiento de datos con fines QA/QC de la etapa de muestreo, se verificará también la aplicación de la garantía de calidad de los procedimientos analíticos de laboratorio. Asimismo, para evaluar los resultados analíticos finales se realizará la comparación entre las lecturas de conductividad y las concentraciones iónicas reportadas.

111. **Preparación de informe final**
Luego de revisado los resultados finales, el supervisor se encargará de preparar el informe final de los muestreo presentando los datos obtenidos de manera tabulada y graficada a fin de observar la variabilidad en el tiempo de las concentraciones de los parámetros medidos y analizados. Los informes serán entregados al Osinergmin según lo estipulado en los Términos de Referencia.

Resumen de los métodos de medición de campo y análisis de muestras

Los métodos a aplicar para la medición y análisis de los parámetros de campo y de laboratorio se describen en la **Tablas N° 4.1.2.a y 4.1.2.b:**

Tabla N° 4.1.2.a.- Métodos de campo acreditados por el Indecopi

N°	Parámetro	Método	Norma de referencia
1	pH	Método Electrométrico	SMEWW 21 st Ed. 2005 Part-4500 H ⁺ A, B. Page. 4-90 APHA-AWWA-WEF.
2	Temperatura	Métodos de Laboratorio y Campo	SMEWW 21 st Ed. 2005 Part-2550 B. Page. 2-61 APHA-AWWA-WEF.
3	Conductividad eléctrica	Método de Laboratorio (medición en campo)	SMEWW 21 st Ed. 2005 Part-2510 A, B. Page. 2-44, 2- 47. APHA-AWWA-WEF.
4	Oxígeno disuelto	Método de membrana de electrodos para oxígeno (disuelto)	SMEWW 21 st Ed. 2005 Part-4500-O G. Page. 4-141 APHA-AWWA-WEF.
5	Caudal	Sensor de Fibra Óptica Swoffer	Sensor de Fibra Óptica Swoffer.

Fuente: D&E Desarrollo y Ecología SAC – CIMM Perú SA

Tabla N° 4.1.2.b.- Métodos de análisis químico acreditados por el Indecopi

N°	Parámetro	Método	Norma de referencia
1	Sólidos totales en suspensión	APHA AWWA WEF 2540-D Sólidos totales en suspensión se seca a 103-105 ° C	SMEWW 21 st Ed. Part 2540 D. Page. 2-58 APHAAWWA- WEF.
2	Metales Totales disueltos y	Determinación de metales y oligoelementos en agua y residuos por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma Acoplado Inductivamente	EPA Method 200.7 Revision 4.4 1994.
3	Cianuro total	Cianuro Total después de destilación / Método de electrodo selectivo	SMEWW 21 st Ed. 2005 Part-4500CN- C, F. Page. 4-39, 4-43 APHA-AWWA-WEF.
		Método colorimétrico - Cianato Total	SMEWW 21 st Ed. Part 4500-CN- E. Page. 4-39, 4-41. APHA-AWWA-WEF.
4	Cianuro WAD	Cianuro disociable en ácido débil / Método de electrodo selectivo	SMEWW 21 st Ed. 2005. Part-4500CN- I-F. Page. 4-39, 4-47 APHA-AWWA-WEF.
		Método colorimétrico. Cianuro disociable en ácido débil	SMEWW 21 st Ed. Part 4500-CN- E-I. Page. 4-41, 4-47 APHA-AWWA-WEF.

Fuente: D&E Desarrollo y Ecología SAC – CIMM Perú SA

4.1.1.3 Aseguramiento de la calidad de la información: calibración, trazabilidad y manejo de muestras

El sistema de aseguramiento de la calidad de la información es un conjunto de procesos necesarios que busca garantizar que el producto o servicio cumpla con los requisitos de calidad. Son medidas que toma

el proveedor para asegurar que su producto es conforme con los estándares de calidad. Del cumplimiento de la calidad de un producto pueden dar fe el proveedor del mismo, el cliente (Osinergmin) o terceros (empresas mineras monitoreadas, sociedad civil, profesionales dependientes o independientes).

El aplicar un aseguramiento de calidad en el muestreo permite minimizar el riesgo de contaminación o problemas durante el análisis de las muestras, y garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Se reducen los costos, ya que los controles permiten determinar donde hubo posibles errores. Se aplica el precepto de la calidad no cuesta, lo que cuesta son los errores.

Este proceso está presente durante todo el desarrollo del monitoreo, esto es en cada una de sus tres etapas:

1. Etapa de pre-muestreo.

El aseguramiento de la calidad en esta etapa empieza en la selección de un laboratorio acreditado ante el Indecopi bajo la norma ISO/IEC 17025 y que además cuente con métodos de ensayo y de medición de parámetros de campo debidamente acreditados en el Indecopi.

En esta fase se realizan **visitas técnicas a reconocidos laboratorios ambientales**. Para la pre-selección de éstos se consideró lo siguiente:

- a) De la revisión previa a la página web del Indecopi (www.indecopi.gob.pe) se puede determinar que los laboratorios cumplen con el requisito de tener los métodos de campo (pH, T°, CE y OD) y de laboratorio (STS, metales totales y disueltos por ICP, mercurio y cianuro WAD y total) debidamente acreditados por esta institución.
- b) Evaluar a los laboratorios con los que se ha trabajado en los monitoreos ambientales anteriores.

Con el fin de evaluar la competencia técnica, operativa y de control de calidad de los laboratorios se realiza un reconocimiento de las principales áreas o ambientes de trabajo.

A continuación se hace una breve descripción de los ambientes evaluados:

- a. Área de recepción de muestras. Al ingresarse las muestras se les coloca un nuevo código de identificación interno y previo a su análisis se procede a verificar si cumplen con las especificaciones de refrigeración ($\leq 4^{\circ}\text{C}$), de conservación (empleo de reactivos dependiendo del tipo de parámetro a analizar) y tiempo de vida de la muestra (almacenamiento máximo). De no cumplir con estas especificaciones se rechaza la muestra y se informa al cliente para que determine si se procede al análisis bajo su responsabilidad; en estos casos el resultado reportado en los informes de ensayo tiene carácter de referencial.
- b. Área de almacenamiento de muestras. Las contramuestras y duplicados son almacenados en ambientes a temperatura menor o igual a 4°C . El tiempo de almacenamiento es entre 01 a 03 meses a petición del cliente.
- c. Salas de ensayo y de lectura (instrumental) de muestras ambientales. En estas salas se realizan los “ataques químicos” (adición de ácidos concentrados) para muestras de metales totales y disueltos y ensayos de acuerdo a la metodología aplicada para las muestras de cianuro total y WAD (destilación) y sólidos totales en suspensión.
Posteriormente, las muestras de metales totales y disueltos son llevadas a la sala de lectura, que es un ambiente que debe estar separado, limpio y controlado.
- d. Áreas de operación de monitoreo, se debe verificar el orden y limpieza en el almacenamiento de los equipos y materiales de muestreo; así como su estado y operatividad.

- e. Ambientes donde se elaboran los informes de ensayo. Algunos laboratorios cuentan con el Sistema LIMS Software de computación diseñado para la administración y control de calidad de la información generada en el laboratorio. La sigla LIMS corresponde a Laboratory Information Management System.

Asimismo, se debe verificar si en cada uno de los ambientes visitados, los laboratorios cuentan con la documentación mínima como: certificados de calibración y planes de mantenimiento y calibración de equipos (de campo y laboratorio), registros de récord en los que se consigna la capacitación y experiencia de los operadores de monitoreo, procedimientos de toma y custodia de muestras, acreditación de métodos, formatos de cadena de custodia y de verificación de equipos de campo, vigencia de las soluciones buffer, etc.

Finalmente, de la evaluación se seleccionará al laboratorio que obtenga la mayor puntuación en la evaluación lo cual significa que cumple con los requisitos técnicos, operativos y de calidad que ofrezca las garantías de obtener resultados confiables y que sean difícilmente refutables o cuestionables por las empresas mineras monitoreadas.

Para el contexto es preciso definir una serie de términos empleados en metrología a fin de establecer las pautas necesarias para el aseguramiento de la calidad:

Calibración.- “Es el procedimiento metrológico que permite determinar con suficiente exactitud cuál es el valor de los errores de los instrumentos de medición. Y es de vital importancia que dichos errores sean lo suficientemente pequeños y que hayan sido

determinados con la mayor exactitud posible” (definición del Indecopi¹⁷).

La calibración debe efectuarse periódicamente a intervalos que deben definirse de acuerdo a la frecuencia y tipo de utilización del instrumento. En tales condiciones, se dice que el equipo es “trazable”. En resumen, consiste en comprobar las desviaciones de indicación de instrumentos y equipos de medida por comparación con patrones con trazabilidad nacional o internacional.

Mediante los resultados de calibración se puede determinar las correcciones a aplicar en las indicaciones de los instrumentos.

Los resultados de calibración se plasman en un certificado o informe de calibración. Los certificados que típicamente vienen con los equipos nuevos son en general de muy poco valor como aseguramiento de las características metrológicas del instrumento. Es siempre recomendable calibrar los equipos de importancia, aún si estos son nuevos, solo de esta manera se podrá garantizar la calidad y confiabilidad de los resultados.

Para asegurar la confiabilidad de la medición de los parámetros fisicoquímicos en campo, se verificará que el laboratorio seleccionado realice la calibración de los equipos: pHmetro, conductímetro, oxímetro y termómetro o en todo caso de su multiparámetro en las entidades debidamente acreditadas por el Indecopi para este procedimiento previo a la salida a campo.

Asimismo, es necesario que los materiales de vidrio e instrumentos empleados requeridos para el análisis y lectura de las muestras se encuentren también debidamente calibrados.

¹⁷ Indecopi: Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.

La correcta calibración de los equipos proporciona la seguridad de que el servicio proporcionado reúne las especificaciones requeridas. Es necesario calibrar los equipos con el fin de:

- a. Mantener y verificar el buen funcionamiento de los equipos.
- b. Responder a los requisitos establecidos en las normas de calidad.
- c. Garantizar la fiabilidad y trazabilidad de las medidas.

Verificación.- Usualmente en metrología existe mucha confusión entre los términos “calibración” y “verificación”. Generalmente se entiende este último como el chequeo interno entre calibraciones, o las pruebas para comprobar el correcto funcionamiento de un equipo después de un ajuste o un periodo prolongado de uso. Estas comprobaciones pueden ser realizadas incluso por el cliente siempre que éste cuente con los conocimientos y los elementos técnicos necesarios, siendo útil esta información para el Proceso de Control Estadístico, para establecer o modificar los intervalos entre calibraciones, o para establecer el tipo de trabajo para el cual el instrumento resulta apropiado.

Para garantizar la correcta verificación de los equipos, respecto a la lectura de valores de pH, se tendrá en cuenta que se utilicen lotes de soluciones buffer diferentes en laboratorio y campo. Asimismo, revisar las hojas de control de calidad de los frascos para constatar no se produzca contaminación de la muestra por limpieza inadecuada de los frascos.

Trazabilidad.- Es la propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con referencias determinadas, generalmente a patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas.

Para ello se requiere el uso de estándares: patrones de referencia y materiales de referencia.

Incertidumbre.- Es un parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando. A esta dispersión contribuyen factores tan diversos como la incertidumbre asociada a los patrones de referencia, la precisión de los equipos a calibrar, o las condiciones ambientales en el momento de realizar la calibración.

En otras palabras la incertidumbre es el margen de exactitud de los resultados de calibración de un laboratorio.

2. Etapa de muestreo

La recolección de las muestras de agua no sólo involucra el proceso de adquirir físicamente la muestra más representativa posible para el análisis, sino también el caracterizar el ambiente en el cual fue tomada y el manejo de la misma, con el fin de proteger esta representatividad para el propósito asignado a la misma. El objetivo de la toma de muestras y la evaluación del cuadro ambiental, es representar con la mayor exactitud el estado del agua en forma puntual. Esto significa obtener una serie de medidas (parámetros o medidas in situ) de una manera preestablecida, conservando y manteniendo la calidad del agua según procedimientos establecidos, por lo que es fundamental establecer controles que indiquen posibles interferencias que alteren los resultados.

El laboratorio seleccionado deberá contar con documentos, formatos y/o registros de aseguramiento de la calidad en campo y transporte de muestras, que contempla los siguientes documentos y procedimientos: etiquetas y sellos, cadenas de custodia, empaque y transporte de muestras.

El procedimiento de muestreo se realizará de acuerdo al Protocolo de Calidad de Aguas del Ministerio de Energía y Minas.

Obtención de muestras para control de calidad.- En esta etapa se prevé recolectar las muestras para el control de calidad (QA/QC).

Las muestras para control de calidad se utilizan para verificar la calidad de “descontaminación” de equipos y materiales, muestreo y procedimientos de manipulación de muestras, y para verificar que no se haya afectado la calidad de éstas. El número, tipo y manejo de las muestras de control de calidad forman parte del Plan de Monitoreo.

A continuación se describe brevemente las diferentes muestras de control:

- a. *Blanco de campo*, es una muestra de agua desionizada que se envasa, etiqueta y sella en una de las estaciones de muestreo y se envía al laboratorio en las mismas condiciones que las otras muestras. Este blanco sirve para identificar la contaminación o interferencias durante el muestreo y envío de las muestras.
- b. *Blanco viajero*, que corresponde a una muestra de agua desionizada preparada y conservada en el laboratorio de acuerdo a los diferentes parámetros a analizar, y que se mantiene en el mismo cooler (o caja térmica) que las otras muestras en cada fase del proceso de recolección, manejo y transporte. Dicho blanco se utiliza principalmente para evaluar si la contaminación ocurrió durante el transporte de la muestra o en el almacenaje en el laboratorio.
- c. *Blanco de equipo*. Consiste en envases llenos con el agua final del enjuague de los equipos. Una vez analizados, muestran la efectividad de la limpieza de los equipos de campo. También es aplicable en caso se utilice un frasco permanente para recolectar muestras con el brazo extensor.
- d. *Muestras duplicadas*. Es una muestra de agua recolectada dos veces en la misma estación de muestreo y seguida la segunda toma de la primera.

Con esta muestra se verifica la precisión del trabajo de campo y el análisis del laboratorio. Son independientes de las contramuestras

solicitadas por el Osinergmin y se realiza en todos los parámetros de análisis químico.

3. Etapa de post-muestreo

La recolección de las muestras de agua no sólo involucra el proceso de adquirir físicamente la muestra más representativa posible para el análisis, sino también el caracterizar el ambiente en el cual fue tomada y el manejo de la misma, con el fin de proteger esta representatividad para el propósito asignado a la misma.

3.1 Análisis fisicoquímico

Se verifica que el laboratorio proceda con el análisis de las muestras de acuerdo a los tiempos permitidos y parámetros solicitados en la etapa de pre-muestreo.

Para ello, se tendrá en cuenta los límites de detección de los métodos de ensayo, mostrados en el **Tabla N° 4.1.3**.

Asimismo, se verifican los resultados obtenidos en los controles de análisis (adición estándar).

3.2 Garantía de control de aseguramiento (QA)/Control de calidad (QC)

Además de verificar el tratamiento de datos con fines QA/QC de la etapa de muestreo, se verifica también la aplicación de la garantía de calidad de los procedimientos analíticos de laboratorio, con el objetivo de asegurar la calidad de todos los procesos analíticos realizados en el Laboratorio de Medio Ambiente, el cual incluya preparación de blancos de análisis y documentación mínima de respaldo de control de calidad analítica.

Además, para evaluar los resultados analíticos finales se realiza la comparación entre las lecturas de conductividad y las concentraciones iónicas reportadas, diferencia porcentual relativa y balance de cargas.

Tabla N° 4.1.3.- Comparación de LD de los parámetros según métodos de ensayo y las normas de comparación

PARÁMETRO	LÍMITE DE DETECCIÓN ICP/OES (mg/l)	LÍMITE DE DETECCIÓN ICP/MS (mg/l)	LMP en cualquier momento ⁽¹⁾ (mg/l)	LGA ⁽²⁾	ECA ⁽³⁾ (mg/l)
Plomo (Pb)	0,01	0,00005	0,4	0,1	0,05
Cobre (Cu)	0,005	0,0001	1,0	0,5	0,2
Zinc (Zn)	0,005	0,001	3,0	25	2
Arsénico (As)	0,02	0,0001	1,0	0,2	0,05
Cadmio (Cd)	0,003	0,00005	--	0,05	0,005
Cromo (Cr)	0,01	0,0005	--	1	0,1
Níquel (Ni)	0,002	0,0005	--	0,002	0,2
Selenio (Se)	0,02	0,001	--	0,05	0,05
Hierro (Fe)	0,01	--	2,0	--	1
PARÁMETRO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LMP en cualquier momento ^{***} (mg/l)		LGA ⁽²⁾	ECA ⁽³⁾ (mg/l)
Sólidos totales en suspensión* (STS)	5	50		--	--
Mercurio* (Hg)	0,0005	--		0,01	0,001
Cianuro Wad y Total* (CN)	0,005	1,0**		0,080	0,1
PARÁMETRO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LMP en cualquier momento ^{***} (mg/l)		LGA ⁽²⁾	ECA ⁽³⁾ (mg/l)
pH	--	6 - 9		--	6,5-8,5
Oxígeno disuelto	0,1 mg/l	--		>3	>=4
Temperatura	--	--		--	--
Conductividad eléctrica	0,1 µS/cm	--		--	<2000 µS/cm

Fuente: D&E Desarrollo y Ecología SAC - CIMM Perú SA

(1) LMP, Límite Máximo Permisible. Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM Anexo N° 1.

(2) LGA, Ley General de Aguas. Clase III. D.S. N° 007-83-SA.

(3) ECA, Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua, Categoría: Poblacional y Recreacional. D.S. N° 002-2008-MINAM.

BALANCE DE CARGAS.- Para el cálculo de error de balance de carga, se realiza un análisis completo de iones principales (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^-) y otros iones que pudiesen estar presentes en

concentraciones significativas. El cálculo del balance de carga es una práctica estándar para evaluar la exactitud de los análisis de agua. La electroneutralidad (E.N.) de una solución significa que la suma de cationes en la solución (expresada en meq/L) debe ser igual a la suma de los aniones. Por lo general se considera aceptable un error de balance de carga menor de 10%.

3.3 Preparación de informe final

Luego de revisado los resultados finales, el supervisor se encarga de preparar el informe final de los muestreos presentando los datos obtenidos de manera tabulada y graficada a fin de observar la variabilidad en el tiempo de las concentraciones de los parámetros medidos y analizados. Para ello se comparan los resultados con las siguientes normas nacionales e internacionales:

- a. Reglamento de la Ley General de Aguas. D.S. N° 261-69-AP, modificado por D.S. N° 007-83-SA y D.S. N° 003-2003-SA.
- b. Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VM.
- c. Food and Agriculture Organization (FAO). Rango de control de calidad para aguas de riego para el parámetro STS.

4.1.1.4 Requerimientos mínimos: humanos, equipos e instrumentos.

1. Requerimientos humanos

Para llevar a cabo los trabajos de monitoreo ambiental, D&E Desarrollo y Ecología SAC cuenta con un equipo de profesionales de alto y reconocido nivel profesional, así como de un alto sentido de la ética, quienes se rigen además como organización con un Código de Conducta.

El equipo designado para las actividades de supervisión de monitoreos ambientales está conformado en su mayoría por profesionales especialistas en Química, profesión cuya estructura curricular contiene el mayor número de cursos de química que otras especialidades y

dentro de estos cursos contempla con más detalle y rigurosidad que cualquier otra profesión la capacitación y entrenamiento en técnicas analíticas y de muestreos. Los profesionales Químicos o Licenciados en Química se encuentran organizados en un Colegio Profesional que cada vez más vigorosamente se encarga de capacitar y entrenar a sus miembros en temas de actualidad como son los temas ambientales y en particular en la importante necesidad del aporte del Químico en lo que respecta al control y aseguramiento de la calidad de la toma y análisis de muestras ambientales.

2. Equipos e instrumentos

Para el trabajo a desarrollar en campo se requerirán, como mínimo, los siguientes equipos e instrumentos:

- a. Multiparámetro
- b. Correntómetro
- c. Bombas de filtración (metales disueltos)
- d. GPS
- e. Espectrómetros de emisión atómica por inducción de plasma acoplado (ICP) para el análisis de metales totales y disueltos.

3. Materiales:

- a. Papeles de filtro
- b. Frascos de PVC
- c. Coolers o cajas térmicas con ice packs
- d. Preservante (HNO_3 1:1 y NaOH 1:1)
- e. Guantes quirúrgico y de jebe
- f. Etiquetas autoadhesivas
- g. Cadenas de custodia
- h. 01 libro de registro
- i. Plumones indelebles
- j. Pizarra

- k. Equipos de protección personal: chaleco, impermeable, botines de seguridad, botas de jebe muslera.
- l. Arnés o soga, balde, linterna, muestreador con extensión, cronómetro.
- m. Materiales de laboratorio como pizeta, pipetas y/o goteros y bombilla de succión.

4.1.2 Monitoreo de aire y emisiones atmosféricas

4.1.2.1 Parámetros

La medición de los puntos de monitoreo y análisis químicos se realizarán con el laboratorio seleccionado que cuente con métodos de ensayo acreditados por el INDECOPI, de acuerdo a los parámetros establecidos en la R.M. ° 315-EM-VMM y el D.S. N° 074-2001-PCM, según la **Tabla N° 4.1.2.1**:

Tabla N° 4.1.2.1.- Parámetros indicados en la normatividad peruana

N°	Norma legal	Parámetros considerados
1	Emisiones: R.M. N° 315-EM-VMM	Partículas en suspensión, As y SO ₂
2	Calidad de aire: D.S. N° 074-2001-PCM	PM10, Pb y SO ₂

Fuente: D&E Desarrollo y Ecología SAC

4.1.2.2 Método de monitoreo^{18, 19}

De acuerdo a la Guías de la Calidad del Aire de la OMS, los métodos de monitoreo se pueden dividir en cuatro tipos genéricos principales que incluyen a los muestreadores pasivos, muestreadores activos, analizadores automáticos y sensores remotos:

1. Muestreadores pasivos.- Sirven para coleccionar un contaminante específico por medio de la adsorción y absorción en un sustrato

¹⁸ Dirección de Asuntos Ambientales-Minem, Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire, Perú, 1993, pp. 6-18.

¹⁹ Dirección General de Salud Ambiental (Digesa), Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos, Digesa, Perú, 2005.

químico seleccionado. El tiempo de exposición varía desde un par de horas hasta un mes. La muestra se analiza mediante la desorción del contaminante y luego es cuantificada. Esta técnica es usada para determinar los principales contaminantes urbanos, tales como: NO₂, SO₂, NH₃, VOC's, y O₃.

2. Muestreadores activos.- Estos equipos bombean aire para muestrear a través de un medio de colección físico o químico. Los muestreadores activos más utilizados actualmente son los burbujeadores para gases, los equipos PTS (Partículas Totales en Suspensión) y de Alto Volumen (HighVol) para partículas totales y de fracción respirable (PM10, PM2.5).
3. Analizadores automáticos.- El funcionamiento de los equipos se fundamenta en propiedades físicas o químicas del elemento a determinar, utilizando métodos optoelectrónicos. El aire muestreado entra en una cámara de reacción donde, por una propiedad óptica del gas que pueda medirse directamente o por una reacción química que produzca quimioluminiscencia, se mide esta luz por medio de un detector que produce una señal eléctrica proporcional a la concentración del contaminante muestreado.
4. Sensores remotos.- Estos equipos pueden proporcionar mediciones integradas de multicomponentes a lo largo de una trayectoria específico en la atmósfera (>100 m.); incluso proporcionar mapas tridimensionales detallados de concentraciones de contaminantes dentro de un área por un período de tiempo restringido.

En la **Tabla N° 4.1.2.2** se describen los principales métodos.

Tabla N° 4.1.2.2.- Descripción de los tipos de muestreadores

N°	Tipos de muestreadores	Descripción
1	Pasivos	<ul style="list-style-type: none"> a. Bajos costos. b. Simple y eficaz para realizar el sondeo de la calidad del aire en un área determinada. c. La muestra integrada se recoge durante un determinado periodo (que generalmente varía entre una semana y un mes). d. Sirve para identificar los lugares críticos donde hay una alta concentración de contaminantes.
2	Activos	<ul style="list-style-type: none"> a. Las muestras de contaminantes se recolectan bombeando un volumen conocido de aire a través de un colector por medios físicos (filtro-muestreador activo manual) o químicos (solución química-muestreador activo automático) para su posterior análisis en el laboratorio. b. Provee datos valiosos de línea de base para análisis de tendencias y comparaciones. c. La calidad de los datos finales depende de los sistemas de muestreo (para gases), el acondicionamiento de muestras, los sistemas de ponderación para el material particulado (PM) y los procedimientos de laboratorio.
3	Analizadores Automáticos	<ul style="list-style-type: none"> a. Proporcionan mediciones de alta resolución (generalmente en promedios horarios o mejores) en un único punto para varios contaminantes (SO₂, NO₂, CO, PM y COV). b. La muestra se analiza en línea y en tiempo real, generalmente a través de métodos electro ópticos: absorción de UV o IR; la fluorescencia y la quimioluminiscencia. c. Para asegurar la calidad de los datos de los analizadores automáticos, es necesario contar con procedimientos adecuados para el mantenimiento, la operación y el aseguramiento y control de calidad.
4	Sensores Remotos	<ul style="list-style-type: none"> a. Los instrumentos utilizan técnicas espectroscópicas de larga trayectoria para medir las concentraciones de varios contaminantes en tiempo real. b. Los datos se obtienen mediante la integración entre el detector y una fuente de luz a lo largo de una ruta determinada. c. Para obtener datos significativos con estos sistemas, es necesario contar con procedimientos adecuados para la operación, calibración y manejo de datos. d. Este método requiere de la calibración de los instrumentos y el aseguramiento de la calidad para obtener datos significativos.

Fuente: Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos – Digesa 2005.

La Resolución Ministerial N° 315-EM-VMM y el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM establecen los métodos de referencia para la medición de contaminantes.

Las **Tablas N° 4.1.2.3 y 4.1.2.4** presentan los métodos de referencia para el monitoreo de estos contaminantes y las normas técnicas nacionales vigentes para algunos de estos contaminantes (según lo registrado en el Indecopi):

Tabla N° 4.1.2.3.- Métodos de referencia para el análisis de los contaminantes de calidad de aire

Parámetro	Norma Referencia	Año	Método	Límites de detección
MATERIAL PARTICULADO (PM10)	Norma Técnica Peruana (NTP) 900.030	2003	Calidad de aire. Método de referencia para la determinación de material particulado respirable como PM10 en la atmósfera.	0,0001 g/muestra
	Environmental Protection Agency EPA- Compendium Method IO-2.1	1999	Toma de muestras de aire del ambiente de partículas suspendidas totales (SPM) y uso de muestreador PM10 de alto volumen (HV)	
	Electronic EPA 40 CFR Part 50 Appendix J	1990	Método de referencia para la determinación de partículas PM10 en la atmósfera	
DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)	NTP-ISO 10498	2006	Determinación de Dióxido de Azufre- Método de Fluorescencia Ultravioleta	0,5 µg/muestra
PLOMO (Pb)	Environmental Protection Agency EPA - Compendium Method IO - 3.2	1999	Determinación de metales en partículas ambientales con Espectroscopía de Absorción Atómica (AA).	2 µg/muestra

Fuente: D&E Desarrollo y Ecología SAC

Tabla N° 4.1.2.4.- Métodos de referencia para el análisis de los contaminantes de emisiones gaseosas

Parámetro	Norma Referencia	Año	Título
MATERIAL PARTICULADO	EPA 5, April 2003 revised edition	2003	Determinación de material particulado de emisiones procedentes de fuentes fijas
DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂)	EPA 6, April 2003 revised edition	2003	Determinación de dióxido de azufre en emisiones de fuentes estacionarias
PLOMO (Pb)	Environmental Protection Agency EPA - Compendium Method IO - 3.2	1999	Determinación de metales en material particulado con Espectroscopía Absorción Atómica (AA)
ARSÉNICO (As)	Environmental Protection Agency EPA - Compendium Method IO - 3.2	1999	

Fuente: D&E Desarrollo y Ecología SAC

1. Procedimiento de monitoreo

Para las actividades de la Supervisión Especial de Monitoreo Ambiental, es necesario establecer un procedimiento de monitoreo, el cual consta de tres partes:

1.1 Etapa de pre-campo, es la etapa en la que se define el Plan de Monitoreo, se preparan los equipos, materiales y soluciones que serán empleados para el monitoreo.

1.1.1 Recopilación y revisión de información general de las unidades mineras emplazadas en las zonas incluidas en las Bases del presente Proceso de Selección. Se realiza principalmente mediante la revisión de instrumentos de gestión ambiental en la Dirección General de

Asuntos Ambientales Mineros del Minem e informes de fiscalización en la Gerencia de Fiscalización Minera del Osinergmin.

1.1.2 Selección de los puntos de monitoreo

La selección del sitio de monitoreo es importante y requiere la ubicación más representativa para monitorear las condiciones de la calidad del aire. Esta selección puede realizarse de acuerdo a la siguiente secuencia:

- a. Revisar información histórica (datos climatológicos y meteorológicos, mapas topográficos, inventarios de emisiones, resultados de modelos de dispersión, patrones de tráfico, usos de suelo, distribución de la población y datos de monitoreo existentes).
- b. Identificar las áreas potenciales para la localización de las estaciones de monitoreo (áreas residenciales o poblaciones susceptibles, áreas industriales o comerciales y áreas límites de ciudad (ubicaciones a favor del viento para mediciones de ozono o en contra del viento para mediciones de fondo)
- c. Desarrollar una lista de verificación para la evaluación del sitio que recopile (distancia entre el sitio y lugares de interferencia, fuentes específicas, productos químicos agrícolas, carreteras, altura y requerimientos de orientación, disponibilidad de energía eléctrica, disponibilidad de líneas telefónicas para transmisión de datos y comunicación, accesibilidad y seguridad, ausencia de árboles u obstáculos, duración u horario de medición).
- d. Considerar sitios que no presenten problemas para la permanencia de los equipos, ya sea por actos vandálicos o por fenómenos de la naturaleza.
- e. Conocer la información de ubicación de fuentes y sus emisiones. De no contar con un inventario total de emisiones, es importante conocer por lo menos la ubicación de las fuentes emisoras y la información básica de qué contaminantes emiten.

Los puntos de monitoreo serán aprobados por el Osinergmin antes de la salida a las campañas de monitoreo.

1.1.3 Selección del laboratorio acreditado por Indecopi

La selección del laboratorio se realizará bajo las siguientes consideraciones:

- a. Estar acreditado por el Indecopi en los parámetros de medición de calidad de aire y emisiones.
- b. Presentar los certificados de calibración y verificación vigentes para cada equipo (curva de calibración de la presión manométrica diferencial / tablas Look-Up - variación de presión barométrica a diferentes altitudes), informes de control de calidad QA/QC, informes de ensayo de los blancos de filtro, registros de rosas de viento y data meteorológica.
- c. Capacitación del personal encargado de la toma de muestras, se tendrá en cuenta los récords de capacitación y horas de trabajo en campo de los operadores seleccionados para realizar la medición y toma de muestras de calidad de aire y emisiones gaseosas.
- d. Verificación del tratamiento de los resultados de las muestras de blanco de filtros y de duplicados de metales.
- e. Costos de servicios y tiempo de entrega de los informes de ensayo.

1.1.4 Elaboración del plan de trabajo

Se procederá con la preparación de un plan de trabajo de campo detallado considerando el área que comprenden los puntos seleccionados, tomando las medidas consideradas para el control de las actividades de monitoreo. Para ello, se coordinará con el laboratorio y se realizarán los preparativos para el trabajo de campo. Finalmente, se elaborará el cronograma de monitoreo de campaña, presentado en calidad de propuesta al Osinergmin.

1.1.5 Hoja de solicitud de análisis de las muestras

Se procederá a solicitar al laboratorio por escrito los parámetros a analizar en las muestras (filtros y/o soluciones) que se tomarán en campo. Esta hoja acompañará a la muestra, una vez ingresada al laboratorio para su análisis.

1.1.6 Verificación del mantenimiento, certificados de calibración de los equipos

Para garantizar el correcto estado y funcionamiento de los equipos a utilizar. Los supervisores procederán con la verificación de los documentos de mantenimiento, calibración del muestreador y verificación de:

Mue treader de alto volumen (PM10).- La calibración del muestreador es necesaria para poder relacionar la medición de campo con un patrón primario a través de un patrón de transferencia del régimen de flujo. Aunque el procedimiento de calibración debe ser proporcionado por el fabricante, los laboratorios usualmente emplean normas internacionales de referencia, tales como la Guía de Aseguramiento de Calidad, monitoreo PM10 en el aire ambiental utilizando un muestreador de alto volumen - *Método EPA 600/4-77-027a, Sept. 1977*. Los certificados de calibración y curvas de variación del flujo vs. lecturas del manómetro serán anexados en los informes de resultados por campaña.

El mantenimiento periódico permite la operación del equipo por tiempo más extenso y con menos fallas de funcionamiento. Las partes que requieren un mantenimiento preventivo son: cabezal fraccionador, motor ventilador, registrador, empaquetaduras y estructura.

- a. Cabezal fraccionador de partículas. Debe inspeccionarse antes de cada período de muestreo para detectar abolladuras o irregularidades en la

apertura de la entrada de la muestra. En general, se recomienda realizar una limpieza profunda después de quince días de muestreo.

- b. Empaquetaduras. Así como el cabezal, estructuras de soporte y el portafiltros deben ser revisados y reemplazados periódicamente.
- c. Estructura. Está constituida de un aluminio especial, lo que no permite la corrosión por condiciones atmosféricas. Debido a esto es necesaria la limpieza continua y recubrimiento con algún tipo de protector (cera/antioxidante) cuando las condiciones ambientales lo requieran (condiciones ácidas o alcalinas).
- d. Se revisará que los orificios calibradores hayan sido recalibrados y certificados dentro del año en que se está realizando el monitoreo.

Muestreador isocinético.- La EPA dispone de un método documentado (*APTD 0576*) en el que se establecen rutinas de mantenimiento. El tren de muestreo tiene los siguientes sistemas de medición:

- a. Termocuplas. Se calibran por comparación con sistemas de medición de temperatura calibrados.
- b. Tubo de Pitot. Debe ser calibrado para obtener el coeficiente característico (C_p). Se realiza comparando las lecturas del tubo a calibrar, con el tubo Pitot Standard (constante ≈ 1). Los datos obtenidos se grafican para hallar el C_p (norma ASTM D3796-90).
- c. Medidor de gas seco (DGM). Se puede calibrar de varias formas: usando un medidor de gas húmedo, un espirómetro u orificios críticos. La calibración del DGM proporcionará dos datos necesarios para realizar los cálculos: el coeficiente Y de calibración (adimensional) y el valor ΔH (caída de la presión en la placa orificio, cuando por ella circula un caudal de $0,75 \text{ pies}^3$ de aire/min (cfm) a 528°R y 29,92 pulgadas de Hg).
- d. Manómetros y vacuómetros. Se realiza por comparación con instrumentos calibrados (de mejor calidad metrológica).
- e. Timer.

Estaciones meteorológicas.- Se procederá a evaluar el estado de los cojinetes de las paletas aerodinámicas (que no presenten una degradación considerable). La frecuencia de calibración de los detectores de velocidad y dirección del viento dependerá de las condiciones corrosivas (gases) de la zona donde se instale el equipo. Se verificará que la calibración de los detectores de temperatura del aire se haya realizado, por lo menos una vez, dentro del mes correspondiente al monitoreo. Asimismo, el buen estado y limpieza del detector y la pantalla (de color blanco).

1.1.7 Preparación de materiales para el monitoreo

Los materiales generalmente están conformados por: filtros, materiales de vidrio (impingers), pinzas para filtros, sogas, cajas de herramientas, plano del área de muestreo y hojas de registro de datos. Asimismo, se deberá verificar el buen estado de los reactivos utilizados para la preparación de las soluciones captadoras y que el material requerido para el monitoreo se mantenga en un área limpia y libre de polución.

Filtros.-

- a. Para las mediciones de material particulado (PM10) se emplean filtros de fibra de vidrio, debido a que son insensibles a los cambios de en la humedad relativa, el material recolectado puede ser higroscópico.
- b. Se deben equilibrar a las condiciones de temperatura y humedad del cuarto en el que está ubicada la balanza analítica.
- c. Numerar los filtros y pesarlos considerando una precisión de 0,0005g.
- d. Registrar los pesos de tara y el número de identificación del filtro en un cuaderno de registro del laboratorio.
- e. Manipular los filtros con mucho cuidado, cuidando que no estén doblados antes de la recolección de las muestras de partículas. No se deben usar filtros rotos, dañados o sucios.
- f. Colocar en una cámara de secado por 24 horas.

- g. La humedad relativa debe ser constante, entre 20 y 45%. Asimismo, la temperatura, entre 15 y 30°C.
- h. Los parámetros de validación de los filtros, según el sistema Quality Assurance (QA) del método EPA IO-3.1 “Selection, preparation and extraction of filter material. Cap. 6. Extraction of glass fiber filters in preparation for metal analysis”, especifican que se debe realizar el pesaje de un filtro de referencia bajo las mismas condiciones operativas del sistema:
 - Limpio: máxima diferencia entre la pesada y QA; 1,0 mg
 - Expuesto: máxima diferencia entre la pesada y QA; 2,0 mg

1.2 Etapa de campo, la información generada permitirá localizar áreas problemáticas e identificar los problemas de contaminación en la zona de estudio.

1.2.1 Equipos de medición de partículas y/o de gases según corresponda y su equipamiento asociado

Los equipos de monitoreo a instalar en la estación dependerán de los objetivos del programa y de los métodos de medición adecuados para el cumplimiento del objetivo y las normas legales (Resolución Ministerial N° 315-EM-VMM y el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM).

1.2.2 Sistema de recolección de datos

Los datos generados en los monitores de gases y partículas deben ser almacenados continuamente en copia impresa y electrónica.

1.2.3 Sistemas de respaldo

Para proteger los equipos ante variaciones de voltaje en el suministro eléctrico, el circuito eléctrico debe contar con adecuadas protecciones eléctricas para mantener en funcionamiento los equipos (al menos la

electrónica) durante cortes eléctricos (una capacidad al menos de 15 minutos).

1.2.4 Equipos de medición de variables meteorológicas

Para apoyar las mediciones de calidad de aire es recomendable incluir una estación meteorológica simple para ayudar en la interpretación y predicción de la dispersión de contaminantes. La estación meteorológica, debería constar con instrumentos de medición de:

- a. Velocidad y dirección del viento
- b. Humedad relativa
- c. Temperatura
- d. Precipitación

Los instrumentos pueden ser instalados a un mástil o torre de 10 m de altura (para las mediciones de velocidad y dirección del viento) el que puede estar o no adosado a la caseta de instalación. Las señales de medición de los parámetros meteorológicos pueden estar centralizadas en el datalogger de la estación o bien almacenadas en forma autónoma en otro dispositivo.

En esta etapa se procederá con el monitoreo de calidad de aire y emisiones usando los muestreadores de alto volumen, isocinéticos y equipos meteorológicos.

El supervisor se encargará de identificar claramente el punto de toma de muestras, así como, verificar el correcto uso de los procedimientos operativos por parte del personal del laboratorio seleccionado, para asegurar la integridad de la muestra desde la medición hasta la emisión del informe. Ello implica hacer un seguimiento del proceso de posesión y manipulación de los filtros y/o soluciones captadoras hasta el de su análisis.

El empleo de la cadena de custodia y registros de datos para el análisis de elementos resultan útiles como control rutinario de la trayectoria de la muestra.

Se debe tener en cuenta que la etapa de muestreo es de vital importancia porque la medición debe realizarse con cuidado, de acuerdo a los tiempos establecidos para el monitoreo de calidad de aire (20 – 24 horas) y al número de corridas (02) para la medición de emisiones gaseosas, a fin de garantizar que el resultado analítico represente la composición real.

1.2.5 Colección de muestras

1. Monitoreo de la emisión de la fuente estacionaria

La finalidad de la medición de emisiones gaseosas es extraer de la chimenea o ducto una muestra que sea representativa de las emisiones de dicha fuente durante el período que el proceso se encuentre bajo condiciones operativas. El personal de monitoreo, además de seguir los procedimientos estándar de muestreo, deberá documentar cada etapa, manteniendo los registros completos y exactos.

El lugar de muestreo y el número de puntos transversales afectará la calidad de la muestra recolectada. Se requiere de información detallada sobre los parámetros de la chimenea y el flujo de gas para determinar el tubo recolector adecuado y la colocación de otro equipo de muestreo. Los datos requeridos para la chimenea y el flujo del gas son: altura de la chimenea, diámetro de la chimenea, velocidad del aire de salida y temperatura del gas.

2. Monitoreo de la contaminación del aire del ambiente

El muestreador de alto volumen deberá instalarse en una ubicación muy expuesta y a una distancia de, por lo menos, 4 m de la edificación u otra estructura cercana. El muestreador se colocará en una plataforma, de modo que el filtro se encuentre entre 2 y 3 m sobre la superficie. Para efectos de seguridad, el equipo se colocará en un

recinto cercado por cadenas, asegurando que el filtro se encuentre, por lo menos, a 2 m de la cerca más próxima.

El procedimiento básico consiste en que el equipo aspira aire del ambiente a flujo constante dentro de un orificio de forma especial, donde el material particulado en suspensión es separado inercialmente en fracciones de uno o más tamaños, dentro del rango de tamaños de PM10. Las partículas son colectadas, finalmente, en un filtro de cuarzo durante el periodo de muestreo.

1.3 Etapa de post-campo

1.3.1 Análisis fisicoquímico

Se verificará que el laboratorio proceda con el análisis de las muestras de acuerdo a los tiempos permitidos y parámetros solicitados en la etapa de pre-campo.

1.3.2 Garantía de Control de Aseguramiento (QA)/Control de Calidad (QC)

Se verificará la aplicación de la garantía de calidad de los procedimientos analíticos de laboratorio (blancos de filtro).

1.3.3 Preparación de informe final

Luego de revisado los resultados finales, el supervisor se encargará de preparar el informe final de los muestreos presentando los datos obtenidos de manera tabulada y graficada a fin de observar la variabilidad en el tiempo de las concentraciones de los parámetros medidos y analizados.

1.4 Frecuencia de monitoreo

El término frecuencia de monitoreo indica el número de muestras que se tomarán o llevarán a cabo en un intervalo de tiempo, en un punto de muestreo o en un área de muestreo, y se aplica en programas de muestreo discontinuos. Este factor es de gran importancia puesto que los valores de calidad del aire dependen en gran parte de variaciones

temporales: condiciones climáticas y cambios estacionales. Por lo que se recomienda establecer una frecuencia de muestreo que tome en consideración todos estos cambios de manera que el programa de monitoreo sea representativo de lo que ocurre en la zona de estudio. La duración del monitoreo será entre 20 y 24 horas por punto.

4.1.2.3 Mecanismos de Aseguramiento de la Calidad

El aseguramiento y control de la calidad (QA/QC) son parte esencial de todo el sistema de monitoreo y comprende un programa de actividades que garantizan que la medición cumple normas definidas y apropiadas de calidad con un determinado nivel de confianza.

Las actividades de aseguramiento de la calidad cubren todas las etapas de pre-medición del monitoreo, incluida la selección del sitio de monitoreo, la evaluación del equipo y la capacitación de los operadores. Las funciones de control de la calidad influyen directamente en las actividades relacionadas con la medición como la operación del lugar, la calibración, el manejo de datos, las supervisiones en campo y la capacitación

1. Calibración

La mayoría de los equipos para monitoreo de calidad de aire y meteorología deben ser calibrados cada cierto intervalo de tiempo para corregir sesgos y corrimientos instrumentales. Se debe mantener un registro de los procedimientos de calibración, valores obtenidos y observaciones, y deben estar disponibles cuando sean requeridos. La calidad de los datos dependerá de la adecuada calibración de los equipos.

2. Trazabilidad

Es la propiedad de un instrumento de medida que permite referirlo a patrones de medida que generalmente son patrones internacionales o nacionales, a través de una cadena de comparaciones. Todos los patrones que se utilicen en la calibración de instrumentos han de tener

trazabilidad con patrones de orden superior (patrones primarios) pertenecientes a un laboratorio acreditado, es decir, que a su vez hayan sido calibrados con un patrón de mayor precisión por un organismo oficial. Estos patrones primarios deben ir acompañados de su certificado de calibración, en donde se indique la fuente de procedencia, la fecha de calibración, la incertidumbre y las condiciones bajo las cuales se obtuvieron los resultados.

3. Manejo y transporte de muestras

Es muy importante la conservación de la documentación que permita hacer un rastreo de la medición en todas sus etapas. Por ello se debe verificar que los registros asociados a los equipos de monitoreo incluyan:

- La fecha del registro de las acciones efectuadas.
- El nombre de la persona (o personas) que han efectuado las acciones de operación y mantenimiento en el sitio correspondiente a las fechas antes señaladas.
- Breve descripción del tiempo (es decir, despejado, lloviendo, ventoso, etc.).
- Breve descripción de las condiciones exteriores del sitio.
- Descripción del trabajo efectuado en el sitio (es decir, instrumentos calibrados, analizador reparado). Información detallada sobre los instrumentos que necesitan reparación.

Todas las muestras deben ser etiquetadas para asegurar una identificación apropiada a lo largo de todo el proceso de monitoreo en el campo, transporte y análisis de laboratorio.

4.1.2.4 Requerimientos mínimos: humanos, infraestructura, equipos e instrumentos

1. Requerimientos humanos

La conformación del equipo de profesionales se describe en la **Tabla N° 4.1.2.5**.

2. Infraestructura

La empresa cuenta con una sede de coordinaciones y de trabajo de gabinete del equipo a cargo del servicio, completamente equipada para las labores propias de oficina (computadores, fotocopiadoras, impresoras, fax, internet, scanners, teléfonos, intercomunicadores, materiales de edición y de oficina en general, etc.).

Se tiene un equipo de personal administrativo que colabora con el personal técnico, conformado por recepcionista, contadora, auxiliar de contabilidad, así como personal de limpieza y mensajería.

Tabla N° 4.1.2.5.- Conformación del equipo de profesionales

N°	Equipo	Integrantes	Empresas	Descripción de funciones
1	Gestión del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • 01 Gerente • 02 Asesores • 01 Coordinador 	D&E Desarrollo y Ecología SAC	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión, supervisión y asesoría del plan de monitoreo ambiental. • Revisión de informes.
2	Cuadrillas	<ul style="list-style-type: none"> • 02 Supervisores 	D&E Desarrollo y Ecología SAC	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación de las etapas del monitoreo de calidad de aire y emisiones. • Elaboración de informes.
		<ul style="list-style-type: none"> • 04 operadores 	Laboratorio seleccionado	Muestreo de los puntos de calidad de aguas incluidos en el plan de monitoreo.
3	Personal de apoyo	De campo: <ul style="list-style-type: none"> • 02 chóferes 	Empresa seleccionada	Traslado de las cuadrillas, materiales y equipos necesarios a las zonas involucradas.
		En gabinete: <ul style="list-style-type: none"> • 01 auxiliar técnico (Ing. geógrafo) 	D&E Desarrollo y Ecología SAC	Elaboración de la cartografía de reconocimiento y para los informes requeridos (Plan de monitoreo, 2a., 2b. y 3).
		En gabinete: <ul style="list-style-type: none"> • 01 auxiliar para elaboración de informes 	D&E Desarrollo y Ecología SAC	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de informes.

Fuente: D&E Desarrollo y Ecología SAC

3. Equipos e instrumentos

Para el trabajo a desarrollar en campo se requerirán, como mínimo, los siguientes equipos e instrumentos, los cuales serán proporcionados por el laboratorio seleccionado:

- a. Muestreadores de Alto Volumen “High Vol”, Graseby / Andersen / Thermo Electron Corp.
- b. Estaciones meteorológicas (Weather Monitor II) Davis Instruments
- c. Muestreador isocinético Thermo Electron Corp. (incluye sonda de 1,5 y 3 m, cordón umbilical, caja fría, caja caliente, caja de control: meter).
- d. Dos (02) GPS.
- e. Espectrómetros de emisión atómica por inducción de plasma acoplado (ICP) para el análisis de metales.

4. Organización para las campañas de monitoreo

Cronograma de monitoreo por campaña:

La elaboración de los cronogramas y planos de monitoreo es el resultado de la recopilación y revisión de instrumentos de gestión ambiental y registro de los puntos de monitoreo del Sistema de Información Ambiental (SIA) de las empresas comprendidas en cada ámbito geográfico.

4.2 Evaluación de los contaminantes ambientales

4.2.1 Evaluación de los impactos en la calidad de aguas por las operaciones mineras

Los impactos hidrológicos se manifiestan típicamente en los cambios de caudal o en las condiciones del nivel de aguas. Generalmente se consideran los siguientes impactos hidrológicos:

- a. Los cambios en las condiciones del caudal máximo (potencial impacto negativo: inundaciones cada vez mayores).
- b. Los cambios en las condiciones del caudal promedio anual y mensual.

- c. Los cambios en las condiciones del caudal en la época seca (potencial impacto negativo: reducción del flujo base; impacto positivo: incremento del flujo base).

Los impactos en la calidad de las aguas provienen de las descargas de fuente puntual, así como de las fuentes difusas.

- a. Fuentes Puntuales

El vertimiento de efluentes en los cuerpos de agua generará impactos locales y extendidos. Los impactos locales están relacionados con la zona de mezcla y la pluma que forma la descarga. Los impactos extendidos son los impactos más permanentes de las descargas y son los que afectan la calidad de las aguas en el largo plazo.

Mediante técnicas de modelamiento numérico se puede predecir si es necesario el efecto local y extendido de la descarga y se pueden diseñar las medidas para limitar tales efectos. El cumplimiento de los límites máximos permisibles de la descarga no necesariamente garantiza que el cuerpo receptor no será afectado en su calidad. Es necesario comprender la dinámica de cada vertimiento bajo los diferentes escenarios hidrológicos que se podrían presentar.

- b. Fuentes Difusas

Las fuentes difusas de contaminación de aguas superficiales en una operación minera pueden ser diversas y van desde el arrastre de partículas y contaminantes presentes en los suelos por acción de la precipitación y la escorrentía superficial hasta el arrastre de contaminantes atmosféricos hacia los cuerpos de agua por efecto de la precipitación.

La evaluación de fuentes difusas requiere de una adecuada comprensión de la presencia de contaminantes no localizados (por ejemplo: áreas de suelos contaminados, afloramientos de aguas subterráneas contaminadas, etc.), así como de las fuentes de contaminación atmosférica que podrían incidir en la calidad de las

aguas (por ejemplo: emisiones de SO₂ y material particulado a partir de procesos de fundición).

4.2.2 Evaluación de los impactos en la calidad del aire por las operaciones mineras

La medición de los contaminantes provee un criterio cuantitativo sobre si los estándares de calidad del aire se están superando o logrando y en qué grado. La medición es necesaria para determinar si algunos cambios nocivos en los niveles de contaminación están ocurriendo como resultado de las actividades del hombre. Sirve para determinar el cumplimiento de las normas de calidad del aire y para diagnosticar las condiciones de un área antes de construir una nueva fuente de contaminación.

Para una muestra colectada el tiempo promedio corresponde al tiempo en que se empleó en el muestreo y al tiempo de respuesta del instrumento de medición. Respecto a un contaminante como el dióxido de azufre, dicha respuesta es rápida y los picos atmosféricos de corta duración de este contaminante puede ser el factor crítico en la determinación de los daños sobre la salud. En cuanto al plomo, la respuesta es lenta y el promedio a largo plazo es necesario. Estas diferencias se reflejan en los estándares de la calidad del aire.

Un inventario de emisiones identifica todos los contaminantes de preocupación emitidos por una instalación y especifica las cantidades y el estado físico en el que son liberadas. Este tipo de análisis permite evaluar el impacto potencial de una instalación sobre el medio circundante. En muchos casos, también permite la evaluación de las emisiones de una instalación comparándolas con los límites de emisiones. Además, cuando los resultados del inventario son usados en el modelamiento de dispersión, tal como se describe a continuación, el impacto de la instalación puede compararse con los estándares de calidad de aire ambiental.

A fin de completar un inventario de emisiones, deben identificarse y evaluarse todos los contaminantes. Bajo ciertas circunstancias, puede ser que algunas fuentes no emitan contaminantes de preocupación.

En el caso de un inventario, para cada fuente de contaminantes deberán proporcionarse parámetros para la descarga. En el caso de chimeneas, estos parámetros incluyen:

1. Índice de flujo volumétrico de descarga, temperatura y contenido de humedad.
2. Concentraciones de oxígeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono (especies diluyentes).

Una vez identificadas todas las fuentes de emisiones y sus contaminantes potenciales, deberán estimarse los índices de emisión. Existen muchas técnicas para la estimación de índices de emisiones.

Un inventario de emisiones completo comprenderá lo siguiente:

1. Definición del área geográfica circundante a la instalación.
2. Lista completa de todos los contaminantes emitidos.
3. Lista completa de todas las fuentes de contaminantes o categorías de fuentes.
4. Descripción detallada de cada fuente, incluyendo los parámetros de chimeneas.
5. Definición del intervalo de tiempo usado para la evaluación (emisiones de media hora, por hora o anuales).
6. Explicación de cómo se estimaron todas las emisiones.

Los inventarios de emisiones pueden describir las emisiones bajo condiciones normales de operación, así como bajo el peor escenario de emisiones. Por lo general, los inventarios de emisiones preparados como soporte para la obtención de permisos deben describir los escenarios de emisiones máximas (peor escenario).

Para las emisiones de polvo de una operación minera, las peores condiciones pueden ser modeladas asumiendo lo siguiente:

1. Período de actividad máxima
2. Atmósfera estable
3. Equipos operando continuamente
4. Tráfico continuo
5. Receptores sensibles cercanos
6. Velocidad baja del viento
7. Ausencia de precipitaciones
8. Ausencia de árboles que capturen las emisiones
9. Ausencia de aplicación de metodologías de control

Existen una variedad de métodos disponibles para estimar las emisiones de fuentes identificadas. Algunos métodos son mejores que otros en la estimación de emisiones de determinadas fuentes. Además, la exactitud de los estimados de las emisiones variará según el método, con algunos estimados significativamente más confiables que otros. A continuación se enumeran y discuten en mayor detalle cinco técnicas de estimación de emisiones comúnmente aplicadas:

1. Evaluación de Fuentes (incluyendo Monitoreos de Emisiones Continuas)
2. Balances de Masa
3. Software/Modelos
4. Factores de Emisiones
5. Cálculos de Ingeniería

El uso de monitoreo de emisiones continuas y la selección de la técnica apropiada se basarán en la información disponible, calidad requerida de los resultados y el costo relativo de cada técnica. La evaluación de fuentes deberá ser de primera prioridad ya que estos métodos generan datos más precisos que los que pueden obtenerse usando los factores de emisión para las fuentes puntuales de procesos.

Sin embargo, para algunas fuentes y parámetros secundarios, es aceptable el uso de factores de emisión reconocidos.

4.3 Diagnóstico ambiental de las operaciones mineras

4.3.1 Calidad de aguas

Los impactos hidrológicos típicos de las operaciones mineras se derivan de las siguientes actividades:

1. La construcción de nuevos reservorios

Luego del cierre de la mina, frecuentemente se deja inundar el tajo abierto hasta el nivel estático del agua y éste se convierte en un reservorio. Asimismo, como resultado de las actividades mineras se ha creado un depósito de relaves, una poza de clasificación, un reservorio de agua fresca, pozas de sedimentación y pozas para el control de aguas pluviales.

Los reservorios cambian el régimen hidrológico de caudales atenuando los caudales máximos e incrementando los caudales bajos. Como regla general, un reservorio nuevo en la cuenca constituye un impacto hidrológico positivo.

2. Las derivaciones de caudal

Las actividades mineras ocasionan cambios paisajísticos locales y la reorientación del drenaje. Algunos ejemplos de derivaciones del caudal son los siguientes:

- a. Un tajo abierto en la parte superior de una colina, además de convertirse en un reservorio que afecta el régimen del caudal, modifica los límites del área de drenaje.
- b. La escorrentía no contaminada aguas arriba de un depósito de relaves a menudo se deriva ya sea a las cuencas adyacentes o a las secciones aguas abajo del mismo curso de agua. En cualquier caso, se reduce el flujo de la sección del curso de agua inmediatamente aguas abajo de la estructura de derivación.
- c. El drenaje proveniente de un botadero de roca de desmonte o de las pilas del mineral de baja ley es derivado para tratamiento.

La importancia del impacto hidrológico de las derivaciones es específica al proyecto y se debe evaluar en cada caso individual. La mayor derivación del caudal se construye, por lo general, alrededor del depósito de relaves (i.e., las derivaciones alrededor de los botaderos de roca de desmonte son generalmente más pequeñas). La derivación de la escorrentía alrededor de un depósito de relaves es una buena práctica de manejo de aguas que ayuda a reducir la contaminación del agua y los requerimientos de tratamiento. El impacto hidrológico de la derivación de aguas alrededor de los relaves es menor que los potenciales impactos negativos en la calidad del agua, los cuales se compensan por el beneficio de menores requerimientos de tratamiento.

El impacto hidrológico de las derivaciones de caudal se puede evaluar mediante el cálculo de las áreas de drenaje. El porcentaje del incremento o la reducción del área de la cuenca es un indicativo del respectivo incremento o la reducción esperada de la escorrentía.

3. Las transferencias de caudal debido al bombeo (ejemplo: desaguado del tajo)
Se utiliza el bombeo cuando no se pueden lograr las derivaciones del caudal por gravedad (por ejemplo: se debe transferir el agua a una elevación mayor). Algunos ejemplos de transferencia de aguas mediante bombeo en los proyectos mineros son los siguientes:
 - a. La fuente de suministro de agua y el punto descarga de efluentes se ubican en cuencas distintas (la mina extrae agua de una cuenca y luego descarga el efluente en una cuenca distinta).
 - b. El drenaje de la mina. El cono de depresión de las aguas subterráneas a menudo se extiende más allá de la divisoria original de la cuenca y el agua colectada de dos cuencas se descarga en una de ellas. Esto da lugar a una redistribución del caudal entre las cuencas.
 - c. El bombeo de la escorrentía colectada de los botaderos de roca de desmonte a una planta de tratamiento con la posterior descarga a una cuenca diferente.
Generalmente, el bombeo es una actividad de corto a mediano plazo que concluye luego del cierre de la mina.

4. Los cambios en el uso del suelo

Los cambios en el uso del suelo incluyen el desbroce, la renivelación, la pavimentación, la instalación de revestimientos impermeables (por ejemplo: debajo de las plataformas de lixiviación). Dependiendo de las condiciones específicas del proyecto, en hidrología se puede cuantificar o ignorar el efecto del cambio en el uso de la tierra.

Por ejemplo, la instalación de un revestimiento de plataforma de lixiviación puede afectar el flujo base en una quebrada pequeña. Este efecto se puede cuantificar.

El cambio de la escorrentía superficial de las áreas perturbadas. Mientras que la deforestación y la renivelación del terreno cambian el coeficiente de escorrentía, las áreas afectadas son generalmente pequeñas y el resultante impacto hidrológico es local. No es práctico tratar de cuantificar este impacto. La evaporación cada vez mayor de las superficies de las pozas se compensa mediante la precipitación directa sobre tales superficies. Considerando que las pozas de la mina ocupan un pequeño porcentaje de las áreas de cuenca, el cambio neto puede ser poco significativo para la escorrentía desde la cuenca. Es más importante el efecto regulador de una nueva poza.

4.3.2 Calidad de aire

Los impactos evaluados se manifiestan principalmente en:

a. Inversión térmica

El fenómeno de inversión térmica se presenta cuando en las noches despejadas el suelo ha perdido calor por radiación, las capas de aire cercanas a él se enfrían más rápido que las capas superiores de aire lo cual provoca que se genere un gradiente positivo de temperatura con la altitud (lo que es un fenómeno contrario al que se presenta normalmente, la temperatura de la troposfera disminuye con la altitud). Esto provoca que la capa de aire caliente quede atrapada entre las 2 capas de aire frío sin poder circular, ya que la presencia de la capa de aire frío cerca del suelo le da gran estabilidad a la atmósfera porque prácticamente no hay convección térmica, ni fenómenos de

transporte y difusión de gases y esto hace que disminuya la velocidad de mezclado vertical entre la región que hay entre las 2 capas frías de aire.

El fenómeno climatológico denominado inversión térmica se presenta normalmente en las mañanas frías sobre los valles de escasa circulación de aire en todos los ecosistemas terrestres. También se presenta este fenómeno en las cuencas cercanas a las laderas de las montañas en noches frías debido a que el aire frío de las laderas desplaza al aire caliente de la cuenca provocando el gradiente positivo de temperatura.

Cuando se emiten contaminantes al aire en condiciones de inversión térmica, se acumulan (aumenta su concentración) debido a que los fenómenos de transporte y difusión de los contaminantes ocurren demasiado lentos, provocando graves episodios de contaminación atmosférica de consecuencias graves para la salud de los seres vivos.

La inversión térmica es un fenómeno peligroso para la vida cuando hay contaminación porque al comprimir la capa de aire frío a los contaminantes contra el suelo la concentración de los gases tóxicos puede llegar hasta 14 veces más.

Generalmente, la inversión térmica se termina (rompe) cuando se calienta el suelo y vuelve a emitir calor lo cual restablece la circulación normal en la troposfera.

b. Lluvia ácida

En la atmósfera los óxidos de nitrógeno (NO_x) y azufre (SO_x) son convertidos en ácido nítrico y sulfúrico que vuelven a la tierra con las precipitaciones de lluvia o nieve (lluvia ácida). Otras veces, aunque no llueva, van cayendo partículas sólidas con moléculas de ácido adheridas (deposición seca).

Los efectos de la lluvia ácida se presentan en:

- Ecosistemas acuáticos.
- En ellos está muy demostrada la influencia negativa de la acidificación. La reproducción de los animales acuáticos es alterada, hasta el punto de que muchas especies de peces y anfibios no pueden subsistir en aguas con pH

inferiores a 5,5. Especialmente grave es el efecto de la lluvia ácida en lagos situados en terrenos de roca no caliza, porque cuando el terreno es calcáreo, los iones alcalinos son abundantes en el suelo y neutralizan, en gran medida, la acidificación; pero si las rocas son granitos, o rocas ácidas pobres en cationes, los lagos y ríos se ven mucho más afectados por una deposición ácida que no puede ser neutralizada por la composición del suelo.

- Ecosistemas terrestres.

- La influencia sobre las plantas y otros organismos terrestres no está tan clara, pero se sospecha que puede ser un factor muy importante de la llamada “muerte de los bosques” que afecta a grandes extensiones de superficies forestales en todo el mundo.

- Edificios y construcciones.

- La corrosión de metales y construcciones es otro importante efecto dañino producido por la lluvia ácida. Muchos edificios y obras de arte situadas a la intemperie se están deteriorando decenas de veces más aprisa que lo que lo hacían antes de la industrialización y esto sucede por la contaminación atmosférica, especialmente por la deposición ácida.

c. Visibilidad

La presencia de contaminantes en la atmósfera produce la absorción y dispersión de la luz solar, acompañados de una notable reducción de la visibilidad.

Los aerosoles de tamaños comprendidos entre 1,4 y 0,8 micras son los que tienen una mayor influencia en la dispersión de la luz solar, debido a la proximidad de su tamaño a la longitud de onda de la luz visible.

Se ha observado una estrecha relación entre la disminución de la visibilidad y la presencia de sulfatos en la atmósfera.

Los gases presentes normalmente en la atmósfera no absorben la luz visible.

El NO_2 en concentraciones altas puede tener un efecto significativo ya que absorbe la franja azul-verde del espectro visible de la radiación solar.

Consecuencia de esta absorción es el que la atmósfera de las grandes ciudades

adquiera una coloración amarilla-parduzca-rojiza cuando se presentan concentraciones de NO₂ elevadas.

d. Erosión

El viento es un eficiente agente de erosión y su acción, particularmente en zonas de climas áridos, semiáridos y desérticos, es responsable del transporte y deposición de grandes volúmenes de sedimentos con desarrollo de un paisaje eólico típico.

El viento transporta las partículas de los suelos de tres maneras:

- Por arrastre: las partículas más gruesas (500 - 2000 micrones).
- Por saltación: las partículas medianas (100 - 500 micrones).
- En suspensión: las partículas pequeñas o livianas (< 100 micrones).

La erosión eólica se ejerce mediante dos procesos: Abrasión y deflación.

Cuando las partículas sueltas que se hallan sobre la superficie del suelo son barridas, arrastradas o levantadas por el aire, estamos hablando de deflación (derivado del latín «soplar»); este proceso actúa donde la superficie del terreno está completamente seca y recubierta de pequeños granos de arena sueltos procedentes de la meteorización de la roca o previamente depositadas por el agua en movimiento, el hielo o las olas.

Por lo tanto, los cursos de los ríos secos, las playas y las áreas recientemente cubiertas por depósitos glaciares son muy susceptibles a la deflación; este proceso eólico de deflación es selectivo. Las partículas más finas, las que constituyen el barro, la arcilla y los limos, son levantadas muy fácilmente y transportadas en suspensión. Los granos de arena se mueven únicamente si el viento es fuerte y tienden a desplazarse a poca altura del suelo. La grava y los cantos de 5 a 8 mm de diámetro suelen rodar por el suelo llano cuando el viento es muy intenso, pero no recorren grandes distancias ya que es muy fácil que queden retenidos en agujeros.

CAPÍTULO V

PRESENTACIÓN DE CASOS REALES

5.1 Implementación del Plan de Cierre del Depósito de Relaves Mayoc de Larizbeascoa & Zapata SAC

5.1.1 Antecedentes

El depósito de relaves Mayoc se ubica políticamente en el distrito de San Mateo, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, a una altitud promedio de 3000 msnm, aproximadamente en el Km 92 de la Carretera Central, en la Concesión de Beneficio Tamboraque.

Este depósito operó bajo la administración de la empresa Negociación Minera Lisandro Proaño S.A., desde septiembre de 1998 hasta septiembre del 2000, fecha en que se ordena la paralización de dicho depósito por reclamos de la población, en particular de la localidad conocida como “Glorieta de Mayoc” ubicada a menos de 100 m de distancia del depósito. En el año 2001, Wiese Sudameris asume la titularidad de la Concesión y encarga la administración a la empresa Larizbeascoa & Zapata S.A.C. (L&Z).

En el año 2001 L&Z aplica sobre la superficie expuesta del depósito un polímero supresor de polvos (Geolock), para restringir y controlar las emisiones; sin embargo persisten los reclamos de la población.

En el año 2003 L&Z decide trasladar los relaves de Mayoc hacia los depósitos de relaves N° 1 y 2 de Tamboraque, lo que fue impedido por el

Ministerio de Energía y Minas por no contar con el Estudio de Impacto Ambiental correspondiente.

Mediante carta del 21 de abril del 2005, con registro No. 1528607, Wiese Sudameris Leasing S.A. presenta a la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas (DGAAM-Minem) el Plan de Cierre del Depósito de Relaves Mayoc.

Con carta del 23 de mayo del 2005 y registro N° 1534206, BWS Leasing presenta la absolución de las observaciones contenidas en el Informe N° 023-2005-MEM-AAM/LS/AL.

Mediante Resolución Directoral N° 230-2005/MEM-AAM de fecha 06 de junio de 2005, la Dirección General de Minería aprueba el Plan de Cierre del depósito de relaves de Mayoc. Las medidas de cierre propuestas, se resumen en la **Tabla N° 5.1.1.**

Tabla 5.1.1.- Resumen de las medidas del Plan de Cierre del Depósito de Relaves Mayoc

Lugar	Depósito de Relaves	Medidas de cierre
Mayoc	Mayoc	4 Inertización del material de relave. 5 Traslado del material a otro lugar, para su disposición definitiva. 6 Retiro de todos los relaves y de las geomembranas. 7 Limpieza, nivelación y cobertura del terreno afectado. 8 Revegetación del área disturbada.
Tamboraque	N° 1 y N° 2	1. Disposición de los relaves de Mayoc en los Depósitos N° 1 y 2 de Tamboraque.

Fuente: D&E Desarrollo y Ecología SAC

5.1.2 Monitoreo de calidad del aire

- Las muestras se tomaron en los puntos de control, frecuencia y parámetros establecidos en el Plan de Monitoreo.

Compromiso

Se considera establecer tres puntos de monitoreo de calidad de aire (ver **anexo N° 2**) según ubicación, frecuencia y parámetros de muestreo establecidos en el Plan de Cierre. Ver **Tabla N° 5.1.2**.

Tabla 5.1.2.- Ubicación, frecuencia y parámetros de monitoreo en las estaciones de control de aire

Punto de control	Descripción	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)	Frecuencia de monitoreo	Parámetros
		Norte	Este			
E-1	Glorieta de Mayoc, Barlovento del depósito Mayoc.	8 699 188	358 030	3084	Continuo con cambio de filtro cada 24 horas	a) PM10 b) Pb c) As
E-2	Estación ferrovías Tamboraque Sotavento del depósito Mayoc.	8 698 594	358 197	2934	24 horas cada tres días	a) PM10 b) Pb c) As
E-3	Entorno de planta concentradora Tamboraque, en las proximidades de los depósitos de relaves N° 1 y 2.	8 697 704	358 037	3064	24 horas cada tres días	a) PM10 b) Pb c) As

Fuente: D&E Desarrollo y Ecología SAC

El monitoreo de la calidad del aire se realiza dos semanas previas al traslado de los relaves, durante el traslado de los relaves y dos meses después del traslado de los mismos.

El monitoreo de aire lo realizó el titular, a través del laboratorio BSI Inspectorate Perú S.A.C. acreditado ante INDECOPI, el cual utilizó el método que corresponde a lo descrito en el Apéndice J Referencia del Método de Determinación de Material Particulado como PM10 en la Atmósfera (Reference Method of the Determination of Particulate Matter as PM10 in the Atmosphere, Federal Register. Vol 52. N° 126. July 1, 1987). El rango de

flujo aceptable para esta metodología de medición es de 1,03 a 1,24 m³/min, para un período de medición de 24 horas \pm 10%.

El titular minero empleó en el monitoreo de aire, muestreadores de alto volumen con cabezal fraccionador de partículas de diámetro inferior a 10 micras, del tipo impactación selectiva y control de flujo volumétrico.

En las Tablas N° 5.1.3, 5.1.4 y 5.1.5, se presentan los resultados del monitoreo desde el mes de julio '05 hasta el 04 de marzo '06.

**Tabla N° 5.1.3.- Resultados de monitoreo de calidad de aire Punto E-1
(antes - durante - después de la remoción de relaves)**

Fecha de monitoreo	Parámetros		
	Partículas en Suspensión (PM-10) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	As ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Antes			
Julio 2005	66	0,08	0,02
Agosto 2005	77	0,09	0,05
Durante			
Setiembre 2005	74	0,09	0,08
Octubre 2005	98	0,09	0,10
Noviembre 2005	82	0,10	0,10
Diciembre 2005	65	0,05	0,03
Enero 2006	45	0,02	0,01
Después			
Febrero 2006	34	0,03	0,01
Marzo 2006	50,5	0,03	0,01
NMP¹	350²	1,5³	6²
ENCA⁴	150⁵	1,5⁶	--

Fuente: SVS Ingenieros S.A. Informe de Supervisión de Monitoreo de la Calidad del Aire y Agua Remoción de Relaves de Mayoc.

**Tabla N° 5.1.4.- Resultados de monitoreo de calidad de aire Punto E-2
(antes – durante – después de la remoción de relaves)**

Fecha de monitoreo	Parámetros		
	Partículas en Suspensión (PM-10) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	As ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Antes			
Julio 2005	75	0,09	0,02
Agosto 2005	95	0,14	0,04
Durante			
Setiembre 2005	89	0,10	0,04
Octubre 2005	117	0,16	0,04
Noviembre 2005	97	0,11	0,04
Diciembre 2005	62	0,06	0,02
Enero 2006	43	0,03	0,02
Después			
Febrero 2006	40	0,03	0,01
Marzo 2006	45,5	0,03	0,01
NMP¹	350²	1,5³	6²
ENCA⁴	150⁵	1,5⁶	-

Fuente: SVS Ingenieros S.A . Informe de Supervisión de Monitoreo de la Calidad del Aire y Agua Remoción de Relaves de Mayoc.

**Tabla N° 5.1.5.- Resultados de monitoreo de calidad de aire Punto E-3
(antes – durante – después de la remoción de relaves)**

Fecha de monitoreo	Parámetros		
	Partículas en Suspensión (PM-10) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	As ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Antes			
Julio 2005	28	0,05	0,02
Agosto 2005	46	0,05	0,04
Durante			
Setiembre 2005	44	0,08	0,12
Octubre 2005	66	0,11	0,08
Noviembre 2005	65	0,10	0,13
Diciembre 2005	47	0,05	0,05
Enero 2006	29	0,03	0,21
Después			
Febrero 2006	23	0,03	0,02
Marzo 2006	23,5	< 0,02	0,01
NMP¹	350²	1,5³	6²
ENCA⁴	150⁵	1,5⁶	—

Fuente: SVS Ingenieros S.A. Informe de Supervisión de Monitoreo de la Calidad del Aire y Agua Remoción de Relaves de Mayoc.

1 Niveles Máximos Permisibles establecidos en la RM. N° 315-96-EM/VMM.

2 Concentración media aritmética diaria del anexo 3 de la RM. N° 315-96 EM/VMM.

3 Concentración mensual de plomo del anexo 3 de la RM. N° 315-96-EM/VMM.

4 ENCA: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (ENCA) establecido en el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM.

5 Concentración durante 24 horas – ENCA

6 Concentración mensual de plomo – ENCA

5.1.3 Discusión de resultados

1. Los resultados de PM10, As y Pb se compararon con las siguientes normas:

RM. N° 315-96-EM/VMM, que indica los niveles máximos permisibles que debe tener la fuente de emisión (efluente gaseoso) y su incumplimiento es sancionable.

DS. N° 074-2001-PCM, que indica los valores límites permisibles que debe tener el cuerpo receptor al que es emitido el efluente gaseoso y su incumplimiento no es materia de sanción.

2. Los valores de PM10, As y Pb de todas las estaciones de monitoreo de aire, obtenidos en el período comprendido entre julio 2005 – marzo 2006, se encuentran por debajo de los niveles máximos permisibles.
3. Se observa que, de manera persistente, las más altas concentraciones de PM-10 se dieron en la estación de ferrovías E-2. Esta estación se encuentra permanentemente influenciada por la circulación de trenes con destino a Lima y a Huancayo (entre 4 y 8 unidades por día).
4. En el período comprendido entre julio y octubre del 2005, se observó un incremento sostenido en las concentraciones de arsénico en la estación E-1 Mayoc, aunque en un nivel bastante distante del valor límite permisible, para luego decrecer aquellas de manera gradual conforme se hicieron presentes las precipitaciones pluviales de temporada.
5. Durante el período de operaciones se observa incremento de PM10, Pb y As, comparando con los generados antes y después de dicho periodo.

5.1.4 Conclusiones

El monitoreo de aire realizado durante la Auditoría Ambiental, ha permitido determinar que los valores de PM10, As y Pb, en las tres estaciones de monitoreo, se encuentran por debajo de los niveles máximos permisibles (RM. N° 315-96-EM/VMM) y los valores límites permisibles (DS. N° 074-2001-PCM).

5.2 Supervisión Especial de Monitoreo Ambiental de efluentes minero-metalúrgicos del ámbito geográfico Huancavelica-Junín

5.2.1 Introducción

Mediante el Proceso de Selección N° 001-2008-OSINERGMIN-GFM convocado por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, D&E Desarrollo y Ecología S.A.C. desarrolló la Supervisión Especial de monitoreo ambiental de efluentes minero-metalúrgicos en el ámbito geográfico de Huancavelica – Junín.

El monitoreo involucró a las siguientes unidades mineras (ver **anexos N° 3 y 4**):

<i>N°</i>	<i>Unidades</i>	<i>Empresa minera</i>
1	U.Ps. Andaychagua, Carahuacra y San Cristóbal / Mahr Túnel	Volcan Compañía Minera S.A.A.
2	Complejo Metalúrgico La Oroya	Doe Run Perú S.R.L.
3	U.Ps. Julcani y Recuperada	Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.
4	U.E.A. Huachocolpa a Uno	Compañía Minera Caudalosa S.A.
5	U.E.A. San Genaro	Castrovirreyna Compañía Minera S.A.

5.2.2 Objetivos

- 1) Verificar si los efluentes minero metalúrgicos de las unidades de producción: San Cristóbal/Mahr Túnel, Carahuacra, Andaychagua, Julcani y Recuperada y las unidades mineras: Complejo Metalúrgico La Oroya, Huachocolpa Uno y San Genaro, vienen cumpliendo con los límites máximos permisibles del sector minero.
- 2) Verificar la calidad de las aguas de los ríos Yauli, Mantaro, Andaychagua, Opamayo y Huachocolpa, así como de las lagunas Choclococha y Orccocochoa.
- 3) Estimar el posible impacto de los efluentes de las empresas minero-metalúrgicas en la calidad ambiental de los cuerpos receptores mencionados.

5.2.3 Normatividad

- a. Ley N° 28694. Ley que transfiere competencias de supervisión y fiscalización de las actividades mineras al Osinergmin.
- b. Reglamento de Consejo Directivo N° 324-2007-OS-CD. Reglamento de Supervisión de las Actividades Energéticas y Mineras de Osinergmin.
- c. Resolución del consejo Directivo del Osinergmin N° 732-2007-OS/CD. Se autoriza a la Gerencia de Fiscalización Minera a desarrollar el programa de supervisión especial de monitoreo ambiental a nivel nacional.
- d. Ley N° 27474. Ley de Fiscalización de las Actividades Mineras.
- e. Ley N° 17752. Ley General de Aguas.
- f. D.S. N° 07-83-SA. Valores Límites para cuerpos de agua (Reglamento de la Ley General de Agua).
- g. D.S. N° 002-2008-MINAM ECA, Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.
- h. D.S. N° 049-2001-EM Reglamento de Fiscalización de las Actividades Mineras.
- i. R.M. N° 011-96-EM/VMM. Niveles Máximos Permisibles de Emisión de Efluentes Líquidos para las Actividades Minero-Metalúrgicas.
- j. R.D. N° 353-2000-EM/VMM. Aprueban escalas de multas y penalidades a aplicarse por incumplimientos de disposiciones del T.U.O. de la Ley General de Minería y sus normas reglamentarias.
- k. Otras normativas internacionales tomadas como criterio de comparación:
 - Food and Agriculture Organization (FAO). Rango de control de calidad para aguas de riego.

5.2.4 Metodología

1. *Pre campo*

Los puntos de toma de muestra se seleccionaron de acuerdo a la información obtenida de: reportes trimestrales de calidad de aguas y efluentes, de 2005 a la fecha, de los puntos de monitoreo registrados en el Sistema de Información

Ambiental de la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Minem, informes de fiscalización y supervisiones especiales de las normas ambientales realizados en años 2005, 2006 y 2007, reportes de Evaluación Sanitaria realizados por la Dirección General de Salud Ambiental (Digesa) y la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (DESA) Junín y Huancavelica, cartografía u otros documentos relacionados.

El Osinergmin procedió con la evaluación y aprobación, en cada campaña, de los puntos de monitoreo propuestos D&E Desarrollo y Ecología S.A.C.

El trabajo se estructuró en base a la formación de dos (02) cuadrillas, cada una integrada por un (01) Supervisor y dos (02) operadores del laboratorio. Posteriormente, se realizó la distribución diaria de los puntos de cuerpos receptores y efluentes aprobados, mediante la elaboración del cronograma de monitoreo. En esta etapa, se solicitaron los servicios de muestreo y análisis al laboratorio Inspectorate Services Perú S.A.C. Como parte del seguimiento y control de calidad al laboratorio, se verificó la preparación de los materiales y equipos a emplear en campo: multiparámetros y correntómetros calibrados, preservantes, refrigerantes, frascos, soluciones buffers, bombas de filtración y equipos de protección personal de los operadores. Asimismo, de los siguientes documentos: etiquetas, cadenas de custodia, formatos de campo, formatos de verificación de las lecturas de pH y certificados de vigencia de las soluciones buffers.

2. *Trabajo de campo*

Para la realización del trabajo de campo en cada campaña, el Osinergmin procedió con la reprogramación diaria del cronograma de monitoreo.

Esta etapa consistió en la medición de parámetros fisicoquímicos de campo: pH, temperatura del agua, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y caudal; asimismo, se recolectaron muestras de aguas de los cuerpos receptores y de los efluentes minero metalúrgicos seleccionados. Para garantizar la confiabilidad de los resultados se efectuaron las siguientes pautas: preservación de muestras, etiquetado, almacenamiento adecuado,

empaquetamiento, elaboración de cadenas de custodia y transporte de las muestras dentro de los plazos establecidos para los parámetros: sólidos totales en suspensión y metales disueltos/totales.

Los supervisores se encargaron de identificar claramente el punto de toma de muestra, así como, verificar el trabajo realizado por los operadores el laboratorio, mediante los procedimientos de cadena de custodia, asegurándose la integridad de la muestra desde antes de la toma hasta la emisión del informe. Ello implicó hacer un seguimiento del proceso de posesión y manipulación de la muestra desde el momento que fue tomada hasta el reporte de su análisis.

3. *Post campo*

Se verificó que el laboratorio proceda con el análisis de las muestras de cada una de las campaña de monitoreo de acuerdo a los tiempos permitidos y parámetros solicitados en la etapa de pre-muestreo.

El laboratorio procedió al análisis de sólidos totales en suspensión (STS) y de multielementos mediante los métodos de análisis APHA y EPA que se presentan en la **Tabla N° 5.2.1**:

Tabla N° 5.2.1.- Métodos de análisis de la American Public Health Association (APHA) y la Environmental Protection Agency (EPA)

N°	Parámetros	Métodos
1	Sólidos totales en suspensión	APHA AWWA WEF 21st Edition, 2005. Pages 2-58 a 2-59. 2540-D Solids Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.
2	Metales Totales disueltos y	EPA 200.7 Determination of Metals and Trace Elements in Water, and Waste by <u>Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry</u> . Revision 4,4. "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999.

Garantía de control de calidad (QA)/Control de calidad (QC)

demás se verificó el tratamiento de datos con fines QA/QC de la etapa de muestreo y la aplicación de la garantía de calidad de los procedimientos analíticos de laboratorio. Asimismo, se evaluaron los resultados analíticos finales mediante el balance de carga y/o comparación entre las lecturas de conductividad y las concentraciones iónicas reportadas.

Luego de revisados los informes de ensayo emitidos por el laboratorio, los supervisores se encargaron de preparar el informe final de los muestreos, presentando los datos obtenidos de manera tabulada y graficada a fin de observar la variabilidad en el tiempo de las concentraciones de los parámetros medidos y analizados.

5.2.5 Programa de monitoreo

Tabla N° 5.2.2.- Programa de Monitoreo Desarrollado

Ámbito Geográfico	Zona	Empresa Minera	Unidad Minera	Monitoreos realizados											
				Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre			
Huancavelica-Junín	Junín	Volcan Compañía Minera SAA	Andaychagua	26 abril - 02 mayo (7 días)	---	20 - 26 junio (7 días)	---	19 - 25 agosto (7 días)	---	20 - 26 octubre (7 días)	---	04 - 09 diciembre (6 días)			
			Carahuacra												
			San Cristóbal/Mahr Túnel												
			Doe Run Perú SRL	Complejo Metalúrgico La Oroya											
			Castrovirreyna Compañía Minera SA	San Genaro											
		Huancavelica	Compañía de Minas Buenaventura SAA	Julcani	---	19 - 26 julio (8 días)	---	26 setiembre - 02 octubre (7 días)	---	13 - 20 noviembre (8 días)	---	---			
	Recuperada														
	Huachocolpa Uno														
			Compañía Minera Caudalosa SA		26 mayo - 02 junio (8 días)	---									

Fuente: D&E Desarrollo y Ecología SAC

**Tabla N° 5.2.5.- Cuerpo Receptor
Zona Huancavelica**

Julcani	R-10: Margen izquierda del río Opamayo, aguas abajo de la zona de operaciones, a la altura de la quebrada Huaycoya.	pH, Pb, Fe	pH, Fe	pH	pH	Cumple los VL	pH, Ni	Fe	Fe	Hg, Fe
Recuperada	R-11: Río Pallcapampa, aguas arriba de la zona de operaciones.	pH, Pb, Ni, Fe	pH, Fe	pH, Ni	pH	Cumple los VL	Ni	Cumple los VL	Cumple los VL	Cumple los VL
	R-12: Río Pallcapampa, aguas abajo del área de operaciones.	CE, As, Ni, Fe	CE, OD, As, Fe	CE, As, Ni, Fe	CE, OD, As, Fe	CE, As, Fe	CE, As, Ni, Fe	CE, OD, STS, As, Fe	pH	CE, As, Fe

Fuente: D&E Desarrollo y Ecología SAC

*Parámetros comparados con la Ley General de Aguas. Clase III. D.S. N° 007-83-SA, a excepción de:
pH y Fe: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Categoría 3 D.S. N° 002-2008-MINAM
STS: Food and Agriculture Organization (FAO). Rango de control de calidad para aguas de riego. FAO

5.2.6 Conclusiones

De los resultados obtenidos de las campañas de monitoreo ambiental en las zonas de Huancavelica y Junín (SEMA 2008), se concluye que los efluentes minero-metalúrgicos incumplen los Límites Máximos Permisibles del sector minero en algún momento (art. 4º de la RM N° 011-96-EM/VMM).

Se verificó la calidad de las aguas de los ríos Yauli, Mantaro, Huari y Opamayo (tributarios de la cuenca del Mantaro) y se concluye que los puntos de cuerpos receptores evaluados incumplen, en algunos parámetros, los valores límites establecidos por la Ley General de Aguas (LGA), Clase III; estos cuerpos receptores se encuentran en las inmediaciones o dentro de las áreas de operaciones de las unidades mineras.

De las comparaciones de los resultados de las fiscalizaciones 2005-I a 2007 con los Límites Máximos Permisibles del sector minero (RM N° 011-96-EM/VMM), se puede concluir que los efluentes presentan parámetros problemas reincidentes durante alguno(s) de los años fiscalizados y el monitoreo ambiental 2008 y a los que se ha denominado “parámetros problema”.

Los efluentes de las empresas mineras que incumplieron los Límites Máximos Permisibles se les dio Inicio de Procedimiento Administrativo Sancionador.

Los resultados fueron presentados al OSINERGMIN y sirven de referente para que las empresas mineras involucradas en el programa de monitoreo implementen medidas de mitigación y/o planes de manejo ambiental con la finalidad de reducir los niveles de contaminación de sus efluentes.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- 6.1.1 Los monitoreos ambientales de la calidad del agua y aire permiten diagnosticar y evaluar los daños ambientales y de salud de la población mediante la cuantificación de los contaminantes presentes en una determinada área de estudio.
- 6.1.2 Para determinar el cumplimiento de los valores límites (cuerpos receptores) y límites máximos permisibles (efluentes líquidos y gaseosos) se realiza la comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo respecto a la normatividad nacional.
- 6.1.3 Por su formación académica, el químico es el profesional idóneo para realizar la toma de muestras y/o la supervisión de las actividades del monitoreo ambiental, diagnóstico y evaluación de los contaminantes ambientales.
- 6.1.4 Dentro de las actividades desarrolladas por las empresas de consultoría y/o auditoría ambiental, el químico está relacionado con las funciones de coordinación, planificación, ejecución y supervisión del monitoreo y el análisis de resultados para la elaboración del diagnóstico y evaluación de los contaminantes ambientales.

6.2 Recomendaciones

- 6.2.1 Las Instituciones del Estado encargadas de la normatividad ambiental, deben revisar y actualizar los valores límites, límites y/o niveles máximos permisibles de los parámetros contemplados en la legislación del sub-sector minería. Asimismo, se debe incluir la participación del profesional químico en esta actividad por sus conocimientos en el tema.
- 6.2.2 Durante las actividades de fiscalización se deben revisar los métodos que son empleados para controlar las diferentes fuentes de contaminación en la industria minera a fin de evaluar si son los más adecuados para mitigar y/o prevenir los posibles impactos ambientales.
- 6.2.3 Las empresas mineras deberían implementar programas de monitoreo permanentes para conocer las concentraciones existentes de los contaminantes principales.
- 6.2.4 Es importante que exista un control de calidad en cada una de las etapas del monitoreo que garanticen un buen desarrollo de las actividades contempladas en el Plan de Monitoreo, desde el trabajo previo a campo hasta la emisión de los informes de ensayo reportados por el Laboratorio Ambiental.

6.3 **Bibliografía**

- (1) Dirección de Asuntos Ambientales-MEM. Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua. Perú. 1993.
- (2) Dirección de Asuntos Ambientales-MEM. Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones. Perú. 1993.
- (3) D&E Desarrollo y Ecología SAC. Informe N° 29-2006-EEPCA. Perú. 2006.
- (4) D&E Desarrollo y Ecología SAC. Informe N° 46-SEMA-2008. Perú. 2009.
- (5) Guía para la Evaluación de Impactos en la Calidad del Aire por Actividades Minero Metalúrgicas. Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros-Sub-Sector Minería. 2007. PERCAN.
- (6) Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial – UNMSM. Gestión de la Calidad del Aire. Causa, Efectos y Soluciones. Perú. 2004.
- (7) Kilborn Perú SA, Ingeniería de Diseño del Depósito de Relaves Mayoc, Perú, 1997.
- (8) Larizbeascoa & Zapata SAC. Plan de Cierre del Depósito de Relaves Mayoc. Perú. 2005.
- (9) Lorenzo de la Puente Brunke, Legislación Ambiental en la Minería Peruana, Lima, IDEM - DelaPuente Abogados, 2005.
- (10) Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos – Digesa. Perú. 2005.
- (11) Román Ortega, Francisco. Diccionario de medio ambiente y afines. Editorial CONFEMETAL. Madrid España. 1996.
- (12) Sánchez Bravo, Álvaro. Agua: un recurso escaso. ArCiBel Editores SL. 2006. España.
- (13) Small Drinking Water Systems Handbook. Environmental Protection Agency (EPA). USA. 2003.
- (14) SVS Ingenieros S.A. Informe de resultados de monitoreo de calidad de agua y aire remoción de relaves de Mayoc. 2004.