

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL



**ANALISIS SITUACIONAL DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN EL RIO
RIMAC PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA MINERO METALURGICA**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO SANITARIO

Bach. María Milagros Cadillo La Torre

PRESENTACION

Esta Tesis se elaboró con el apoyo de Naciones Unidas (ONU) por intermedio de su Departamento de Asuntos Humanitarios con sede en Ginebra (DHA - GENEVA), representada en el Perú por el Ingeniero Julio Kuroiwa, a quien brindo mi reconocimiento y agradecimiento.

Este trabajo será incorporado al “Programa Nacional para la Prevención y Mitigación de Desastres en el Perú” que se esta llevando a cabo en conformidad con los objetivos de la resolución de las Naciones Unidas sobre la “Decada Internacional de Desastres naturales” - DIRN.

La presente tesis contó también con el apoyo de la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas, quien proporcionó la información base de la presente investigación.

Este estudio aborda la problemática existente como consecuencia de los vertimientos mineros a lo largo del río Rímac, presentándose como una iniciativa en el área, ya que puede generar nuevas líneas de investigación para desarrollar aún más, la normativa nacional.

AGRADECIMIENTOS

- ◆ Al Ing. Fausto Roncal, asesor y amigo, por sus enseñanzas, paciencia y apoyo brindado en la elaboración de la presente tesis.

- ◆ Al Ing. Julio Kuroiwa, asesor técnico principal del Programa de Mitigación de Desastres en el Perú, por su apoyo y continuo seguimiento en la elaboración de la presente tesis.

- ◆ A la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas, por la información base proporcionada.

- ◆ A la Unidad Ambiental de Instituto Cuanto, por sus acertadas sugerencias.

- ◆ A mi familia por el apoyo y colaboración en todo momento, para la elaboración de este estudio.

- ◆ A todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron en la realización de esta tesis en especial a la Srta. Melva Camino.

**ANALISIS SITUACIONAL DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS
EN EL RIO RIMAC PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA MINERO METALURGICA**

INDICE

RELACION DE CUADROS, TABLAS, ESQUEMAS, MAPAS Y GRAFICOS

RESUMEN

CAPITULO I

1.0	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	12
------------	------------------------------	-----------

CAPITULO II

2.0	GENERALIDADES	13
2.1	Antecedentes	13
2.2	Marco legal	24
2.2.1	Legislación nacional	24
2.2.2	Legislación internacional	30
2.3	Conceptos preliminares	34
2.3.1	Metales pesados	34
a.	Cobre	34
b.	Plomo	34
c.	Cadmio	35
d.	Zinc	36
e.	Fierro	36
f.	Manganeso	37
g.	Arsénico	37
2.3.2	Relación entre la precipitación de metales y acidez	38
2.3.3	Trazas de metales en los organismos	42
2.3.4	Factores que afectan la toxicidad producida por los metales	43
2.3.5	Transferencia de los metales pesados a través de la cadena biológica.	44
2.3.6	Relaves	45
2.3.7	Drenaje ácido de mina	46
2.3.8	Riesgo/efecto	46
2.3.9	Impacto	47
2.3.10	Externalidad	48

CAPITULO III

3.0	EL PORQUE DE LA PREOCUPACION POR LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS Y LOS EFECTOS DE LOS METALES PESADOS	49
3.1	Un vistazo " La contaminación de las aguas y sus consecuencias"	49
3.1.1	Impacto sobre la salud humana	49
3.1.2	Impacto sobre la actividad industrial	56
3.1.3	Impacto sobre la actividad agropecuaria	57
3.1.4	Impacto sobre la fauna y flora acuatica	57
3.1.5	Impacto sobre las actividades de recreación y turismo	57

3.2	La contaminación de las aguas y la minería	62
3.3	Comportamiento de los metales pesados en el cuerpo humano	63
	3.2.1 Cobre.	63
	3.2.2 Plomo.	63
	3.3.3 Cadmio.	68
	3.2.4 Zinc.	71
	3.2.5 Fierro.	72
	3.2.6 Manganeso.	74
	3.2.7 Arsénico.	76
3.4	Efectos de los metales pesados en la flora y fauna	80
	3.4.1 Flora	80
	a. Cobre.	82
	b. Plomo.	82
	c. Cadmio.	83
	d. Zinc.	83
	e. Fierro.	83
	f. Manganeso.	83
	3.4.2 Fauna.	84
	a. Cobre.	84
	b. Plomo.	85
	c. Cadmio.	86
	d. Zinc.	87
	e. Fierro.	87
	f. Manganeso.	88

CAPITULO IV

4.0	LA ACTIVIDAD MINERA	91
4.1	La minería en el Perú	91
4.2	Características esenciales de la actividad minera	92
	4.2.1 Etapas del proceso de obtención de metales	93
	a. Exploración	94
	b. Minado	94
	c. Concentración de minerales	95
	d. Metalurgia extractiva	95
	4.2.2 Descripción de los componentes de la mina y su importancia en la contaminación de las aguas	97
	a. Labores subterráneas	97
	b. Tajos abiertos	98
	c. Apilamiento de mineral de desecho (pilas o botaderos)	99
	d. Relaves	100
	e. Concentradora e instalaciones de procesamiento	101
	f. Infraestructura e instalaciones	101
4.3	La minería y la contaminación	101
4.4	La minería en la cuenca del río Rímac	105
4.5	Identificación de las empresas a considerar	108
	4.5.1 Compañía minera Casapalca (Americana)	108
	a. Ubicación acceso y extensión	108
	b. Características de la explotación minera y tratamiento del mineral	108
	c. Disposición de desechos	110
	4.5.2 Empresa minera del centro del Perú (Casapalca)	111
	a. Ubicación acceso y extensión	111
	b. Características de la explotación minera y tratamiento del mineral	111

	c.	Disposición de desechos	113
4.5.3		Negociación minera Lizandro Proaño (Tamboraque)	114
	a.	Ubicación acceso y extensión	114
	b.	Características de la explotación minera y tratamiento del mineral	115
	c.	Disposición de desechos	116
4.5.4		Empresa minera Perubar (Graciela)	116
	a.	Ubicación acceso y extensión	116
	b.	Características de la explotación minera y tratamiento del mineral	117
	c.	Disposición de desechos	117

CAPITULO V

5.0		ZONA Y METODOLOGIA DE ESTUDIO	119
5.1		Zona de estudio	119
	5.1.1	Ubicación	119
	5.1.2	Clima	124
	5.1.3	Ecología	128
	5.1.4	Geología	128
	5.1.5	Suelos	129
	5.1.6	Población	129
	5.1.7	Usos del agua para diversos fines	131
5.2		Período de estudio	134
5.3		Puntos de monitoreo	134
	5.3.1	A lo largo del río	134
	5.3.2	En las minas	136
5.4		Metodología	138
	5.4.1	Metodología de determinación de metales pesados	138
	5.4.2	Manejo de la información	139
	a.	Del río	139
	b.	De las minas	139

CAPITULO VI

6.0		ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	144
6.1		En el río	144
6.2		De las empresas consideradas	167

CAPITULO COMPLEMENTARIO

		CONTROL Y GESTION	187
1.		Técnicas de control del agua	187
	a.	En minas subterráneas	187
	b.	En minería de superficie	188
	c.	En planta de beneficio	188
	d.	En sitio de la mina	189
	e.	En estanque de depósito de desecho	189
2.		Control de drenaje ácido de mina	190
	a.	Mina en operación	190
	b.	Mina cerrada	191
3.		Tratamiento de aguas de desecho	192
	a.	Remoción de ácido libre y metales pesados	192
4.		Procedimientos para el control ambiental - Políticas y enfoques de control ambiental	193

CAPITULO VII	
7.0 CONCLUSIONES	195
7.1 Conclusiones generales	195
7.2 Conclusiones específicas	196
CAPITULO VIII	
8.0 RECOMENDACIONES	199
ANEXO I	
BASE DE DATOS DEL MONITOREO DEL RIO	201
1. Concentración	201
2. Carga	202
ANEXO II	
BASE DE DATOS DE LAS EMPRESAS CONSIDERADAS	220
1. Concentración	220
2. Carga	221
ANEXO III	
RESOLUCIÓN MINISTERIAL N°011-96-EM/VMM	254
Aprueban los límites permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos	254
BIBLIOGRAFIA	260

RELACION DE CUADROS, TABLAS, ESQUEMAS, MAPAS Y GRAFICOS

1. RELACION DE CUADROS

Capítulo II

Cuadro II-I	
Concentración de sustancias tóxicas, 1968	15
Cuadro II-II-a	
Concentración de metales pesados, 1981	16
Cuadro II-II-b	
Concentración de metales pesados, Zona alta - Casapalca, 1981	17
Cuadro II-III	
Concentración de sustancias tóxicas, abril, 1985. INGEMET	19
Cuadro II-IV	
Concentración de sustancias tóxicas, octubre, 1985. MEM	22
Cuadro II-V	
Carga de sustancias tóxicas, octubre, 1985. MEM	22
Cuadro II-VI	
Límites permisibles/Ley general de aguas	27
Cuadro II-VII	
Normas internacionales de emisión	33

Capítulo III

Cuadro III-I	
Principales residuos líquidos emitidos por la industria	50
Cuadro III-II	
Procesos industriales en los que son utilizados materiales pesados	54
Cuadro III-III	
Contaminación de aguas en el Perú: Causas y consecuencias	58
Cuadro III-IV	
Efectos agudos causados por desperdicios peligrosos seleccionados (metales pesados)	79
Cuadro III-V	
Efectos crónicos causados por desperdicios peligrosos seleccionados (metales pesados)	79
Cuadro III-VI	
Estandares de calidad de agua y toxicidad de algunos metales pesados	90

Capítulo V

Cuadro V-I	
Distritos ubicados en la unidad hidrográfica del Rímac	122
Cuadro V-II	
Río Rímac-Descargas. Estación Chosica	127
Cuadro V-III	
Población de la Cuenca del río Rímac, por distrito	130

Capítulo VI

Cuadro VI-Ia	
Variación de la concentración de metales pesados a lo largo del río Rímac	150
Cuadro VI-Ib	
Variación de la carga de metales pesados a lo largo del río Rímac	155
Cuadro VI-Ic	
Variación del caudal a lo largo del río Rímac	160

CUADROS , TABLAS , ESQUEMAS, MAPAS Y GRAFICOS

Cuadro VI-II	
Comparación de la concentración de metales pesados en el río Rímac con los límites permisibles de la Ley General de Aguas	161
Cuadro VI-III	
Comparación de la carga de metales pesados 85, 94-95	165
Cuadro VI-IVa	
Empresa minera Casapalca-Concentración (Americana)	173
Cuadro VI-IVb	
Empresa minera Casapalca-Carga (Americana)	174
Cuadro VI-IVc	
Empresa minera Casapalca-Caudal (Americana)	175
Cuadro VI-Va	
Empresa minera del centro del Perú-Concentración (Casapalca)	176
Cuadro VI-Vb	
Empresa minera del centro del Perú-Carga (Casapalca)	177
Cuadro VI-Vc	
Empresa minera del centro del Perú-Caudal (Casapalca)	178
Cuadro VI-VIa	
Negociación minera Lizandro Proaño-Concentración (Tamboraque)	179
Cuadro VI-VIb	
Negociación minera Lizandro Proaño-Carga (Tamboraque)	180
Cuadro VI-VIc	
Negociación minera Lizandro Proaño-Caudal (Tamboraque)	181
Cuadro VI-VIIa	
Empresa minera Perubar-Concentración (Graciela)	182
Cuadro VI-VIIb	
Empresa minera Perubar-Carga (Graciela)	183
Cuadro VI-VIIc	
Empresa minera Perubar-Caudal (Graciela)	184
Cuadro VI-VIII	
Carga de metales pesados por empresa	185
ANEXO I	
Cuadro AI-Ia	
Variación de la concentración de metales pesados a lo largo del río Rímac (reporte mensual)	203
Cuadro AI-Ib	
Variación de la carga de metales pesados a lo largo del río Rímac (reporte mensual)	211
Cuadro AI-Ic	
Río Rímac - Parámetros adicionales	219
ANEXO II	
Cuadro AII-IIa	
Empresa minera Casapalca-Concentración (Americana)	222
Cuadro AII-IIb	
Empresa minera Casapalca-Carga (Americana)	225
Cuadro AII-IIIa	
Empresa minera del centro del Perú-Concentración (Casapalca)	228
Cuadro AII-IIIb	
Empresa minera del centro del Perú-Carga (Casapalca)	232
Cuadro AII-IIIc	
Empresa minera del centro del Perú-Parámetros adicionales (Casapalca)	236
Cuadro AII-IVa	
Negociación minera Lizandro Proaño-Concentración (Tamboraque)	237

Cuadro All-IVb	
Negociación minera Lizandro Proaño-Carga (Tamboraque)	241
Cuadro All-IVc	
Negociación minera Lizandro Proaño-Parámetros adicionales (Tamboraque)	245
Cuadro All-Va	
Empresa minera Perubar-Concentración (Graciela)	246
Cuadro All-Vb	
Empresa minera Perubar-Carga (Graciela)	250

2. RELACION DE TABLAS

Capítulo II

Tabla II-1	
Variación de la carga de metales pesados, 1985	24
Tabla II-2	
Estandares de emisión propuestos por el MEM	29
Tabla II-3	
Clasificación de Aguas (Brasil)	31
Tabla II-4	
Límites permisibles en solución al momento de vertido al cauce (Brasil)	32
Tabla II-5	
Estandares para descargas de agua industrial (Japón)	32
Tabla II-6	
Algunas características de los metales pesados	38
Tabla II-7	
pH correspondiente a la solución 10^{-5} mol/l de un metal	39
Tabla II-8	
Resumen de reacciones significativas de metales pesados	39

Capítulo III

Tabla III-1	
Insumos químicos de la atarjea	55
Tabla III-2	
Niveles de toxicidad de metales pesados sobre el crecimiento radicular de plantulas de lechuga	81

Capítulo IV

Tabla IV-1	
Número de empresas según el nivel de producción	92
Tabla IV-2	
Evolución de la producción minera peruana, 1940-93	93
Tabla IV-3	
Procesos metalúrgicos	97
Tabla IV-4	
Efluentes de la industria minera en el Perú	102
Tabla IV-5	
Descargas industriales mineras directas al mar	103
Tabla IV-6	
Descargas industriales mineras indirectas al mar	103
Tabla IV-7	
Principales centros mineros en la Cuenca del río Rímac	106

Tabla IV-8	
Métodos de explotación subterránea (Americana)	109
Tabla IV-9	
Concentrados (Americana)	110
Tabla IV-10	
Características del relave (Americana)	110
Tabla IV-11	
Concentrados (Tamboraque)	116
Capítulo V	
Tabla V-1	
Disponibilidad hídrica	123
Tabla V-2	
Explotación de aguas subterráneas para diferentes usos	123
Tabla V-3	
Inventario de lagunas	123
Tabla V-4	
Represamientos en explotación y con estudios	123
Tabla V-5	
Balance hídrico	124
Tabla V-6	
Características meteorológicas de la Cuenca del río Rímac	128
Tabla V-7	
Uso del agua para abastecimiento de la población	131
Tabla V-8	
Uso del agua con fines agrícolas	131
Tabla V-9	
Uso del agua con fines mineros	132
Tabla V-10	
Uso del agua con fines industriales	132
Tabla V-11	
Uso del agua con fines pecuarios	132
Tabla V-12	
Uso del agua con fines energéticos	133
Tabla V-13	
Resumen - Uso consuntivo y no consuntivo	133
Capítulo VI	
Tabla VI-1	
Reducción de los niveles de metales pesados en el río Rímac.	148
Tabla VI-2	
Variación de la carga en el río Rímac después de Casapalca entre OCT 85-94.	149
Tabla VI-3	
Variación de la carga debido a la mezcla.	168
Tabla VI-4	
Concentración por balance de carga.	169
Tabla VI-5	
Reducción de la concentración de metales de las aguas del tunel Carlos antes de la mezcla	170
Tabla VI-6	
Contribución del drenaje de mina a la descarga total de la mina Tamboraque	171
Tabla VI-7	
Reducción de la carga ante la mezcla de efluentes	172

CUADROS , TABLAS , ESQUEMAS, MAPAS Y GRAFICOS

3. RELACION DE ESQUEMAS, MAPAS Y GRAFICOS

Capítulo II

Esquema II-1a	
Ubicación de los puntos de monitoreo en el río Rimac, 1981. DIGESA.	18a
Esquema II-1b	
Ubicación de los puntos de monitoreo en el río Rimac-Zona Alta, 1981. DIGESA.	18b
Esquema II-2	
Ubicación de los puntos de monitoreo en el río Rímac, 1985 INGEMET.	20
Esquema II-3	
Ubicación de los puntos de monitoreo del río Rimac, 1985. MEM	23
Gráfico II-1	
Relación de solubilidad del ión metálico y pH	40
Gráfico II-2	
Relación de solubilidad del ión metálico y pH	41

Capítulo IV

Esquema IV-1	
Diagrama de flujo de los procesos mineros	96
Mapa IV-1	
Ubicación de los principales asentamientos mineros de la cuenca	107

Capítulo V

Esquema V-1	
Cuenca del río Rímac.	120
Mapa V-1	
Mapa de la cuenca del río Rímac, principales centros poblados.	121
Esquema V-2	
Ubicación de los puntos de monitoreo del río Rimac	135
Esquema V-3	
Ubicación de los puntos de monitoreo - Casapalca (Americana)	140
Esquema V-4	
Ubicación de los puntos de monitoreo - Centromin (Casapalca)	141
Esquema V-5	
Ubicación de los puntos de monitoreo - Proaño (Tamboraque)	142
Esquema V-6	
Ubicación de los puntos de monitoreo - Perubar (Graciela)	143

CAPITULO I

1.0	OBJETIVOS	
1.1	uperior	12
1.1	General	12
1.3	Específicos	12

CAPITULO I

1.0 OBJETIVOS

1.1 SUPERIOR

1. Contribuir al manejo integrado de la cuenca del río Rímac, relacionando los factores causales y medio afectado por la contaminación del agua con metales pesados.

1.2 GENERAL

1. Establecer una metodología viable para la cuantificación del grado de contaminación del río Rímac, originada por el vertimiento de efluentes mineros en términos de metales pesados, que sirva de base para la determinación de soluciones al problema que estos generan.

1.3 ESPECIFICOS

1. Identificar la zona de más alto riesgo en el río Rímac de aquellas estudiadas, debido a la contaminación por metales pesados, que permitan formular y recomendar acciones para minimizar el problema generado.
2. Identificar el o los metales pesados que estarían originando problemas de contaminación al río Rímac, dificultando sus diferentes usos.
3. Identificar cuatro vertimientos importantes determinando la concentración de metales pesados en dichos efluentes y sus diferentes comportamientos en el río Rímac.

CAPITULO II

2.0	GENERALIDADES	
2.1	Antecedentes	13
2.2	Marco legal	24
	2.2.1 Legislación nacional	24
	2.2.2 Legislación internacional	30
2.3	Conceptos preliminares	34
	2.3.1 Metales pesados	34
	a. Cobre	34
	b. Plomo	34
	c. Cadmio	35
	d. Zinc	36
	e. Fierro	36
	f. Manganeso	37
	g. Arsénico	37
	2.3.2 Relación entre la precipitación de metales y acidez	38
	2.3.3 Trazas de metales en los organismos	42
	2.3.4 Factores que afectan la toxicidad producida por los metales	43
	2.3.5 Transferencia de los metales pesados a través de la cadena biológica.	44
	2.3.6 Relaves	45
	2.3.7 Drenaje ácido de mina	46
	2.3.8 Riesgo/efecto	46
	2.3.9 Impacto	47
	2.3.10 Externalidad	48

Relación de cuadros

Cuadro II-I	
Concentración de sustancias tóxicas, 1968	15
Cuadro II-II-a	
Concentración de metales pesados, 1981	16
Cuadro II-II-b	
Concentración de metales pesados, Zona alta - Casapalca, 1981	17
Cuadro II-III	
Concentración de sustancias tóxicas, abril, 1985. INGEMET	19
Cuadro II-IV	
Concentración de sustancias tóxicas, octubre, 1985. MEM	22
Cuadro II-V	
Carga de sustancias tóxicas, octubre, 1985. MEM	22
Cuadro II-VI	
Límites permisibles/Ley general de aguas	27
Cuadro II-VII	
Normas internacionales de emisión	33

Relación de tablas

Tabla II-1	
Variación de la carga de metales pesados, 1985	24
Tabla II-2	
Estandares de emisión propuestos por el MEM	29
Tabla II-3	
Clasificación de Aguas (Brasil)	31

Tabla II-4	
Límites permisibles en solución al momento de vertido al cauce (Brasil)	32
Tabla II-5	
Estandares para descargas de agua industrial (Japón)	32
Tabla II-6	
Algunas características de los metales pesados	38
Tabla II-7	
pH correspondiente a la solución 10^{-5} mol/l de un metal	39
Tabla II-8	
Resumen de reacciones significativas de metales pesados	39
Relación de esquemas y gráficos	
Esquema II-1a	
Ubicación de los puntos de monitoreo en el río Rimac, 1981. DIGESA.	18a
Esquema II-1b	
Ubicación de los puntos de monitoreo en el río Rimac-Zona Alta, 1981. DIGESA.	18b
Esquema II-2	
Ubicación de los puntos de monitoreo en el río Rímac, 1985 INGEMET.	20
Esquema II-3	
Ubicación de los puntos de monitoreo del río Rimac, 1985. MEM	23
Gráfico II-1	
Relación de solubilidad del ión metálico y pH	40
Gráfico II-2	
Relación de solubilidad del ión metálico y pH	41

CAPITULO II

2.0 GENERALIDADES**2.1 ANTECEDENTES**

Posiblemente, hace un siglo, la calidad de las aguas del río Rímac fue buena y compatible con la vida de muchos organismos acuáticos y terrestres, lo cual permitía su consumo humano, animal o vegetal, sin temor alguno; pero una vez que se estableció la actividad industrial y minera a principios de este siglo, estas condiciones empezaron a ser alteradas. Los efluentes y residuos de dichas actividades, los cuales no fueron tratados ni manejados de manera adecuada, deterioraron las características físicas, químicas y biológicas del lecho del río; llevando de esta manera a un desmedro en su calidad ecológica, reduciéndose asimismo la capacidad de utilización de este recurso para otros fines, como agrícolas, consumo humano, etc.

"En la mayoría de los ríos y lagunas de la sierra y la costa, la contaminación principal es de origen minero. En efecto, en el sector minero se ha considerado a la gran, mediana y pequeña minería¹ como factores de alteración y deterioro ambiental, y en cada una de ellas, existen importantes fuentes de contaminación que provienen de los procesos a que son sometidos los minerales y que van a desembocar en lagunas y ríos; y en algunos casos, también en el mar".*DOUROJEANNI (1986)*

La actividad minera, como se ha señalado, es probablemente la principal fuente de contaminantes del agua dulce en el país por la naturaleza particularmente tóxica de sus residuos. Por ejemplo, metales pesados como plomo, cobre, zinc, hierro destruyen la flora y fauna de los cursos de agua. Ya en 1974 se atribuía una descarga de 154 millones de metros cúbicos anuales a la minería nacional, volumen que debe haber aumentado considerablemente. Además, por ese año se reportaban ya 13 ríos y 4 lagunas muy seriamente afectadas, pero probablemente ya existían decenas más en igual condición y muchísimos más afectados con menor gravedad.

¹ Es de suponer que a lo que Dourojeanni se refiere es a los efluentes provenientes de la actividad minera, no a la actividad en sí misma

Veamos de una manera rápida cómo han variado las condiciones del río Rímac, en lo que a contaminación se refiere, con el paso de los años y por ende con el incremento de actividades a lo largo de él.

El Ing. Roberto Blume² empieza la descripción de la zona de estudio de la siguiente manera "En esta época del año, las aguas del río Rímac son incoloras y casi transparentes, pudiéndose ver a través de ellos en algunos sitios, el fondo del cauce del río. La turbidez alcanza valores mínimos, no presentándose ninguna variación de ella a lo largo del trecho del río en estudio"

Veinte años después, según lo reportaran las ingenieras Kakazu Higa y Llosa Nureña, en el estudio que realizaron en el periodo setiembre 1967 a febrero 1968, las características físicas y químicas no ofrecieron mayores problemas. Es necesario tener en cuenta que dicho estudio se realizó en el tramo comprendido desde la confluencia de los ríos Santa Eulalia y San Mateo hasta la toma de la Atarjea. Por las fotos presentadas en el estudio se puede decir que las condiciones del río habían variado con respecto al estudio anterior, pues ya se observa un curso de aguas turbias.

Casi a la par, en 1969 se realizó otro estudio, donde la zona no sólo comprende desde el cruce con el río Santa Eulalia hasta la Bocatoma de la Atarjea sino que abarca la cuenca media - alta donde se encuentra asentada la actividad industrial y minera. En este estudio realizado por los ingenieros Enrique Lazo, Ricardo Rojas y Otto Rosasco, es considerado el problema de la contaminación por sustancias tóxicas específicamente metales pesados, el cual parece originarse con mayor fuerza a partir de estos años aunque todavía los valores reportados están dentro de los límites permisibles. (ver cuadro II-I).

En 1981 la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) realizó un estudio sobre la contaminación y preservación del río Rímac, los resultados de dicho estudio se presentan en el cuadro II-II.

Posteriormente en 1985 el INGEMET realizó en abril 1985 un monitoreo a lo largo del río, los resultados obtenidos se presentan en el cuadro II-III.

² El ingeniero Ricardo Blume realizó el primer estudio del río Rímac en Octubre de 1947.

CUADRO II-I
VARIACION DE LA CONCENTRACION DE SUSTANCIAS TOXICAS, 1968
(mg/l)

ESTACION 1 (Iniciación del río Rimac)

Fecha	Caudal l/	Arsénico	Cianuro	Cobre	Cromo	Hierro	Plomo
Marzo 7	9.4	***	***	***	***	***	***
Marzo 8	10.2	***	***	***	***	***	***
Marzo 20	5.7	0.017	0.008	0.007	0.004	0.04	0.029
Marzo 22	5.2	0.019	0.009	0.021	0.002	0.08	0.052
Agosto 12	1.5	0.008	0.002	0.004	tr	tr	tr
Agosto 13	0.3	tr	0.001	0.006	tr	0.037	tr

1/ Caudal m³/S

Fuente: Rosasco, et al. Tesis "El Río Rimac/ Estudio de la Contaminación y autopurificación".

ESTACION 8 (Atarjea)

Fecha	Caudal l/	Arsénico	Cianuro	Cobre	Cromo	Hierro	Plomo
Marzo 7	7.9	***	***	***	***	***	***
Marzo 8	7.9	***	***	***	***	***	***
Marzo 20	7.9	0.019	0.004	0.006	0.005	0.46	0.013
Marzo 22	7.9	0.019	0.002	0.006	0.002	0.3	0.013
Agosto 12	7.9	0.015	0.001	0.012	0.002	0.1	tr
Agosto 13	7.9	0.023	0.002	0.012	tr	0.167	tr

1/ Caudal m³/s

Fuente: Rosasco, et al. Tesis "El Río Rimac/ Estudio de la Contaminación y autopurificación".

CUADRO II-IIa
CONCENTRACION DE METALES PESADOS, 1981

Estaciones	Fierro	Plomo	Cadmio	Arsenico	Cobre	Zinc	Manganeso
1	18.400	0.272	0.000	0.000	0.020	0.130	0.910
2	24.900	0.180	0.005	0.036	0.584	0.150	0.060
3	0.890	0.170	0.008	***	***	***	***
4	***	0.140	0.040	***	***	***	***
5	15.200	0.200	0.000	0.000	0.780	0.092	0.050
6	22.400	0.210	0.030	0.062	0.770	0.916	0.060
7	***	***	***	***	***	***	***
8	***	***	***	***	***	***	***
9	30.250	***	***	0.116	2.080	2.880	0.690
10	***	***	***	***	***	***	***
11	1.930	***	***	0.024	0.560	0.223	3.980
12	***	***	***	***	***	***	***
13	0.820	0.110	0.000	0.000	0.520	0.050	0.220
14	***	0.140	0.014	***	***	***	***
15	***	***	***	***	***	***	***

Nota: Fecha de monitoreo 27/3/81

Fuente: MINISTERIO DE SALUD - Digesa. "Estudio de Contaminación y Preservación del Río Rímac".

Estaciones	Fierro	Plomo	Cadmio	Arsenico	Cobre	Zinc	Manganeso
1	1.950	0.390	0.000	0.446	0.000	0.376	0.002
2	2.800	0.270	0.000	0.026	0.271	0.552	0.115
3	***	0.160	0.000	***	***	***	***
4	***	0.384	0.000	***	***	***	***
5	1.580	0.212	0.024	0.053	0.124	0.270	0.145
6	0.823	0.110	0.000	0.025	0.194	0.126	0.033
7	***	0.099	0.000	***	***	***	***
8	***	***	***	***	***	***	***
9	2.075	***	***	0.169	0.124	2.501	0.320
10	***	***	***	***	***	***	***
11	1.150	***	***	0.072	1.630	12.050	1.080
12	***	***	***	***	***	***	***
13	1.000	0.084	0.000	0.006	0.220	0.048	0.020
14	***	0.100	0.000	***	***	***	***
15	***	***	***	***	***	***	***

Nota: Fecha de monitoreo 20/5/81

Fuente: MINISTERIO DE SALUD - Digesa. "Estudio de Contaminación y Preservación del Río Rímac".

Estaciones	Fierro	Plomo	Cadmio	Arsenico	Cobre	Zinc	Manganeso
1	0.998	0.792	0.000	0.067	0.547	1.065	0.013
2	1.043	0.280	0.000	0.053	0.236	9.355	0.050
3	***	0.646	0.000	***	***	***	***
4	***	0.284	0.000	***	***	***	***
5	1.011	0.224	0.000	0.076	0.270	1.847	0.075
6	0.638	0.210	0.000	0.014	0.270	1.850	0.080
7	***	0.305	0.000	***	***	***	***
8	***	***	***	***	***	***	***
9	1.683	***	***	0.252	0.845	4.570	0.855
10	***	***	***	***	***	***	***
11	0.932	***	***	0.590	1.042	5.632	***
12	***	***	***	***	***	***	***
13	0.647	0.110	0.000	0.028	0.237	0.251	0.023
14	***	0.280	0.000	***	***	***	***
15	***	***	***	***	***	***	***

Nota: Fecha de monitoreo 03/09/81

Fuente: MINISTERIO DE SALUD - Digesa. "Estudio de Contaminación y Preservación del Río Rímac".

CUADRO II-11b
CONCENTRACION DE METALES PESADOS, ZONA ALTA - CASAPALCA, 1981
(mg/l)

Cod	Descripción de puntos	Arsénico	Cobre	Cadmio	Zinc	Manganeso	Hierro	Piomo
18	Puente San Mateo. Km 105	0.023	0.104	0.000	0.830	0.460	0.270	0.906
19	Puente de Acceso a la envasadora de Aguas San Mateo. Km 107	***	***	***	7.500	***	1.410	***
20	Aguas abajo de la confluencia de los ríos San Mateo y Blanco. Km 108.9	***	***	***	10.300	***	0.650	***
21	Puente de Chicla. Km 113.3	0.084	0.368	0.000	13.600	1.830	2.420	0.165
22	Aguas arriba de la quebrada Yauli Yacu. Km 117.2 a/	***	***	***	10.400	***	0.820	***
23	Aguas abajo del campamento minero de Casapalca. Km 119	***	***	***	7.400	***	0.760	***
25	Aguas arriba del campamento minero Casapalca. Km 121.1	***	***	***	1.700	***	0.430	***

a/ donde se encuentra la relavera Casapalca.

Fecha de monitoreo: 02/07/81

Fuente: Estudio de Contaminación y Preservación del Río Rímac. Ministerio de Salud.

Cod	Descripción de puntos	Arsénico	Cobre	Cadmio	Zinc	Manganeso	Hierro	Piomo
18	Puente San Mateo. Km 105	***	***	***	1.600	***	1.100	***
19	Puente de Acceso a la envasadora de Aguas San Mateo. Km 107	***	***	***	10.400	***	2.400	***
20	Aguas abajo de la confluencia de los ríos San Mateo y Blanco. Km 108.9	0.050	0.790	0.000	11.700	0.910	2.900	0.330
21	Puente de Chicla. Km 113.3	***	***	***	17.800	***	5.100	***
22	Aguas arriba de la quebrada Yauli Yacu. Km 117.2 a/	***	***	***	10.700	***	1.400	***
23	Aguas abajo del campamento minero de Casapalca. Km 119	***	***	***	3.500	***	1.900	***
25	Aguas arriba del campamento minero Casapalca. Km 121.1	0.100	0.240	0.000	2.300	0.780	0.800	0.320

a/ donde se encuentra la relavera Casapalca.

Fecha de monitoreo: 09/09/81

Fuente: Estudio de Contaminación y Preservación del Río Rímac. Ministerio de Salud.

CUADRO II-IV
VARIACION DE LA CONCENTRACION DE SUSTANCIAS TOXICAS, 1985
 (mg/l)

Puntos	Descripción de puntos	Cobre	Plomo	Zinc	Hierro	Manganeso	Arsénico	Cadmio
2	Río Rímac en puente Tingo	0.13	0.11	0.11	0.32	0.37	0.03	0.01
5	Río Rímac antes del puente Young Bazo	0.70	1.60	7.40	8.40	1.20	0.15	0.03
7	Río Rímac antes de la concentradora de Tamboraque	0.26	0.51	1.86	2.22	0.32	0.08	0.01
19	Río Rímac antes de la confluencia con el río Parac	0.27	0.48	1.94	2.50	0.36	0.12	0.01

Nota: El estudio fue realizado durante el mes de octubre.

Fuente: Estudio Técnico Ambiental en el Sector Minero Metalurgico de la Cuenca Alta del Río Rímac.

CUADRO II-V
VARIACION DE LA CARGA DE SUSTANCIAS TOXICAS, 1985 a/
 (Kg/día)

Puntos	Descripción de puntos	Caudal 1/	Cobre	Plomo	Zinc	Hierro	Manganeso	Arsénico	Cadmio
2	Río Rímac en puente Tingo	0.37	4.11	3.48	3.48	10.12	11.70	0.79	0.32
5	Río Rímac antes del puente Young Bazo	3.13	189.00	432.00	1998.00	2268.00	324.00	40.50	8.10
7	Río Rímac antes de la concentradora de Tamboraque	13.22	297.06	582.70	2125.15	2536.47	365.62	92.55	11.43
19	Río Rímac antes de la confluencia con el río Parac	14.60	340.59	605.49	2447.19	3153.60	454.12	151.37	12.61

a/ La carga ha sido obtenido en base a los datos de concentración y caudal de la siguiente manera: $Carga(Kg/día) = Concentración(mg/l) * Caudal(l/s) * 0.0864$

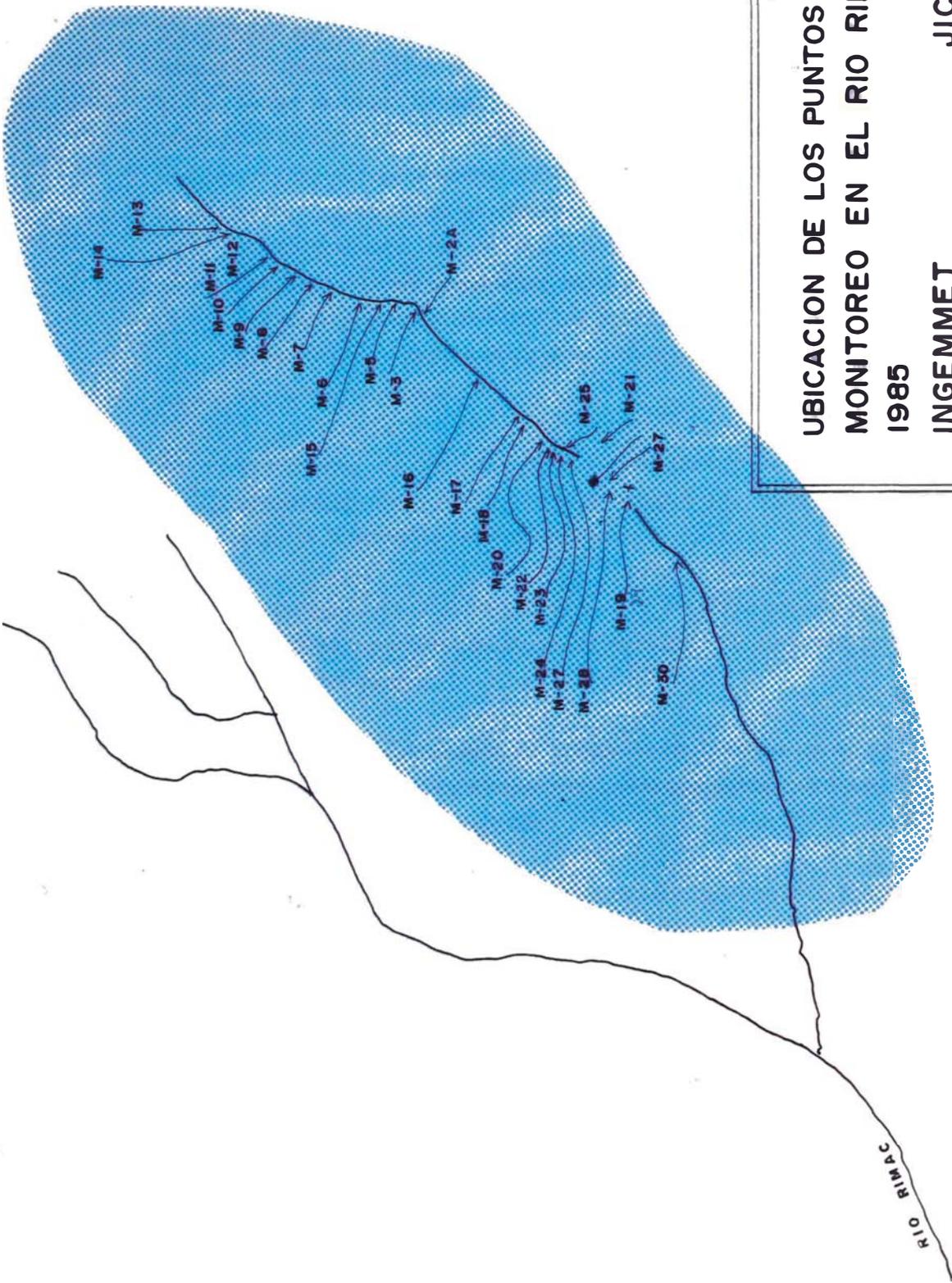
1/ Caudal en m³/s

Fuente: Estudio Técnico Ambiental en el Sector Minero Metalurgico de la Cuenca Alta del Río Rímac.

CUADRO II-III
ESTUDIO EN LA CUENCA DEL RIO RIMAC - INGEMET, 1985
(mg/l)

Cod	Descripción de puntos	Q (m³/s)	pH	Hierro	Sulfatos
M14	Agua que viene del afluente de Chinchán	38.88	6	4.001	289.797
M13	Afluente del R.R. izquierdo que con el chinchán forma el río Rímac	55.33	6	5.219	287.556
M12	119.5 Km C.C antes casapalca mina	172.8	6	5.018	442.201
M11	Antes de cancha Antuquito despues de cancha de casapalca	414.72	6	5.373	322.081
M10	Despues de cancha antuquito de casapalca	178.76	6	4.793	328.649
M9	Relave de la cancha de tablachaca de la concentradora de casapalca	5.907	6	5.254	532.843
M8	114 km C.C	218.28	6	2.626	341.447
M7	112 km C.C Pto . bellavista	432	6	1.445	317.176
M2A	Cancha Yauli Yacu	197.48	6	5.898	328.283
M6	108 Km C.C vegetación eucaliptos pte . Chicia	444.34	6	3.84	360.76
M15	Pte. Chicia	276.48	6	5.084	334.042
M5	102 Km C.C antes de río Blanco	264	6	2.715	164.998
M3	2.1 Km arriba de San Mateo	492.31	6.5	5.234	308.537
M16	Pte debajo de San para paso de vehículo	1080	6	5.084	298.258
M14	98.5 Km C.C puente infiernillo	384	6.5	2.833	240.463
M17	Desague de pampa Tamboraque	600	6	2.976	302.366
M18	91 Km C.C	553.85	6	5.732	297.429
M19	Río Aruri de Rímac	145.38	6	2.013	213.223
M20	88 Km C.C Ocatara agua color rojo	122.18	6	5.61	269.867
M21	Pte. agua arriba de matucana río Rímac	115.2	6	6.203	269.867
M22	Al centro de poblado de matucana nuevo a 2.5 Km de M21	117.39	6.5	5.493	270.689
M25	84 Km Tambo Viso	245.45	6	4.818	282.208
M24	82 Km C.C	170.18	6	4.283	284.676
M23	81 Km C.C. Rímac	294	6	4.05	270.689
M26	Mina Sn Juan agua de mina	202.65	6		
M27	Vertiente de la Laguna Huangra afluente del río rimac	12	6	5.13	340.782
M28	80 Km C.C abajo de la concentradora San Marcelo de la mina el baron	157.5	6	3.98	263.284

Fuente: INGEMET abril de 1985, en MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS "Estudio Técnico Ambiental de la Cuenca del Río Rímac".



UBICACION DE LOS PUNTOS DE
MONITOREO EN EL RIO RIMAC
1985
INGEMMET JICA

En el mismo año el Ministerio de Energía y Minas con el apoyo de la Japan International Cooperation Agency (JICA) realizó en Octubre (1985) un estudio en el río Rímac llamado "Estudio Técnico Ambiental en el Sector Minero Metalúrgico de la Cuenca Alta del río Rímac", el cual comprendía un estudio de investigación en los Asentamientos Mineros ubicados en la Cuenca Alta (ver cuadro II-IV, II-V), presentando las siguientes conclusiones:

El río Rímac en la zona de Estudio (entre Casapalca y aguas abajo de Tamboraque), está contaminado especialmente por desechos minero-metalúrgicos y aguas servidas. Las aguas servidas provienen de los asentamientos humanos localizados a lo largo de la cuenca y de los campamentos mineros.

El río Rímac, en la estación N° 2, en sus aguas todos los elementos permanecen dentro de los límites permisibles para Cursos de Agua Clase III, a excepción del elemento Plomo.

En las aguas del río Rímac, estación N° 5, los elementos que rebasan los límites permisibles para Cursos de Agua Clase III, son Cobre, plomo, fierro y manganeso.

Las mediciones practicadas en la estación N° 7, en las aguas del río Rímac los elementos que superan los límites permisibles para Cursos de Agua Clase III, son plomo y fierro.

El río Rímac, es receptor de efluentes de canchas de relaves, aguas de mina, aguas servidas del Sindicato Minero Pacococha S.A., concentradora Tonsuyoc, Compañía Minera Lizandro Proaño S.R.L. En cuyas aguas, estación N° 19, los elementos que rebasan los estándares permisibles para Cursos de Agua Clase III, son plomo, fierro, manganeso y arsénico.

El río Rímac, luego de su confluencia con el río Parac, estación N° 20, en sus aguas, los elementos que superan los estándares permisibles para Cursos de Agua Clase III, son el plomo, fierro y arsénico.

En el río Rímac, en el proyecto comprendido entre la estación N° 2 y estación N° 20:

Según la información presentada, el contenido de elementos metálicos que han sufrido un incremento, se presenta en la tabla II-1.

Tabla II-1
Variación de la Carga de Metales Pesados 1/

Parámetro	Rango (Kg/Día)
Cobre	4.113 a 341.289
Plomo	3.592 a 606.735
Zinc	3.672 a 2450.633
Fierro	10.575 a 3160.08
Manganeso	12.191 a 458.377

1/ Entre la estación N°2 y la estación N°20

Fuente: "Estudio Técnico Ambiental en el Sector Minero Metalúrgico de la Cuenca Alta del río Rímac"

Las canchas de relaves fuera de uso de Casapalca y Tamboraque, están expuestas a la acción eólica y lluvias, con la consiguiente contaminación del ambiente.

Es importante remarcar, que en la antigua cancha de relaves de Yaulico-Casapalca, se está llevando a cabo un programa de forestación y fijación de relaves.

2.2 MARCO LEGAL

2.2.1 Legislación Nacional.

La legislación nacional, en lo referido a medio ambiente y contaminación, está dada inicialmente por la Constitución la cual como norma de mayor jerarquía, se convierte en el marco legal obligado de las regulaciones sobre este tema. Ella establece el deber de conservar el medio ambiente obligando a los miembros de la colectividad a participar en la promoción y defensa de su salud, la de su medio familiar y de la comunidad. Asimismo la Constitución ha hecho recaer en el

Estado la función de evaluar y preservar los recursos naturales, fomentar su racional aprovechamiento y promover la industrialización para impulsar el desarrollo económico. El desarrollo equilibrado impone al Estado la obligación de controlar y prevenir la contaminación ambiental.

Como norma no específica, está el código sanitario el cual establece que el saneamiento ambiental comprende el control sanitario, entre otros aspectos, del aire, los ruidos, las aguas, las tierras y los desperdicios; así como el control de los productos químicos o físicos dañinos a la salud humana. Así también establece que los recursos de agua deben ser conservados y preservados, no debiendo ser alteradas sus condiciones naturales por causas externas que modifiquen sus propiedades con peligro para la salud pública.

Entrando en un plano legal más específico para el presente estudio, el cual relaciona la contaminación del agua con la minería, tenemos la Ley General de Aguas (aún vigente) y La Ley General de Minería.

En el Perú todo lo referente a la legislación de aguas está dada por la Ley General de Aguas, donde se establece el uso justificado y racional de este recurso en armonía con el interés social y el desarrollo del país; esta ley es manejada por el Ministerio de Agricultura para la conservación y usos de las diferentes clases de aguas existentes. En lo que respecta al interés del presente estudio la Ley General de Aguas refiere textualmente lo siguiente:

Artículo 22: Está prohibido verter o emitir cualquier residuo, sólido, líquido o gaseoso que pueda contaminar las aguas, causando daños o poniendo en peligro la salud humana o el normal desarrollo de la flora o fauna o comprometiendo su empleo para otros usos. Podrán descargarse únicamente cuando:

- a. Sean sometidos a los necesarios tratamientos previos.
- b. Se compruebe que las condiciones del receptor permitan los procesos naturales de purificación.

- c. Se compruebe que con su lanzamiento submarino no se causará perjuicio a otro usos; y
- d. En otros casos que autorice el Reglamento.

La autoridad sanitaria, dictará las providencias y aplicará las medidas necesarias para el cumplimiento de la presente disposición. Si, no obstante, la contaminación fuera inevitable, podrá llegar hasta la revocación del uso de las aguas o la prohibición de la actividad dañina.

Artículo 54, mediante el cual la autoridad de aguas o Sanitaria, exigirá que los residuos minerales sean depositados en áreas especiales o "Canchas de Relaves" dotada de elementos necesarios de control y seguridad, o sean evacuados por otros sistemas de manera que se evite la contaminación de las aguas o tierras agrícolas de actual o futura explotación.

Artículo 81, establece que la calidad de los cuerpos de agua en general ya sea terrestre o marítima del país se clasificaran según sus usos. (ver cuadro II-VI)

Artículo 82, establece los límites permisibles de elementos contaminantes que contengan estas aguas para efectos de su protección. (Ver cuadro II-VI).

Pasando a la legislación existente en relación a la actividad minera, tenemos La Ley General de Minería donde se encuentra varios artículos que precisan el tema:

Artículo 98 del referido texto legal precisa la obligación del titular de derechos mineros "...a ejecutar las labores propias de su actividad, de acuerdo con métodos y técnicas que eviten en lo posible daños a terceros..."; se obliga adicionalmente a indemnizar a terceros por cualquier perjuicio que se les cause.

El Artículo 395 del reglamento dispone respecto a la obligación del Titular de una Concesión de Beneficio de almacenar los relaves en depósitos que cumplan con determinadas condiciones, precisando, que

**CUADRO II-VI
LEY GENERAL DE AGUAS**

Denominación	I	II	III	IV	V	VI
Aluminio	-	-	-	1	1	-
Arsénico	0.1	0.1	0.2	1	0.01	0.05
Bario	0.1	0.1	-	0.5	0.05	-
Cadmio	0.01	0.01	0.05	-	0.0002	0.004
Cianuro	0.2	0.2	1	-	0.005	0.005
Cobalto	-	-	-	0.2	0.2	-
Cobre	1	1	0.5	3	0.01	-
Color	0	10	20	30	30	-
Cromo hexa	0.05	0.05	1	5	0.05	0.05
Coliformes totales	8.8	20000	5000	5000	1000	20000
Coliformes fecales	0	4000	1000	1000	200	4000
Oxígeno disuelto	3	3	3	3	5	4
D.B.O	5	5	15	10	10	10
Fenoles	0.0005	0.001	0.001	-	0.002	0.002
Hierro	0.3	0.3	1	-	-	-
Fluoruros	1.5	1.5	2	-	-	-
Litio	-	-	-	5	5	-
Magnesio	-	-	150	-	-	-
Manganeso	0.1	0.1	0.5	-	-	-
Material ext. en hexano						-
(grasas)	1.5	1.5	0.5	0	No perc	-
Mercurio	0.002	0.002	0.01	-	0.0001	0.0002
Nitrato	0.01	0.01	0.1	-	-	-
Níquel	0.002	0.002	0.002	0.5	0.002	-
pH	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9	-
Plata	0.05	0.05	0.05	-	-	-
Plomo	0.05	0.05	0.1	-	0.01	0.03
P.C.B	0.001	0.001	0.001	-	0.002	0.002
Selenio	0.01	0.01	0.05	0.05	0.005	0.01
Sólidos flotantes	0	0	0	Peq cant	Moder	-
Sólidos suspendidos	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	-	-	400	-	-	-
Sulfuros	0.001	0.002	0.005	-	0.002	0.002
Zinc	5	5	25	-	0.02	-

I. Agua para abastecimiento doméstico con simple desinfección.

II. Agua de abastecimiento doméstico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla, coagulación, sedimentación, filtración, cloración aprobados por el Ministerio de Salud.

III. Aguas para riego de vegetales de consumo crudo/consumo de animales.

IV. Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños, similares).

V. Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos.

VI. Aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial.

Fuente: Artículo 81 de la Ley General de Aguas.

cuando "el volumen de relaves imposibilite su acumulación en quebradas, o que al hacerlo en tierras planas susceptibles de futuro aprovechamiento agrícola, las malogren, se estudiará su vaciado a la orilla del mar. Se requerirá para otorgar la autorización correspondiente previamente los informes de las Direcciones de Aguas, de regadío, de Agricultura, de Pesca y Minería..."

El Artículo 396 del mismo reglamento prohíbe arrojar los relaves a los cursos de aguas que se aprovechan con fines agrícolas o domésticos. Este dispositivo deberá aplicarse en concordancia con el Art. 22 de la Ley General de Aguas. Asimismo este reglamento también establece que, el agua de decantación de los relaves, plantas de precipitación, refinerías y plantas hidrometalúrgicas será tratada antes de su entrada al cause público.

De acuerdo a las normas presentadas en párrafos anteriores, es posible observar que la Ley de Aguas cubre lo que se refiere a los límites permisibles de varios parámetros entre ellos los metales pesados (lo que servirá en el caso del presente estudio), no siendo cubierto lo referido a los límites de emisión³ ni por la Ley General de Aguas ni por la Ley General de Minería; generándose de esta manera un vacío legal. Este vacío legal se ha mantenido por muchos años, durante los cuales muchos cursos de agua han sufrido grave deterioro a causa de efluentes con altas concentraciones de sustancias tóxicas, e intenta ser cubierto por la propuesta de límites de emisión a ser presentada por el Ministerio de Energía y Minas - MEM - sector que ha trabajado en ello basado en los resultados obtenidos de los análisis, en la reglamentación de la Ley General de Aguas (Clasificación de los Cuerpos de Agua), en los límites de emisión elaborados por el Ministerio de Pesquería correspondiente a su sector y en las guías internacionales de emisión (ver tabla II-2 y Anexo III).

Con respecto al Código del Medio Ambiente el cual incluye un capítulo de Recursos Mineros, desde su promulgación en 1990 hasta las últimas normas muchas han sido las modificaciones. El carácter estricto

³ Límites de emisión se refiere a la concentración máxima permitida de una sustancia "n" que es posible arrojar a un curso de agua

de la legislación inicial fue modificándose a partir de la promulgación de

Tabla II-2
Estandares de emisión propuestos por el MEM

Parámetros (mg/l)	En cualquier momento 1/	Promedio anual 2/
pH	5.5-10.5	5.5-10.5
Sólidos en suspensión	100.0	50.0
Plomo	1.0	0.5
Cobre	2.0	1.0
Zinc	6.0	3.0
Arsénico	1.0	0.5
Cianuro Total	2.0	1.0

1/ Límite de concentración para una muestra puntual

2/ Límite de concentración promedio aritmético de los resultados mensuales.

Nota: Ver anexo III

la Ley de Promoción de Inversiones en el Sector Minero la cual elimina la prohibición del otorgamiento de licencias provisionales, elimina la obligación de tratar las aguas utilizadas en el proceso minero a sólo aquellas situaciones en donde el tratamiento fuera técnica y económicamente posible, elimina la prohibición de depositar relaves a menos de 500 metros de los cuerpos de agua.

Asimismo con la Ley de Promoción de Inversiones en el Sector Minero se eliminan los estándares anteriores (los de las Naciones Unidas), estableciendo que sería la autoridad competente la encargada de fijar los estándares a utilizar. Esto puede resultar positivo debido a que llena un vacío legal en el país, teniendo presente de esta manera que no es aconsejable tomar normas prestadas de otros países pues cada país tiene condiciones diferentes y por ende la necesidad de una legislación específica de acuerdo a su realidad. Es necesario aclarar que el hecho de plantear una normatividad propia no significa ser blandos con la industria lo cual haría perder su objetivo (prevenir la contaminación).

2.2.2 Legislación Internacional.

Como información referencial se presentará la legislación correspondiente a otros países en los puntos relacionados al tema en estudio. El cuadro II-VI presenta la comparación de límites de emisión dados por la legislación de diferentes países.

a. Brasil

Categoría I

Debe cumplir con todos los requisitos necesarios para ser usada como agua potable por la población y por la industria de procesamiento de alimentos; asimismo debe ser apta para la reproducción de salmonidos, truchas, etc.

Categoría II

Debe ser adecuada para el abrebamiento de ganado, la cría de otro tipo de peces, así como para bañarse y para el transporte acuático.

Categoría III

Puede ser utilizada en la industria (excepto en el procesamiento de alimentos) y para propósitos de irrigación de plantas de tallo bajo.

Categoría IV

Puede ser utilizada para el regadío de plantas de tallo alto únicamente. (ver tabla II-3).

b. España

Reglamento de policía de Aguas y sus cauces, aprobado por decreto del Ministerio de Obras Públicas el 14 de

noviembre de 1958, complementada con la orden de 4 de setiembre de 1959 del Ministerio de Obras Públicas, por lo que se reglamenta el vertido de aguas residuales.

A tal efecto se autoriza el vertido de aguas residuales de acuerdo a la valorización de la corriente receptora aguas abajo del punto de vertido.

Señala las características que deben cumplir los efluentes después de ser sometidos al tratamiento respectivo así como los límites permisibles de metales pesados en solución en el momento de vertido al cauce público. (Ver tabla II-4)

Tabla II-3
Clasificación de Aguas (Brasil)

Parámetros	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
pH	6-9	6-9	6-9	6-9
DBO	<3	<5	<10	-
OD	>6	>5	>4	>2
Turbidez	<40	<100	<100	-
T°C	-	-	-	-
Arsénico	0.05	0.05	0.05	-
Cadmio	0.001	0.001	0.01	-
Cianuro	0.01	0.01	0.2	-
Plomo	0.03	0.03	0.05	-
Cobre	0.02	0.02	0.5	-
Fierro				
Fierro S	0.3	0.3	0.5	-
Manganeso	0.1	0.1	0.5	-
Mercurio	0.0002	0.0002	0.02	-
Sulfatos	250	250	250	-

Fuente: Gutierrez "Manejo y tratamiento de aguas residuales en la refinación de cobre y plomo"

Tabla II-4

Límites permisibles en solución al momento de vertido al cauce

Parámetros	Límite Permissible (mg/l)
Sólidos en suspensión	30
DBO5	10
Olor pútrido amoniacal	Ninguno
pH	6-9
Plomo	0.1
Arsénico	0.2
Selenio	0.05
Cromo	0.05
Cloro	1.5
Cianuros	0.05
Fluoruros	1.5
Cobre	0.05
Fierro	0.1
Manganeso	0.05
Fenoles	0.001

Fuente: Gutiérrez "Manejo y tratamiento de aguas residuales en la refinación de cobre y plomo"

c. **Japon**

Tabla II-5

Estándares para Descargas de Agua Industrial

Parámetros	Límites de tolerancia (mg/l)
Cadmio	0.1
Plomo	1.0
Arsénico	0.5
Cromo ⁺⁶	0.5
Mercurio Total	0.005
Cianuro	1.0
Cobre	3.0
Zinc	5.0
Cromo	2.0
Fluor	15.0
Manganeso soluble	10.0
Fierro soluble	10.0

Fuente NaKamura "Tecnología de tratamiento de agua de mina".

CUADRO II-VII
NORMAS INTERNACIONALES DE EMISION

Parámetros	Alemania			Belgica			Francia			Gran Bretaña				Suiza
	Vertidos a cauces			Vertidos al río			Vertidos según niveles Ind. de trat. de superficie							Vertidos a cauces
	A	B	C	1	2	3	3 de tratamiento	Ind. de trat. de superficie	1	2	3	4	4	
Temperatura	20	20-28	28	30	30	-	-	30	26	32	25	30	30	
pH	6.0-9.0	5.0-10.0	5.0-10.0	6.5-8.5	-	-	5.5-8.5	-	6.0-9.0	5.0-9.0	5.0-9.0	7.0-8.5	6.5-8.5	
Material suspendido	20	-	-	100	-	1000	-	-	30	30	-	500	20	
DBO5 (media en 24 h)	25	-	-	15	30	50	20-40	-	20	-	-	-	20*	
DQO (media en 2 h)	80	-	-	-	500	-	80-150	-	-	-	-	-	10*	
Oxibilidad al KMnO4	18	18-40	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
N(Kjedahl)	-	-	-	-	-	-	7.0-80.0	-	10	-	-	-	-	
Fluoruros	-	-	-	-	10	-	-	13	-	10	-	10	10	
Cloruros	150	150-300	350	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sulfuros	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	1	-	0.1	
Sulfatos	-	-	-	-	2000	-	-	-	-	1200	1200	-	-	
Cianuro	-	-	-	-	0.5	-	-	0.1-1	0.1	-	-	-	0.1	
Arsénico	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0.1	
Bario	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	5	
Cadmio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	
Cromo +3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
Cromo +6	-	-	-	-	-	-	-	0.05-0.01	0.5	-	-	-	0.1	
Hierro	0.5	0.5-1.5	1.5	-	2	-	-	-	4	-	-	0.3	2	
Manganeso	0.25	0.25-0.5	0.5	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
Mercurio	-	-	-	-	-	-	0	-	0.01	-	-	-	0.01	
Niquel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
Plomo	-	-	-	-	1	-	-	0.1	0.1	-	-	-	0.5	
Cobre	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	
Zinc	-	-	5	-	5	-	-	-	-	-	-	-	2	
Cd+Cr+Cu+Ni+Zn+Fe	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	
Aceites y grasas	0	tr	tr	100	-	-	-	-	4	4	50	50	20	
Hydrocarburos	-	-	-	5.0-15.0	-	-	5.0-20.0	-	0.5-1	1	-	0.01	10	
Fenoles	0.005	0.005-0.01	0.1	-	-	-	0.5-1.0	-	0.5	-	-	-	0.05	
Disolventes orgánicos	-	-	-	-	-	-	0	-	0	0	0	0	-	
Cloro activo	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	1	1	1	0.05	

Fuente: Gutierrez Sixto Ulises. Tesis "Manejo y Tratamiento de Aguas Residuales en la Refinación de Cobre y Plomo", 1995

2.3 CONCEPTOS PRELIMINARES

La inclusión de conceptos preliminares, se realiza con el fin de ayudar a una mejor comprensión del tema, formando de esta manera una idea clara del medio en que nos vamos a desenvolver.

Los conceptos incluidos corresponden a aquellos que son elemento de estudio en la presente tesis (metales pesados). Así como de aquellos términos que son usados frecuentemente, buscando de esta manera dar al tema no sólo un enfoque específico sino también global en el cual está inmerso el problema.

2.3.1 Los Metales Pesados

a. Cobre

..."Los minerales sulfurados, que forman la mayor parte de los yacimientos, no se emplean directamente por la pobreza de los mismos, sino que primero se enriquecen, generalmente por flotación, y pasan a los talleres metalúrgicos como concentrado. Si la proporción es bastante elevada y se dispone de combustibles valiosos, se trabajan por vía seca, mientras que con cantidades inferiores al 2% se opera preferentemente por vía húmeda"...

(Blücher:308).

"El cobre y sus compuestos están omnipresentes en el ambiente, y por eso, se encuentran, con frecuencia, en las aguas superficiales. Las formas que toma en el agua dependerán del pH y de la concentración de carbonato presentes, y de otros aniones en solución"... *(ECO:1987).*

b. Plomo

"El plomo se encuentra en forma natural en la corteza terrestre de un modo relativamente abundante en un promedio de 16 mg/kg"...*(ECO:1989)*

..."El plomo puro es de color blanco-azulado; tomándose rápidamente pardo al contacto con el aire; es el más blando de los metales pesados ordinarios; su dureza es baja; la fácil deformabilidad y aptitud para soldar y la gran resistencia ante muchos agresivos químicos, hacen que sea material muy importante para la construcción de aparatos o la industria química; entre los metales no nobles, el plomo es el más resistente en relación con el ácido sulfúrico diluido"...(Blücher:1045,1046)

" El mineral de plomo más importante es la galena: PbS ; de menor importancia son: la cerusita $PbCO_3$; piromorfina $3Pb_3(PO_4)_2$; anglesita $PbSO_4$; wulfenita $PbMoO_4$; los minerales puros son raros; ordinariamente aparecen en unión a los minerales de zinc. "... (Blücher:1045) . El plomo se ha usado ampliamente durante muchos siglos, y en múltiples lugares se ha producido algún tipo de contaminación del ambiente como resultado, de su uso en los trabajos de minería y de fundición o del empleo de productos elaborados con plomo. Definitivamente la actividad humana en relación al plomo ha llevado a través de los tiempos a crecientes descargas de dicho metal hacia los diferentes componentes ambientales, aumentando y diversificando paralela y progresivamente las condiciones de exposición a niveles cada vez más altos de dicho metal en el ambiente.

c. Cadmio

"El cadmio está distribuido en toda la corteza terrestre⁴ en una concentración de 0,15 - 0,2 mg/l no existe en su estado puro sino asociado a otros minerales como los de plomo, de cobre y de zinc. De estos, el más importante es el de zinc que puede contener hasta 0,3 partes de cadmio por cada dos partes del mismo"... (ECO. Serie 4. 1987:1)

..."El cadmio es un metal blanco de plata, que al aire se cubre poco a poco con una ligera capa de óxido. "... (Blücher:206)

⁴ "Se encuentra raramente en la naturaleza por ejemplo en forma de sulfuro y carbonato"... (Blücher:206)

La producción de cadmio comenzó lentamente, a fines del siglo pasado. Normalmente se produce como un subproducto de la extracción de zinc. Su empleo ha aumentado constantemente durante este siglo, pero sólo en los últimos años ha cobrado mayor interés. El cadmio ha comenzado a contaminar el ambiente y se ha encontrado en el aire, los alimentos, el suelo, las plantas y el agua.

d. Zinc

"El zinc es un elemento abundante y constituye aproximadamente 0,04 g/kg de la corteza terrestre. El mineral de zinc más común es la esfarelita (ZnS), que a menudo se asocia con los sulfuros de otros elementos metálicos, como por ejemplo, plomo, cobre, cadmio y hierro"...(ECO:1987)

..."Los carbonatos, óxidos y sulfuros de zinc son apenas solubles en agua, mientras que las sales de cloruro y de sulfato son muy solubles y tienden a hidrolizarse y forman el hidróxido de zinc y el carbonato de zinc. En consecuencia la concentración de zinc en aguas naturales, es en lo general, baja. La absorción por los sedimentos disminuye aún más los niveles de zinc disuelto"...(Guías de calidad de agua potable).

e. Fierro

". En la naturaleza se presenta tanto en forma mineral como orgánica (en la sangre de los animales). Está muy extendido, pero casi exclusivamente en forma de combinaciones; en estado elemental nunca es puro, sino que como sucede en los meteoritos y en algunos minerales raros (tenita) se halla en aleación con carbono o níquel"...(Blücher:687)

..."El hierro puro es casi blanco plata, se oxida al aire. Conductividad mucho menor que la del cobre, descompone el

vapor de agua al ser calentado al rojo, se disuelve en los ácidos diluidos, y en las concentrados se pasiva" *... (Blücher:688)*

f. Manganeseo

"El manganeseo es el doceavo elemento más abundante que se encuentra en la corteza terrestre y se distribuye en los suelos, sedimentos, rocas, agua y materiales biológicos" *... (ECO:1987)*
 "Los minerales más importantes del manganeseo son: pirolosita Mn_2 ; barunita Mn_2O_3 ; manganita $Mn_2O_3.aq$; hausmanita Mn_3O_4 y espato de manganeseo, $MnCO_3$. Estos se encuentran generalmente mezclados con los de hierro" *... (Blücher:836)* . Por su amplio uso industrial y la gran cantidad que de él se consume, es un contaminante potencial de la atmósfera de gran importancia.

g. Arsenico

El arsénico se encuentra en pequeñas cantidades en toda la corteza terrestre, en un promedio de 2 mg/l, bajo la forma de mineral y principalmente como impureza de otros minerales, asimismo puede estar presente en el agua, el aire y los seres vivos⁵, especialmente los marinos" *... (ECO)* " El arsénico se encuentra en estado nativo como mineral puro; sin embargo se presenta principalmente en combinaciones como arseniuros metálicos, sulfuros arsenicales, óxidos de arsénico" *... (Blücher)*

..."La combinación del arsénico con otros compuestos químicos altera su toxicidad según la solubilidad del compuesto y según la valencia del arsénico en él, es decir, según sea su valencia (trivalente o pentavalente) presentará mayor o menor riesgo para la salud humana. Con excepción del arsénico elemental, la absorción

⁵ "Aunque el arsénico se encuentre en los tejidos en pequeñas cantidades, no tiene ninguna función fisiológica" *... (ECO:1987)*

de los compuestos arsenicales se realiza con facilidad a través de la piel, los pulmones y el tracto gastrointestinal"...(ECO:1987)

Tabla II-6
Algunas propiedades de los metales pesados

Propiedades	Cu	Pb	Cd	Zn	Fe	Mn	As
Peso atómico	63.57	207.21	112.41	65.38	55.85	54.93	74.91
Número atómico	29		48	30	26	25	
Pto de fusión	1084		321.7	419.4	1528	1247	
Pto de ebullición	2560		767	907		2030	
Calor específico	0.092	0.0319	0.056 b/	c/	0.113e/		
Nº de isotopos	a/	8	8	d/	4		

a/ Isotopos, 63 (69%) y 65 (31%)

b/ a 20°C

c/ Sólido 0.096, líquido 0.121

d/ Isotopos, 64 (50%), 66(27%), 68(18%), 70(4%) y 70(1%)

e/ a 15°C

2.3.2 Relación entre la precipitación de metales y acidez

La relación entre la precipitación de metales y su pH se muestra en las figuras II-1 y II-2). En la figura II-1 se observa datos de concentración de cada mineral en solución a variados valores de pH. Por ejemplo, cuando tomamos la concentración de 10^{-5} mol/l, esta cantidad considerada llegará en a un pH para cada metal (ver tabla II-7).

En la figura II-2 se muestra el valor del pH al empezar y al terminar la precipitación del metal completamente. Si usamos polvo de calcita par neutralizar la solución ácida qu contiene varios metales, el pH de la solución llegará a 4.5 - 5.0 . En este caso el Fe^{3+} puede removerse en este proceso, pero otros metales como el Cu^{2+} , Zn^{2+} y Fe^{2+} no pueden precipitarse más.

Mediante el uso de cal u otro álcali, se puede elevar el pH de la solución y remover estos metales. (Akira, et/ 1988:11)

Tabla II-7
pH correspondiente a la solución 10^{-5} mol/l de un metal

Metal	pH
Fe ³⁺	3.7
Cu ³⁺	7.0
Zn ²⁺	8.7
Fe ²⁺	9.1
Cd ²⁺	9.75
Mn ²⁺	10.0

Fuente: " Akira, et/ 1988

Tabla II-8
Resumen de Reacciones Significativas de Metales Pesados

Metal	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Cd.	*	*	*	*	*	
Ar.						*
Pb.		*	*	*	*	*
Zn.		*	*	*	*	
Cu.		*	*	*	*	

(1) Intercambio iónico.

(2) Potencial desorción.

(3) Hidrólisis ácido base.

(4) Complejación con ligandos inorgánicos.

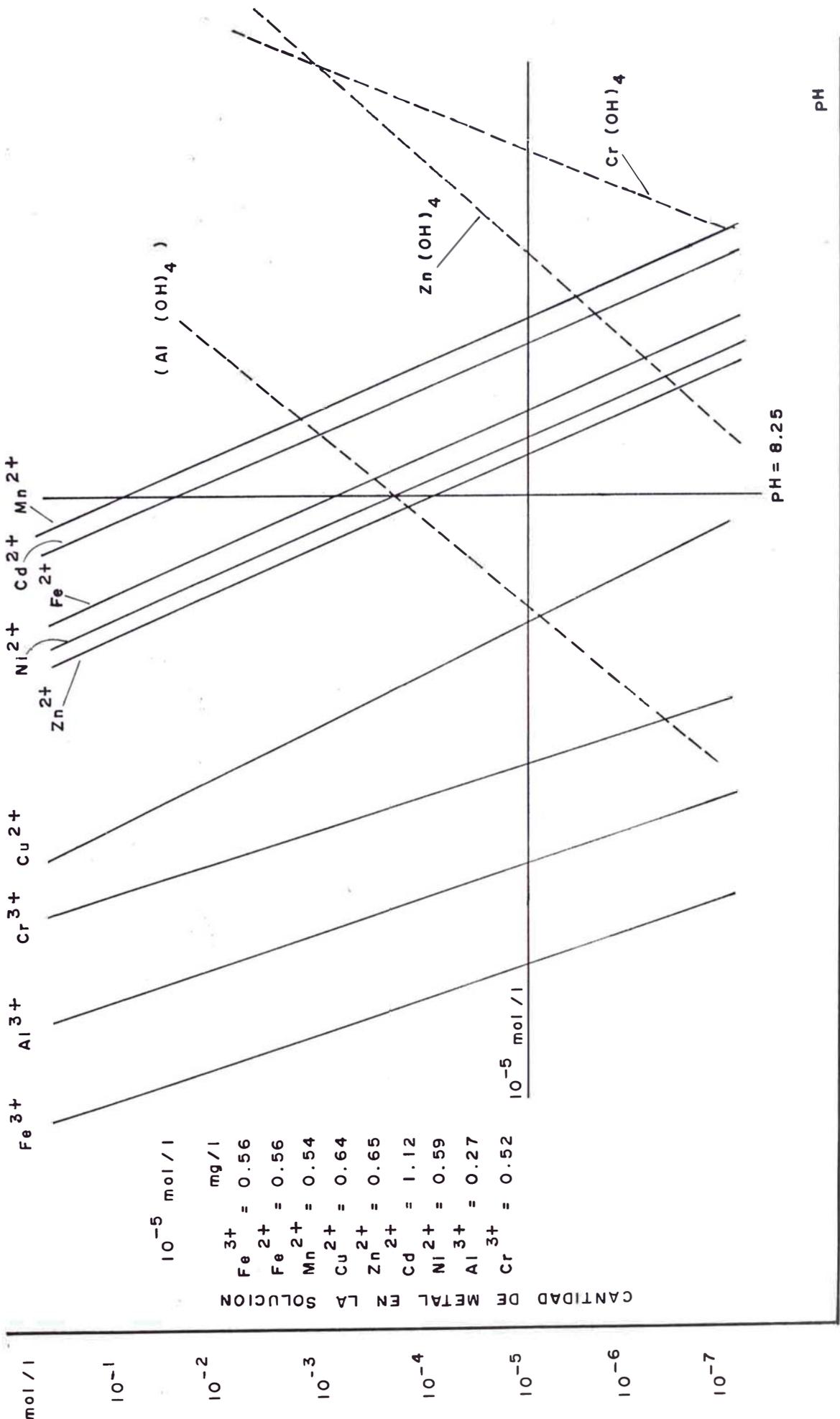
(5) Complejación con ligandos inorgánicos.

(6) Metilación o reacción redox.

Fuente: Shoor. et al., 1987

Tomado de : Manual de Evaluación y Manejo de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales. Sección 4. Modelos de Destino de Sustancias Tóxicas. Dr. Robert V. Thomman. 1994

RELACION DE SOLUBILIDAD DEL ION METALICO Y EL PH.



RELACION DE SOLUBILIDAD DEL ION METALICO Y EL PH.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Al. (III)														
Be. (II)														
Fe. (II)														
Fe. (III)														
Cr. (III)														
Ti. (III)														
In (III)														
Mn. (II)														
Mn. (III)														
Ni (II)														
Co (II)														
Zn (II)														
Cd (II)														
Cu (II)														
Pb (II)														
Bi (III)														
Sb (III)														
Sn (III)														
Sn (IV) 0.5														
V (IV)														
Ag (I)														
Tl (III) 0.3														
As														

NOTA: VARIACION DEL PH AL EMPEZAR Y TERMINAR LA PRECIPITACION EN LA SOLUCION DE 0.01 M

2.3.3 Trazas de metales en los organismos.

Generalmente el término traza es usado para designar los elementos químicos que entran en pequeña concentración a los sistemas biológicos acuáticos.

Se sabe que los iones metálicos tienen un gran significado biológico, siendo esencial para el buen funcionamiento de los organismos. Así de importancia fundamental son el Na, Mg, Ca y K existiendo otros metales no tan importantes como el Mn, Fe, Co, Cu, Zn y Mo.

Los metales esenciales pasan a ser considerados tóxicos cuando su incorporación en el organismo es excesiva, ultrapasando los niveles de concentración considerados normales.

Estudios relativos a la toxicidad de los metales pesados indican que las situaciones de carencia conllevan una deficiencia. Un suplemento adecuado resulta en óptimas condiciones para el organismo, pero en exceso resultaría en efectos dañinos para el mismo.

De manera general, los elementos metálicos se encuentran en pequeñas cantidades en el ambiente, siendo la concentración de metales en el organismo, naturalmente superior a aquella encontrada en el ambiente.

Los organismos deben presentar un mecanismo de regulación de absorción de metales esenciales. Entre tanto, ese mecanismo puede dejar de funcionar cuando hay una saturación del ambiente en el cual vive el organismo.

Los metales que no tienen una función biológica son clasificados como no esenciales. El plomo, cadmio, mercurio son metales caracterizados como no esenciales; en vista de desconocer cualquier actividad funcional de estos metales en el metabolismo de los organismos.

Los metales pesados absorbidos de manera directa pueden causar necrosis de los tejidos, inhibición de la capacidad de reproducción, altas

tasas de mortalidad de formas larvales o juveniles, o bioacumulación caracterizada por una intoxicación crónica.

2.3.4 Factores que influyen en la toxicidad producida por los metales

Son varios los factores que pueden afectar la toxicidad de los contaminantes metálicos en relación a la biota. Los metales se puede encontrar disueltos o asociados a un material particulado, dependiendo de diversos factores ambientales como: pH, salinidad, temperatura, etc.

En relación a los organismos acuáticos y sus consumidores existen diversos aspectos a ser considerados en cuanto al potencial tóxico de los metales pesados.

Los factores que, según Bryan, podrán tener influencia sobre la toxicidad de los metales serían:

Como el metal es descargado al cuerpo receptor.

Presencia de otros metales o sustancias, estableciéndose determinados fenómenos de sinergismo⁶ antagonismo que tendrían como resultado una disminución o aumento de la toxicidad del metal en relación a la biota;

Variación de los factores ambientales.

Condiciones físicas o fisiológicas de los organismos afectados.

Relación del organismo y la presencia del contaminante.

Dentro de los metales destacan el Cobre, Zinc y Cobalto, considerados esenciales en concentraciones limitadas. Ultrapasada la concentración límite se toman perjudiciales trayendo como consecuencia daños a la vida del organismo.

⁶ Se refiere a las relaciones existentes entre dos o más sustancias, en este caso toxicas, las cuales al sobreponer su naturaleza - actividad ocasionan la anulación de sus efectos y/o la potenciación de estos.

El énfasis especial debe ser dado al carácter acumulativo de los metales pesados, estos permanecen en los organismos debido a los compuestos estables que forman.

Según Wood, desde un punto de vista ambiental, los metales pueden ser clasificados de acuerdo con 3 criterios:

No tóxicos.

Tóxicos pero insolubles y raros.

Muy tóxicos y frecuentes.

En el próximo capítulo se explicará detalladamente los efectos tóxicos de cada uno de los elementos.

2.3.5 Transferencia de metales pesados a través de la cadena biológica.

La contaminación del agua de los ecosistemas acuáticos puede ser confirmada por análisis de agua, sedimentos y organismos.

El agua representa el cuerpo receptor de los contaminantes metálicos, mas debido a las variaciones de las condiciones ambientales, la concentración del metal presenta también un alto grado de variación lo que implica en resultados de confiabilidad limitada.

En los primeros 5 cm de la superficie de los sedimentos en contacto directo con el agua contaminada, se verifica la presencia de metales pesados los cuales se ligan a la materia orgánica en una fracción mineral. El análisis de sedimentos proporciona resultados significativos para la evaluación de la calidad ambiental.

Los organismos acuáticos representan un componente activo que se encarga de transportar los metales de su fase abiótica a la fase biológicamente estable.

El papel de los metales pesados en los organismos acuáticos ha sido estudiado siempre en relación a la toxicidad individual de cada metal.

También la naturaleza del animal influye en la concentración de los metales pesados. Animales de naturaleza sedentaria, fijos o de poca movilidad tienden a presentar mayor concentración de metales pesados que aquellos de naturaleza migrante.

En los estudios relativos a la concentración de los metales pesados a través de la cadena biológica, son establecidos los probables medios a través de los cuales se daría comunicación y trasposición del metal siendo el último medio representado por un mamífero que algunos casos puede ser el hombre.

El factor de transferencia de un elemento de un medio I a un medio II está dado por la relación entre la concentración del medio II y la concentración del medio I. El medio I se refiere al agua donde están los organismos que a su vez representan el medio II.

Para cada elemento considerado el factor de transferencia varía en función de la especie y del organismo. Considerados una determinada especie y un determinado elemento, el factor de transferencia varía en función de los parámetros físico-químicos del ambiente y de la fisiología del organismo.

En relación a los vegetales sean micro o macroorganismos, que representan el primer medio de las cadenas alimentarias acuáticas, la contaminación se da por transferencia de contaminantes metálicos del agua. El fitoplancton, marino y de aguas continentales, es un excelente concentrador de metales pesados.

2.3.6 Relaves

Los relaves resultan del proceso de flotación, mediante el cual se separa el mineral del material inerte.

Los relaves no son otra cosa que sólidos finos sin contenido mineral, que se desechan mezclados con agua. El problema de los relaves es su almacenamiento, se debe tener en cuenta que casi todas las

operaciones mineras se llevan a cabo en zonas con geografía escarpada, de difícil acceso, y que por lo tanto no es fácil encontrar áreas apropiadas para almacenar grandes volúmenes de material desechable. Puesto que los relaves son líquidos o semilíquidos, se deben construir canchas que puedan retenerlos por tiempo indeterminado. De no ser esto posible, la práctica más común es la de utilizar depresiones naturales como depósito.

El efecto sobre el medio ambiente se traduce en la generación de agua que, por contener elementos oxidantes, se acidifican y ayudan a disolver aquellos elementos que pueden ser nocivos para las fuentes de agua potable, la vegetación, los animales y el hombre.

2.3.7 Drenaje Acido de Mina

El drenaje ácido de mina (AMD) se puede definir como la contaminación química inorgánica del agua, resultante de la oxidación de minerales que contienen sulfuros, principalmente pirita (FeS_2) y pirrotina ($\text{Fe}_1 - \text{xS}$). En consecuencia, se producen efluentes ácidos que contienen niveles elevados de metales disueltos que incluyen hierro, zinc, cadmio, manganeso y plomo.

2.3.8 Riesgo / Efecto

El concepto de riesgo implica la probabilidad de un efecto adverso sobre la salud humana, el medio ambiente y/o la propiedad así como el grado de peligro que está involucrado.

Las sustancias químicas pueden, y de hecho lo hacen, llegar al medio ambiente acuático por muchas vías. Estas incluyen efluentes industriales, descargas de plantas de tratamiento de aguas residuales (industriales y municipales), escorrentía superficial directa, lixiviado de suelos, desechos de industria minera - como resultado de erosión - y deposición directa de la atmósfera.

Muchas de estas sustancias químicas y sus productos de degradación son tóxicas, aún cuando se encuentran presentes a nivel de trazas. La estimación de riesgo está relacionada con la recopilación de información sobre:

La naturaleza y extensión de la fuente.

La cadena de eventos, rutas y procesos que conectan las causas con los efectos; y

la relación entre las características del impacto (dosis) y los tipos de respuesta (efectos).

Debe hacerse una distinción muy clara entre el "efecto", siendo esta la reacción biológica en sí, y la "respuesta" que se refiere al número de personas que reaccionan con un efecto específico.

2.3.9 Impacto

"En general, el término impacto indica la alteración que la ejecución de un proyecto introduce en el medio, expresada por la diferencia entre la evolución de éste "sin" y "con" proyecto. Su significación ambiental interpretada en términos de salud y bienestar humano, es lo que define el impacto ambiental. Esta interpretación del impacto en clave humana debe entenderse en términos amplios, en el sentido de que la salud y bienestar humanos son inseparables de la conservación de la reserva genética, de los ecosistemas, de los paisajes y de los procesos ecológicos esenciales" (Gómez, 1994:20).

"Siguiendo la aceptación más generalizada, se puede considerar que impacto ambiental es toda alteración del medio ambiente o de alguno de sus elementos o condiciones, producidas directa o indirectamente por toda clase de actividades humanas que sean susceptibles de modificar su calidad ambiental. Este concepto de impacto ambiental engloba tanto a los impactos desfavorables como a los favorables [...] los impactos que deben ser objeto de preocupación son aquellos que puedan perturbar gravemente la calidad ambiental y procedan de actividades o proyectos promovidos por

el hombre que se puedan evitar o modificar en la forma conveniente para atenuar o eliminar sus efectos ambientales desfavorables" (Ruza, 1993:593).

2.3.10 Externalidad

Una externalidad es el efecto, positivo o negativo, ocasionado por la acción de un agente social o natural sobre el bienestar de otro agente o sobre la integridad de algún ecosistema. "Una externalidad existe siempre que el bienestar de algún agente, sea una empresa o una familia, dependa directamente de su propia actividad a la vez que de las actividades que realiza algún otro agente" (Tietenberg, 1992:52).

En una economía de mercado, la presencia de externalidades impide la eficiencia en la asignación de recursos promovida por el sistema de precios, ya que "el verdadero costo social de un producto o insumo físico no se ve reflejado en su precio. Ante la presencia de una externalidad negativa que contamina el ambiente, el mecanismo de mercado fracasa en lograr que el agente que contamina considere los costos que su actividad impone a otros agentes." (Jenkins, 1994:2)

CAPITULO III

3.0	EL PORQUE DE LA PREOCUPACION POR LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS Y LOS EFECTOS DE LOS METALES PESADOS	
3.1	Un vistazo " La contaminación de las aguas y sus consecuencias"	49
3.1.1	Impacto sobre la salud humana	49
3.1.2	Impacto sobre la actividad industrial	56
3.1.3	Impacto sobre la actividad agropecuaria	57
3.1.4	Impacto sobre la fauna y flora acuatica	57
3.1.5	impacto sobre las actividades de recreación y turismo	57
3.2	La contaminación de las aguas y la minería	62
3.3	Comportamiento de los metales pesados en el cuerpo humano	63
	3.2.1 Cobre.	63
	3.2.2 Plomo.	63
	3.3.3 Cadmio.	68
	3.2.4 Zinc.	71
	3.2.5 Fierro.	72
	3.2.6 Manganeso.	74
	3.2.7 Arsénico.	76
3.4	Efectos de los metales pesados en la flora y fauna	80
	3.4.1 Flora	80
	a. Cobre.	82
	b. Plomo.	82
	c. Cadmio.	83
	d. Zinc.	83
	e. Fierro.	83
	f. Manganeso.	83
	3.4.2 Fauna.	84
	a. Cobre.	84
	b. Plomo.	85
	c. Cadmio.	86
	d. Zinc.	87
	e. Fierro.	87
	f. Manganeso.	88

Relación de cuadros

Cuadro III-I	
Principales residuos líquidos emitidos por la industria	50
Cuadro III-II	
Procesos industriales en los que son utilizados materiales pesados	54
Cuadro III-III	
Contaminación de aguas en el Perú: Causas y consecuencias	58
Cuadro III-IV	
Efectos agudos causados por desperdicios peligrosos seleccionados (metales pesados)	79
Cuadro III-V	
Efectos crónicos causados por desperdicios peligrosos seleccionados (metales pesados)	79
Cuadro III-VI	
Estandares de calidad de agua y toxicidad de algunos metales pesados	90

Relación de tablas

Tabla III-1	
Insumos químicos de la atarjea	55
Tabla III-2	
Niveles de toxicidad de metales pesados sobre el crecimiento radicular de plantulas de lechuga	81

CAPITULO III

3.0 EL PORQUE DE LA PREOCUPACION POR LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS Y LOS EFECTOS DE LOS METALES PESADOS**3.1 UN VISTAZO A "LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS Y SUS CONSECUENCIAS"**

Una descarga de agua residual cualquiera fuera su procedencia es considerada dañina cuando impide o perjudica el uso normal del agua o cuando acarrea hasta las aguas naturales productos residuales considerados como nocivos para salud y el medio ambiente; pudiendo ocasionar daños directos a por ejemplo: el agua que es usada para el cultivo de peces, ríos y/o lagos que son utilizados para abastecimiento doméstico, industrial o con fines recreativos.

El daño puede ser cuantificado y comparado con los costos de inversión y operación que genera una planta de tratamiento de aguas residuales, demostrando así las ventajas económicas que pueden lograrse con una planta eficiente evitando de esta manera todos los impactos y costos que ocasiona la contaminación de un curso de agua. Para tener una mejor idea de ello se presentará un resumen de estos:

3.1.1 Impactos sobre la salud humana.

Las descargas de residuos orgánicos e inorgánicos pueden tener un impacto significativo en la salud humana. Cuando no existen plantas de tratamiento de aguas, los vertimientos de excretas deterioran la calidad epidemiológica de la misma, convirtiéndola en fuente portadora de virus y bacterias, facilitando así la difusión de enfermedades como la tifoidea, disentería, hepatitis, salmonella, cólera, entre otras. Asimismo, emisiones inorgánicas como el nitrato de los fertilizantes es considerado como un cancerígeno potencial en el largo plazo, especialmente en el caso de la población infantil. De igual forma, la presencia de metales pesados provenientes de los efluentes mineros, como el cadmio, cromo, zinc, cobre, plomo, níquel, arsénico y mercurio, representan un grave potencial de perjuicio a la salud humana. Está comprobado

**CUADRO III-I
PRINCIPALES RESIDUOS LIQUIDOS EMITIDOS POR LA INDUSTRIA**

Rubro	Producto	Parámetros significantes
Matanza de ganado y preaparación de carne	Productos cárneos	pH DBO5 Sólidos suspendidos Sólidos sedimentables Aceites y grasas Coliformes totales Materias tóxicas
Productos lácteos	Industria lechera	pH DBO5 DQO Sólidos suspendidos
Envase y conservas frutasy hortalizas	Conservas, preservación de frutas y horatilizas, jugos concentrados	pH DBO5 DQO Sólidos suspendidos
Conservas pescados y productos marinos	Harina de pescado	pH DBO5 Sólidos suspendidos Aceites y grasas
Aceites y grasas vegetales y animales	Fabricación de aceites vegetales	DBO5 Sólidos suspendidos Temperatura
Producción y refinación de azucar	Azucar de remolacha	pH DBO5 Sólidos suspendidos Sólidos sedimentables Aceites y grasas Material tóxico Coliformes
Malta, cerveza y malteadas	Industria cerveza	pH DBO5 Sólidos suspendidos Sólidos sedimentables Aceites y grasas Material tóxico Coliformes

Continua...

Continúa...

Rubro	Producto	Parámetros significantes
Hilados y telas tintorerías	Fabricación tejidos de algodón y sintéticos	pH DBO5 DQO Sólidos suspendidos Cromo Compuestos fenólicos Sulfuro Alcalinidad Sólidos totales
Pulpa de madera, papel y cartón	Pulpa química (kraft, sulfito, semiquímica)	pH DBO5 DQO Sólidos suspendidos Color Material tóxico Turbiedad Aceites y grasas Fenoles
Química Inorgánica Básica	Inorgánica General	Acidez Sólidos suspendidos Sólidos disueltos Amonio Cloruro Cromo total Nitrato Sulfato Calcio Fluor Fosfatos Zinc Urea y otros Grasas y aceites
Resinas sintéticas, plásticos fibras	Plásticos, celofan, rayón, etc.	pH DBO5 DQO Sólidos suspendidos Aceites y grasas Fenoles
Química orgánica	Orgánica general	pH DBO5 DQO Sólidos suspendidos Sólidos disueltos Aceites y grasas

Continúa...

Continua...

Rubro	Producto	Parámetros significantes
Productos químicos con N.E.P.	Deergentes y jabones	pH DBO5 DQO Sólidos en suspensión Grasas y aceites Detergentes
Refinerías de petróleo	Refinerías	pH DBO5 DQO Grasas y aceites Fenoles Sulfuros Amonio Cromo Sólidos en suspensión Sólidos disueltos
Vidrios y productos de vidrio	Vidrios	pH DQO Sólidos en suspensión Sólidos disueltos Grasas y aceites Sulfato Fosfátos
Cemento, cal y yeso	Cemento,concreto, cal y yeso	pH DQO Sólidos suspendidos
Productos minerales no metálicos	Asbestos	pH DBO5 DQO Sólidos en suspensión
Industria básica del fierro y el acero	Acero	pH DBO5 Sólidos en suspensión Amoníaco Fierro Cadmio Cianuro Zinc Fluoruro Fenoles Sulfuros Nittrato

Continua...

Conclusión.

Rubro	Producto	Parámetros significantes
Industria básica del aluminio	Industria del aluminio	pH Sólidos en suspensión Cloro libre Fluor Fósforo Aceites y grasas
Fabricación de productos metálicos, maquinarias y equipos	Industria acabado de metales	pH DQO Sólidos suspendidos Grasas y aceites Cianuro Metales pesados

Fuente: Ministerio de Industria, Turismo, Integración y Negociaciones Comerciales Internacionales -MITINCI-

CUADRO III-II
PROCESOS INDUSTRIALES EN LOS QUE SON UTILIZADOS MATERIALES PESADOS

Proceso Industrial	Cadmio	Cromo	Cobre	Hierro	Mercurio	Manganeso	Plomo	Niquel	Estaño	Zinc
Producción de papel y cartón	*	*	*		*		*	*		*
Petroquímica e Ind. Comp. Org.	*	*		*	*		*		*	*
Ind. química (soda cáustica y otros)	*	*		*	*		*		*	*
Producción de abonos	*	*	*	*	*	*	*	*		*
Refinería	*	*	*	*	*		*	*		*
Ind. metalúrgica	*	*	*	*	*		*	*	*	*
Producción de metales diferentes al hierro	*	*	*	*	*		*	*	*	*
Industria de autos y aviones		*	*		*		*	*		*
Industria de vidrios, cementos y asbestos		*	*		*		*	*		*
Industria textil		*	*		*		*	*		*
Industria de cuero		*	*		*		*	*		*
Planta de vapor (calderas)		*	*		*		*	*		*

Fuente: Förstner y Müller, 1974 en "Los Metales Pesados, su Contaminación y sus Efectos Tóxicos" (artículo)

medicamente que el cadmio impide la absorción orgánica de otros metales provocando el raquitismo; el plomo reduce el nivel de glóbulos rojos en la sangre produciendo anemia; el mercurio provoca daños al sistema nervioso al ser ingerido vía alimentos contaminados; el arsénico ataca el sistema respiratorio y nervioso, produciendo, además, afecciones a la piel.

Cuando un centro poblado cuenta con una planta de tratamiento de aguas, el exceso de residuos orgánicos e inorgánicos puede implicar un mayor uso de insumos químicos con el fin de garantizar un aceptable calidad de agua potable para la población (ver tabla III-1), o bien el deterioro del agua potable con el consecuente aumento en el riesgo de epidemias e intoxicación para la población.

Asimismo, la contaminación también afecta indirectamente la salud humana a través de la ingesta de vegetales de consumo crudo (entre estos las hortalizas) irrigadas con aguas servidas en los valles costeros.

Tabla III-1
Químicos Usados para el Tratamiento de Agua

Químicos (g/m ³)	1987	1991
Sulfato férrico	8.36	8.36
Aniones	0.001	0.003
Cationes	0.10	0.18
Solución de sulfato de aluminio	3.24	8.77
Sulfato de cobre	0.002	0.15
Cloro	1.73	4.14

*1/ Nota: Consorcio de privatización de SEDAPAL (BVIB&PIIP), marzo 1994. "Estrategia para la prestación de servicios de agua potable y alcantarillado por el sector privado", Pag.5
Tomado de : "Los problemas ambientales de Lima: La necesidad de una agenda 21 local".*

3.1.2 Impactos sobre la actividad industrial

En el país, la actividad industrial emplea el agua de forma directa como insumo para la elaboración de bienes finales o indirectamente para el proceso productivo.

Debido a que la mayor parte de la actividad industrial se localiza en la costa, el 95% del agua utilizada proviene de los ríos de la vertiente del Pacífico; sólo el 4.1 % y el 0.1 % proviene de fuentes en la sierra y selva, respectivamente. Las principales fuentes de agua para la industria son las cuencas de los ríos Rímac, Pativilca y Chicama.

La actividad industrial se ve seriamente afectada por las emisiones de actividades localizadas aguas arriba en los ríos. Por un lado, las descargas orgánicas, tanto domésticas como industriales, incrementan la turbidez y reducen el contenido de oxígeno de las aguas. Por otro lado las emisiones inorgánicas de la actividad minera e industrial alteran significativamente el grado de acidez (o pH) de las aguas.

Asimismo una contribución a todo ello son los fertilizantes químicos y plaguicidas utilizados en la agricultura.

Debido a que cada tipo de industria requiere agua con distintas características, el problema del tratamiento de la misma es resuelto individualmente por cada empresa. Existen guías que establecen los límites máximos permisibles para los diversos procesos industriales, y que son empleadas por las firmas industriales para realizar el control permanente de la calidad del agua para los respectivos procesos.

Para lograr una cuantificación del impacto que el nivel de contaminación de las cuencas que proveen al agua industrial nacional tiene sobre la rentabilidad de las mismas, sería necesario medir los costos adicionales en los que esta incurriendo cada industria y compararlos con aquellos costos asociados al tratamiento mínimo requerido si el agua no estuviera contaminada. Desafortunadamente esta cuantificación no se ha realizado en el país.

3.1.3 Impacto sobre la actividad agropecuaria.

La agricultura se ve afectada por el deterioro en la calidad del agua cuando ésta depende del agua superficial como única fuente de agua para riego. En estos casos, los rendimientos de los cultivos disminuyen, generando menores ingresos para los agricultores.

Debido a la carencia de precipitaciones, los valles agrícolas de la costa y algunos de la sierra son los más expuestos a variaciones en la calidad del agua superficial producto de la contaminación. La carencia de información impide saber con certeza el daño que viene generando la contaminación de los ríos en los rendimientos registrados por los cultivos en valles, tales como el Moche, Santa, **Rímac**, Cañete, Pisco y Locumba en la costa y el Mantaro, Azángaro y Hualgayoc en la sierra. Sin embargo ya existen algunos casos que han sido denunciados por los agricultores.

3.1.4 Impacto sobre la fauna y flora acuática.

Las emisiones de agentes contaminantes sobre los ríos están impactando seriamente la fauna y flora acuática de los mismos. Las descargas orgánicas e inorgánicas de las actividades domésticas, industriales y mineras modifican el volumen del oxígeno disuelto en las aguas provocando la desaparición de seres vivientes. Esto afecta negativamente aquellas actividades económicas ligadas a la explotación de estos recursos, tales como la piscicultura.

3.1.5 Impacto sobre las actividades de recreación y el turismo.

Diversas zonas del país reciben periódicamente un flujo constante de visitantes que van a disfrutar de paisajes naturales, fauna y flora en su propio hábitat, etc.

Esta demanda por recreación o turismo genera beneficios sociales para el país a través del bienestar de los individuos que demanda este tipo de "bienes turísticos". Cuando estos paisajes se ven afectados por la contaminación de las

CUADRO III-III
CONTAMINACION DE AGUAS EN EL PERU: CAUSAS Y CONSECUENCIAS

Principales fuentes de contaminación de aguas	Usos de agua más afectados	Ejemplos del impacto de la contaminación de aguas	Principales ríos contaminados
I. Fuentes puntuales 1. Efluentes domésticos	Bebida	<p>Salud humana: Las descargas de heces vía los desagües domésticos al río Rímac son portadoras de enfermedades como el cólera y la tifoidea, entre otras enfermedades diarreicas y víricas, pudiendo afirmarse que son responsables del deterioro del agua destinada a las ciudades. Pese a la existencia de plantas de tratamiento del agua, cuando los niveles de coliformes son exageradamente más altos que los máximos permisibles, las emisiones domésticas son responsables de que: (1) pueda desatarse una epidemia, como el cólera, a la menor falla humana en el tratamiento; (2) se pueda estar afectando la salud humana, ya no con bacterias y virus, pero sí con los altos niveles de desinfectantes químicos utilizados; (3) el costo económico del tratamiento sea muy alto.</p>	Rímac Moche Santa
	Irrigación	<p>Agricultura: El Valle del río Rímac es uno de los principales proveedores de hortalizas. La falta de riego apropiado en este valle obliga a los agricultores a utilizar las aguas contaminadas del río para la irrigación de estos cultivos. El impacto del consumo de hortalizas contaminadas contribuye a la propagación de enfermedades víricas.</p>	
	Procesos Industriales	<p>Actividad industrial: Las emisiones domésticas afectan el nivel de oxígeno disuelto en el agua. Esto afecta directamente la alimentación de las calderas, generando mayores costos de tratamiento del agua para las empresas que utilizan calderas en su proceso productivo.</p>	
	Fauna y flora acuática	<p>Flora y fauna: La alteración del volumen de oxígeno disuelto en las aguas de escorrentía ha provocado la desaparición de la flora y fauna de los principales ríos de la costa, especialmente en el caso del Rímac y Moche.</p>	

Principales fuentes de contaminación de aguas	Usos de agua más afectados	Ejemplos del impacto de la contaminación de aguas	Principales ríos contaminados
2. El sector industrial			
Alimentos, bebidas y tabaco - CIU 31	Bebida	Salud humana: Las descargas orgánicas de la industria, especialmente aquella proveniente de la industria alimentaria, contribuyen al deterioro del agua por ser portadoras de virus como la salmonella. Por otra parte, las industrias petroquímicas y de minerales no metálicos emiten descargas inorgánicas que tienen efectos negativos sobre la salud de las poblaciones de ciudades industriales, principalmente Lima.	Rímac
Textiles, confecciones y cuero - CIU 32			
Papel, imprenta y editoriales - CIU 34	Procesos industriales	Actividad industrial: Las emisiones de las industrias localizadas aguas arriba de los ríos generan externalidades directas en las industrias localizadas aguas abajo. Las principales industrias afectadas son: cervecería, bebidas gaseosas, papel y pulpa y curtiembres. De igual manera, los procesos productivos que requieren el uso de calderas también se ven afectados.	Rímac Fortaleza
Industrias químicas y de productos químicos derivados del petróleo, carbón, caucho y plástico - CIU 35	Fauna y flora acuática	Flora y fauna: Tanto las descargas orgánicas, como las inorgánicas, contribuyen directamente a la desaparición de la flora y fauna al reducir la cantidad de oxígeno disponible y contaminar las aguas con compuestos químicos que son letales para la vida acuática.	Rímac Fortaleza Pastaza Tigris
Industrias de minerales no metálicos - CIU 36			Rímac
Industrias metálicas y maquinarias - CIU 38			Chillón

Principales fuentes de contaminación de aguas	Usos de agua más afectados	Ejemplos del impacto de la contaminación de aguas	Principales ríos contaminados
3. La minería	Bebida	Salud humana: La acumulación de cadmio, plomo, cobre, níquel, zinc, cromo y arsénico en el cuerpo humano produce intoxicación en el largo plazo con serios efectos sobre el metabolismo, generando anemia, raquitismo, alteraciones del sistema nervioso, respiratorio y cutáneo. Las principales ciudades que reciben el impacto de las emisiones mineras son: Lima, Trujillo, Moquegua y Huancayo.	Mantaro Moche Locumba
Industria básica de metales no ferrosos	Irrigación	Agricultura: No se sabe con certeza los efectos que vienen teniendo las emisiones mineras en las aguas de ríos como el Locumba, Rímac, Majes y Acarí en la costa, y el Mantaro en la sierra sobre los rendimientos de los productos agrícolas. Sin embargo, ya existen algunos casos que han sido denunciados por los agricultores. Por ejemplo, la polución minera viene afectando los cultivos de alfalfa en la provincia de Yauyos. Asimismo, el riego en plantaciones de caña de azúcar es restringido en el valle del Moche debido a la contaminación.	Rímac Majes Acarí
II. Fuentes no puntuales	Procesos industriales	Actividad industrial: Las emisiones mineras alteran el grado de acidez (pH) y alcalinidad de las aguas de esorrentía. Esto tiene efectos directos sobre los procesos productivos de industrias como la cervecera, bebidas gaseosas, papel y curtiembre; así como el proceso de alimentación de calderas.	
1. Agricultura	Flora y fauna acuática	Fauna y flora: La contaminación minera está afectando la crianza de camarones en los ríos Pativilca, Pisco, Ocoña, Camaná y Majes, y la crianza de truchas, bagres y ranas en el río Curias y la laguna Azulcocha de Junín.	
	Bebida	Salud humana: Los pobladores de los valles del Rímac y Santa se encuentran expuestos a los residuos de fertilizantes utilizados en la producción agrícola. La ingestión indirecta de fertilizantes produce el desarrollo de enfermedades oncológicas en el largo plazo.	Rímac Santa

Principales fuentes de contaminación de aguas	Usos de agua más afectados	Ejemplos del impacto de la contaminación de aguas	Principales ríos contaminados
2. Narcotráfico	Flora y fauna acuática	Flora y fauna: Los compuestos químicos de los plaguicidas y herbicidas utilizados en la agricultura destruyen la flora y fauna de los ríos que sufren las emisiones. Esto los convierte en responsables de la destrucción de la fauna y flora de los principales ríos costeros.	Huellaga Ucayali
3. Lavaderos de oro	Bebida	Salud humana: El impacto de la ingestión de pescado en la región de la selva alta, principal fuente proteica de dicha región, debe estar causando serios problemas de intoxicación entre pobladores ribereños.	Madre de Dios Inambari
4. Otras fuentes no puntuales	Flora y fauna acuática	Flora y fauna: Debido a las emisiones inorgánicas generadas por el procesamiento de la hoja de coca, se ha detectado la muerte de peces pequeños, crustáceos, anfibios y plantas ribereñas en algunos ríos de la selva alta.	
	Bebida	Salud humana: El mercurio ataca el sistema nervioso de los seres humanos al ingerirse a través del consumo de pescado contaminado. Rastros de metilmercurio se han encontrado en el pelo de habitantes del Amazonas. Si bien no existen estudios, una situación similar debe estar ocurriendo con los habitantes de Madre de Dios, donde se localizan la mayoría de lavaderos de oro.	
	Flora y fauna acuática	Flora y fauna: El metilmercurio causa el envenenamiento de peces al ser descargado en los ríos. El impacto sobre la fauna de los ríos de Madre de Dios debe ser significativo.	
	Bebida	Salud humana: Probable envenenamiento por vertimientos de combustibles, lubricantes y uso de ictitoxicos en la región selva.	Principales ríos de la selva
	Flora y fauna acuática	Flora y fauna: Pérdida de flora y fauna ribereña por los vertimientos antes mencionados.	

Fuente: MALARIN, Héctor y REMY, Paul. "La Contaminación de Aguas Superficiales en el Perú: Una Aproximación Económico-Jurídica", CIUP, 1994. Lima.

aguas superficiales, la demanda por estos "bienes" se retrae, reduciendo el bienestar de los visitantes o demandantes. En consecuencia, el país pierde ingresos por concepto de turismo, tanto interno como externo.

3.2 LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS Y LA MINERIA

Reduciendo el gran abánico de actividades que generan aguas residuales, encontramos que la industria minera es la principal contaminadora de los cursos de agua del Perú, debido a que la eliminación de los residuos líquidos provenientes de los procesos químicos para la obtención de minerales contiene residuos químicos y excesos de minerales no recuperados, los cuales afectan la calidad química de las aguas, impidiendo el desarrollo de la vida acuática, habiéndose constatado en muchos lugares del país la inexistencia de dichas especies que antes existían.

"...El peligro que representa la minería para la contaminación de las aguas radica en el hecho que, aún en el mejor de los casos, sólo una parte insignificante de sus aguas residuales recibe tratamiento alguno y ese suele ser parcial..." (Malarin. et al. 1993:43)

La dotación de agua contaminada con residuos químicos (entre ellos metales pesados) y presencia de minerales no recuperados; produce consecuencias inmediatas tales como:

- Acumulación de partículas y metales pesados.
- Descenso del nivel de productividad.
- Afectación química de cultivos.
- Aparición de enfermedades.

Posteriormente se explicará como la actividad minera (efluentes de cada proceso) contaminan las aguas; por ahora se entenderá como los metales pesados (altas concentraciones en los efluentes mineros) afectan al bienestar humano y del ambiente.

3.3 COMPORTAMIENTO DE DE LOS METALES PESADOS EN EL CUERPO HUMANO.

3.3.1 Cobre

... "El cobre es un elemento esencial en el metabolismo humano y desempeña un papel importante en la formación de eritrocitos, en la liberación del hierro de los tejidos y en desarrollo de los huesos, sistema nerviosos central y tejido conjuntivo.

Puesto que el cobre se encuentra ampliamente distribuido en los alimentos, es improbable que los seres humanos - con excepción quizás de los lactantes alimentados exclusivamente con leche- lleguen a desarrollar una deficiencia dietaria de cobre.

En el hombre la ingestión de dosis excesivamente grandes da lugar a una irritación y corrosión de las mucosas grave, daño capilar generalizado, daño hepático y renal, e irritación del sistema nerviosos central seguida de depresión. Pudiera ocurrir una irritación gastrointestinal grave y posibles cambios necróticos en el hígado y los riñones. Sin embargo el envenenamiento con cobre es raro en el hombre y en los mamíferos superiores, debido a la poderosa acción emética del mismo" ... (*Guía de la calidad del agua: 1985*).

3.3.2 Plomo

Así como varios metales, el plomo en su forma natural tiene poca importancia como fuente de contaminación del ambiente. Lo más frecuente es que la contaminación del medio con plomo sea producida por actividades humanas en la minería y en la industria.

Existe un creciente interés por los efectos del plomo sobre la población infantil expuesta en el ambiente general o perteneciente a grupos familiares expuestos. Se ha demostrado la asociación del plomo con el déficit mental y otras alteraciones de la conducta neuropsicológica en los niños.

Es necesario acotar, que los problemas ambientales y de salud asociados al plomo identificados y estudiados en el contexto mundial, se refieren en una mayor parte a los compuestos inorgánicos del plomo y al plomo metálico.

a. Metabolismo

El plomo es absorbido por inhalación, por ingestión y a través de la piel. La vía de ingreso, el tamaño de la partícula y el tipo de compuesto de plomo (orgánico o inorgánico), determinan la concentración y la posibilidad de difusión del plomo hacia el organismo. Además de esto, la absorción del plomo depende de factores propios del organismo, tales como edad, el estado fisiológico y la integridad de los tejidos.

En la inhalación del plomo ambiental, según estudios realizados por la ECO/OMS, un 35% del total de plomo inhalado -sea éste inorgánico u orgánico- se deposita en las vías aéreas.

Asimismo dichos estudios reportan que la tasa de absorción gastrointestinal en adultos representa menos del 10% del plomo ingerido, esta tasa a nivel intestinal es igualmente independiente de la forma química del compuesto de plomo; sin embargo, los compuestos orgánicos son los que se absorben más extensivamente.

El plomo absorbido es transportado por la sangre; estableciéndose un rápido equilibrio entre eritrocitos y plasma en una relación de 16:1; a diversos órganos y tejidos, principalmente huesos.

La vida media del plomo en el organismo es en general larga y variable según los tejidos; siendo casi imposible determinar la tasa de eliminación según lo reporta ECO, debido a la presencia de reservorios movilizables del tejido óseo; no obstante, se conocen valores de vida media del plomo en la

sangre, tejidos blandos y huesos de aproximadamente 3-4 semanas, 4 semanas y 20-27 años, respectivamente.

La absorción y acumulación del plomo en ciertos animales y plantas son de gran importancia por el peligro que la ingestión frecuente y prolongada de éstos por el hombre puede significar, ya que se han tenido evidencias de intoxicación por este mecanismo.

b. Efectos sobre la salud

El plomo es un agente tóxico que se acumula progresivamente en el organismo humano, lo cual condiciona que el cuadro clínico de intoxicación plúmbica sea, en la mayoría de los casos, de instalación lenta.

La clínica de las intoxicaciones de plomo es variable, según la vía de ingreso, la cantidad absorbida, el tiempo de exposición y las características propias del individuo expuesto; además tiene la relación con el tipo de exposición, ocupacional o no ocupacional.

Las intoxicaciones que se pueden presentar en la población en general, salvo situaciones de accidentes o contaminaciones masivas, en general suelen ser de carácter crónico las que constituyen el problema epidemiológico de mayor importancia.

Otro aspecto en la clínica de las intoxicaciones por plomo, de acuerdo a ECO/OPS, corresponde a los cuadros subclínicos, producidos por concentraciones relativamente bajas de plomo en el ambiente o causados por plomo proveniente de fuentes ambientales atípicas o insospechadas, bajo un proceso de exposición mantenida y a largo plazo. Tales condiciones pueden provocar morbilidad e incluso mortalidad en ausencia de los síntomas y signos clásicos de la intoxicación por plomo. Este

fenómeno se da de preferencia en la población en general y el daño neuropsicológico en niños es un ejemplo de ello.

Algunos síntomas generales son decaimiento, fatiga, dolores articulares, tos, impotencia sexual, palidez y temblor, los cuales, no obstante, deben tenerse en cuenta por su frecuente asociación con la intoxicación por plomo.

Pasando a explicar efectos más específicos; tenemos que uno de los primeros y más importantes efectos del plomo en el organismo humano es la alteración de la síntesis del grupo hemo, dicha alteración se manifiesta con la aparición en la sangre y la orina de concentraciones anormales de sus precursores y por una palidez acentuada (anemia).

Los efectos del plomo sobre el sistema nervioso, se pueden separar en dos grupos para su mejor comprensión, los efectos producidos sobre el sistema nervioso central y los producidos sobre el sistema nervioso periférico. Así para el primer grupo; bajo una exposición prolongada al plomo puede observarse un cuadro denominado encefalopatía saturnina, cuyos síntomas y signos varían desde cambios psicológicos o conductuales sutiles hasta alteraciones neurológicas graves. Para el segundo grupo es de importancia el daño producido en los nervios motores, que se expresa clínicamente con la parálisis saturnina, cuya manifestación principal es la debilidad de los músculos extensores, en especial los más utilizados por el individuo (falta de fuerza en las manos).

En el sistema reproductor se han descrito; en la mujer efectos tales como aborto, disfunción ovulatoria, mortinatos, parto prematuro; y en el hombre esterilidad, astenospermia, hipopermia y teratospermia, aunque en estos casos no se tienen datos concluyentes sobre el efecto del plomo.

Así también el plomo afecta el sistema gastrointestinal siendo uno de los síntomas más característicos del saturnismo

en este sistema el cólico. El cólico se produce incluso en exposiciones a concentraciones bajas de plomo y en la mayoría de los casos suelen aparecer junto con los otros síntomas y signos de la intoxicación.

No se tiene certeza si los efectos vasculares, tales como aumento de permeabilidad capilar, alteraciones cerebrovasculares, aumento de la arterioesclerosis y aparecimiento de hipertensión arterial, se deben a la acción directa del plomo sobre los vasos o a la acción indirecta sobre los riñones.

El saturnismo puede determinar también un deterioro de las funciones de la tiroides y de las suprarrenales (sistema Endocrino).

Luego de haber sido descritos los efectos del plomo en los diferentes sistemas es necesario señalar que además de estos y de los posibles efectos teratogénicos (anomalías congénitas), la preocupación radica en los efectos que pueda tener el plomo en el desarrollo general del organismo humano cuando ocurre exposición muy temprana a bajas concentraciones, pues se han descrito efectos tales como reducción del período gestacional, bajo peso al nacer, mortinato, alteraciones del desarrollo neuroconductual, retardo en el crecimiento, menor estatura.

En relación a la carcinogenicidad, no existe datos indicativo de que la exposición a compuestos de plomo cause cáncer en el hombre, las evidencias existentes son discutibles y están limitadas a algunos compuestos orgánicos de plomo en pocos estudios en humanos y en animales.

La información presentado en los parrafos anteriores en relación a la sintomatología corresponde a la expuesta por la ECO en su serie de vigilancia.

3.3.3 Cadmio

El cadmio en su forma natural presenta poca importancia como fuente de contaminación para el ambiente; lo más frecuente es que la contaminación del medio sea producida por actividades humanas en minería e industria.

El conocimiento de sus efectos sobre la salud se desarrolló con el reconocimiento de la enfermedad itai-itai¹ (ay-ay), la cual recibió este nombre por los dolores óseos y musculares en los afectados. Esta fue descrita con ocasión de la contaminación de los alimentos por cadmio originada en una mina cercana a la ciudad de Toyama, Japón.

Los estudios de correlación entre la contaminación del ambiente por cadmio y la salud han logrado evidenciar que las concentraciones encontradas en el aire, agua y alimentos han sido mucho más altas en los lugares en donde se conocen episodios de intoxicación de la población por cadmio que en aquellos en donde no se les ha detectado. En donde se describió por primera vez la enfermedad itai-itai, se encontró 2 mg Cd/kg (2 ppm) en el arroz que era consumido por la población, así lo manifiesta la serie de vigilancia 4 publicada por la ECO.

a. Metabolismo

El cadmio ingresa al organismo por inhalación o ingestión. El ingreso por la piel no está comprobado.

..."La absorción alimentaria es afectada por una serie de factores, como son la edad, y las deficiencias de calcio, hierro, zinc y proteínas"... (Commission of the European Communities, en *Guías para la calidad de agua potable. 1987: 89*); es así que deficiencias de estos elementos podrían elevar el índice de absorción intestinal. En personas normales, sólo del 5 al 7% del cadmio ingerido es

¹ Itai-itai enfermedad que debe su nombre a los fuertes dolores óseos y musculares de los afectados, los cuales al no poder soportar éstos, daban gritos de dolor (ay-ay)

aborbido por vía gastrointestinal en anémicos puede llegar a 20%.

El cadmio absorbido es transportado por la sangre a diversos órganos y tejidos, principalmente riñones e hígado en el organismo, 50% del cadmio absorbido se encuentra en estos órganos. Otros órganos que acumulan cadmio son los músculos, el páncreas, las glándulas salivales.

La eliminación del cadmio acumulado en el organismo se hace principalmente a través de la orina y por las heces. Entre el 90 al 95% de cadmio ingerido, según lo afirma la ECO, es eliminado por las heces, lo que hace que la importancia solamente sea significativa cuando existe un alto índice de contaminación ambiental, lo cual repercute en las concentraciones de cadmio de los alimentos.

La vida media del cadmio en el organismo es muy larga y se estima entre 10 y 30 años, período en el cual permanece almacenado en varios órganos.

El cadmio puede acumularse en altas concentraciones en una gran variedad de organismos marinos y en algunas plantas. También el cadmio puede depositarse en las riberas de ríos y costas marinas, aunque no se han descrito niveles que representen peligro para el medio ambiente.

La acumulación del cadmio en animales es de gran importancia por el peligro que la ingestión prolongada de éstos puede significar, aunque hasta el momento no se tiene evidencias de intoxicación por este mecanismo.

b. Efectos sobre la salud

Las intoxicaciones que se pueden presentar en la población en general, salvo situaciones de accidentes o

contaminaciones masivas, por ejemplo de alimentos, suelen ser en general de carácter crónico.

La clínica de las intoxicaciones por cadmio es variable, según su vía de penetración, la cantidad absorbida, el tiempo de exposición y las características propias del individuo expuesto. Además, tiene relación con el tipo de exposición ocupacional o ambiental.

En el caso de ingestión de altas cantidades, los síntomas (manifestaciones agudas) son náuseas, vómitos, dolores abdominales y cefalea, en muchos casos hay una diarrea intensa con colapso; estos síntomas aparecen con la presencia del cadmio en agua o en alimentos en concentraciones de alrededor de 15 ppm, así lo manifiesta ECO en su serie de vigilancia 4.

La ingestión prolongada del cadmio, aunque no es muy frecuente, se puede presentar en la población en general. El ejemplo más conocido es el de Japón, donde se observó una grave enfermedad ósea, problemas gastrointestinales, anemia, daño renal y trastornos hepáticos (enfermedad itai-itai).

Tanto la inhalación como la ingestión del cadmio han sido causas de variados daños al organismo, así uno de los efectos más típicos y precoces de la larga exposición al cadmio es el daño que sufre la función renal, los pulmones son también considerados órganos críticos en la exposición al polvo de cadmio.

La administración oral de 10 mg de cadmio puede originar trastornos gastroduodenales con náuseas y vómitos como respuesta inmediata, aunque la dosis oral aguda con efectos mortales para un adulto es superior a 350 mg.

En el 16° Informe del Comité Mixto FAO/OMS de expertos en aditivos alimentarios, (abril 1972), se recomendó

que la ingesta provisional tolerable de cadmio no excediera de 400 - 500 ug a la semana en una persona adulta, lo cual equivale a 57 71 ug/día. "Basándose en estudios epidemiológicos, se ha sugerido como dosis umbral para producir efectos la ingestión de 200 ug/l absorbidos (suponiendo un 6% de absorción oral".. (Guías para la calidad de agua potable.1987:91).

Aparentemente el cadmio no tiene efecto directo en la hematopoyesis, mas bien parece tener efecto de interferencia en la absorcion del hierro de los alimentos; estos efectos se manifiestan principalmente por una disminución de los niveles de hemoglobina; son de carácter reversible. Se han reportado también tasas elevadas tasas de hipertensión arterial .

En la enfermedad itai-itai se han comprobado, también osteomalacia y grados variables de osteoporosis.

En referencia a la información presentada por las las guias de calidad, es bueno destacar el llamado hecho a la Comisión Europea la cual afirma que de acuerdo a los estudios y experimentos realizados en animales a los que se les aplicó dosis de cadmio; después de periodos prolongados de exposición oral a bajos niveles se comprobó hipertensión; así como efectos teratógenos, mutágenos y carcinógenos posteriores cuando se inyectaron dosis altas.

3.3.4 Zinc

Los alimentos son la mayor fuente de zinc para los seres humanos. La ingesta diaria promedio para un hombre "normal" se estima en 12 mg.

El zinc es un elemento esencial tanto para los animales como para el hombre y es necesario para el funcionamiento de diversos sistemas de enzimas.

La ingesta diaria de zinc que se recomienda, según la edad y el sexo, es entre 4 y 15 mg/día. Las mujeres gestantes y niños necesitan hasta 16 mg/día.

El zinc puede considerarse como no tóxico. La baja toxicidad del zinc y los mecanismos eficientes de control homeostático hacen que la toxicidad crónica del zinc proveniente del agua y las fuentes alimenticias constituyan un peligro improbable para el hombre.

Los síntomas de toxicidad por zinc en los seres humanos incluyen vómitos, desequilibrio electrolítico, dolor abdominal, náusea, letargo, mareos y pérdida de coordinación muscular. Se sabe de casos de insuficiencia renal aguda producida por cloruro de zinc.

Dosis diarias de 150 mg de zinc interfieren con el metabolismo del cobre y del hierro debido a que el zinc es un antagonista metabólico de ambos metales. Sin embargo cuando la ingesta dietética del cobre y el hierro es adecuada, existe poco problema aun con dosis altas de zinc. El zinc es también un antagonista metabólico del cadmio. Las ingestas altas de zinc pueden, en ese sentido, aportar alguna protección frente a los efectos tóxicos de la exposición al cadmio en el ambiente.

El zinc imparte al agua un sabor astringente desagradable; además, el agua que contiene zinc en concentraciones por encima de los 5 mg/l puede parecer opalescente y crear una película grasosa al hervir.

3.3.5 Hierro

El hierro es esencial para los organismos vivos en concentraciones pequeñas, pero es altamente tóxico en niveles altos. El organismo humano tiene mecanismos para prevenir su absorción en exceso.

En el organismo humano, la mayor parte del hierro se encuentra asociada a complejos proteicos y en forma predominante en la

hemoglobina, pero existen reservas de ese metal distribuidas en el hígado, bazo y médula ósea en forma de ferritina y hmobioderina.

Este metal es de difícil absorción por el organismo, pero cuando lo hace, su excreción es difícil. A través de las heces, son eliminados entre 6 a 16 mg de hierro/día y la mayor cantidad lo constituyen compuestos de hierro no absorbidos que fueron ingeridos con los alimentos. Se estima entre 0.2 y 0.5 mg el total metabolizado y excretado. A través de la orina son eliminados entre 0.02 a 2.0 mg/día, dependiendo de su ingestión. Debe considerarse las pérdidas a través del sudor, descamación dérmica, uñas y cabellos. En términos promedios normales, se estima pérdidas de hierro entre 0.6 a 1.0 mg diarios, siendo ésta de magnitud cuando se les compara con la absorción diaria, del orden de 1.0 a 1.5 (si se considera una baja absorción de ese elemento en la dieta normal, su ingestión promedio debería ser de 10 a 20 veces esa cantidad).

El hierro es tóxico cuando es administrado parenteralmente; los adultos tienen una buena protección contra dosis orales elevadas, lo que no ocurre con niños pequeños. En general, los niveles tóxicos a largo plazo, están entre 340 a 1700 veces arriba de las necesidades diarias. Dosis parenterales elevadas pueden producir intoxicación crónica, provocar lesiones hepáticas y pancreáticas. Intoxicaciones agudas por ingestión provocan letargo, náuseas, pulso rápido, caída de presión sanguínea y coma. En este estado, la muerte puede ocurrir dentro de los 12 a 48 horas. En niños (+1 - 2 años) han ocurrido casos fatales al ingerir dosis de 5 a 10g de hierro.

El hierro interactúa fisiológicamente con varios otros elementos, siendo los de mayor importancia el Mn, Cu, Zn, Pb, elementos que tienden a aumentar la demanda de hierro. Señales de intoxicación por cobre son eliminados mediante ingestión suplementaria de Fe y Zn. En niños expuestos a bajos niveles de plomo el hierro los protege de los efectos neurológicos de este elemento (Pb). El exceso de Mn dificulta la regeneración de la hemoglobina y reduce la absorción de hierro. (CEPIS estudio sobre efectos del fiero y manganeso).

3.3.6 Manganeseo

Las principales fuentes de contaminación de los diversos componentes del medio lo constituyen las actividades mineras, industriales y agrícolas.

La importancia de los diversos componentes del medio como mecanismo de exposición para la población en general, es variable según las características locales, industriales, geográficas de contaminación, etc. Sin embargo, el agua y los alimentos presentan mayor trascendencia e interés al respecto.

"...En bajas concentraciones, el manganeseo es un elemento esencial para el organismo humano. Es también un elemento esencial para algunas plantas y por esto tiene gran aplicación en la agricultura, la cual es en gran parte responsable de la contaminación del ambiente por este elemento" ... (ECO. Serie 6. 1987:1)

Cuando el manganeseo está presente en aguas superficiales naturales, ocurre tanto en forma disuelta como suspendida.

"Han ocurrido algunos episodios en los que han sido posible establecer una relación entre la exposición ambiental al manganeseo y el desarrollo de enfermedades en la población. Uno de ellos, en Japón (1941), se originó con la ingestión de agua contaminada por desechos de baterías. En Noruega (1924-37), se demostró que hubo un incremento en ocho veces de la tasas de mortalidad por neumonía lobar en una población vecina a una planta de fabricación de hierro y silicomanganeseo" ... (ECO. Serie 6. 1987:1)

A partir de estos estudios se puede hablar de situaciones en las que la contaminación de agua, aire y alimentos con manganeseo y sus compuestos, causó un incremento de la exposición y, por supuesto, de efectos adversos en la salud de las poblaciones.

Los efectos del manganeseo en la salud parecen estar relacionada con las concentraciones encontradas en los tejidos, sino con

el tiempo de exposición. El manganismo puede originar lesiones graves e irreversibles en el sistema nervioso central, causando un cuadro clínico semejante a la enfermedad de Parkinson.

a. Metabolismo

Existen estimaciones que un adulto puede ingerir diariamente entre 2 y 9 mg de manganeso.

Existe a su vez poco conocimiento acerca del mecanismo de absorción del manganeso a nivel del tracto respiratorio y digestivo, aunque es posible afirmar que éstas son las dos vías principales. La ECO en su serie de vigilancia N° 6 afirma que la absorción por la vía respiratoria es la más importante, pues debido a su baja solubilidad en el jugo gástrico sólo el 3 ó 4% del manganeso ingerido llega a absorberse por el tracto intestinal.

El manganeso absorbido es rápidamente eliminado de la sangre y se distribuye en el hígado, riñones y glándulas endocrinas. Una pequeña cantidad se concentra en el cerebro y en los huesos. La cantidad que se concentra en el cerebro permanece en este órgano por mucho tiempo. "Un 95 a 98% del manganeso absorbido se elimina a través de la bilis por las heces, la orina contribuye apenas con 3% de su eliminación"...

(ECO.serie 6. 1987)

..."La vida media del manganeso en el organismo es de 15 a 37 días, aunque en el cerebro se han encontrado concentraciones significativas hasta 278 días después de la absorción"...

(ECO.serie 6. 1987)

b. Efectos sobre la salud

Las intoxicaciones que se puedan presentar en la población en general suelen ser de carácter crónico. En la

población ocupacional es frecuente encontrar tanto intoxicaciones agudas como crónicas muy características.

En general las manifestaciones agudas son inespecíficas, podrían referirse como irritantes de membranas mucosas y se asemejan a otros cuadros desencadenados por altas concentraciones de polvos.

Las principales manifestaciones encontradas en la intoxicación crónica por el manganeso se refieren al sistema nervioso central y al aparato respiratorio, así para el primer caso según los revela ECO la intoxicación mangánica presenta un cuadro muy parecido al parkinsonismo; en el segundo caso estudios sugieren que el manganeso está asociado a una mayor incidencia de bronquitis y de neumonía lobar en personas expuestas a concentraciones altas de manganeso en el aire.

..."No existen pruebas de que el Mn sea carcinógeno. Por el contrario, diversos estudios sugieren que puede tener un efecto anticarcinógeno"... (*Gula para la calidad del agua potable. 1987: 290*).

3.3.7 Arsénico

El ambiente en general es contaminado a través de los desechos industriales y mineros líquidos, sólidos o gaseosos; es así que el uso de productos a base de arsénico, la presencia de plantas industriales y además la contaminación atmosférica, pueden elevar en mucho los niveles encontrados.

Sus efectos adversos sobre la salud son muy variados y van desde lesiones de la piel hasta cuadros clínicos graves de los sistemas gastrointestinal, circulatorio periférico y nervioso. Es también agente carcinógeno, pues causa cancer de piel y de pulmón.

Su importancia para la salud ha sido analizada y discutida a través de numerosos estudios desde hace mucho tiempo y en todos

ellos se ha logrado demostrar una serie de efectos que estan asociados fuertemente a la exposición del arsénico, sea por contaminación natural u aquella ocasionada por las actividades industriales o agrícolas del hombre.

a. Metabolismo

"La toxicidad de los compuestos arsenicales dependerá de la forma química y física del compuesto, de la vía de ingreso en el organismo, de la dosis y duración de la exposición, de los niveles dietéticos de los elementos interactuantes, y de la edad y sexo del individuo expuesto" (*Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. 1978 en Guías para la calidad del agua potable OMS. 1987:68*).

De acuerdo a lo expuesto por la - ECO - el arsénico y sus compuestos se introducen al organismo principalmente por:

Inhalación de polvos en el aire contaminado, absorbiéndose en el pulmón una proporción aproximada del 50% de lo inhalado.

Ingestión, a través del sistema gastrointestinal el cual absorbe aproximadamente en promedio un 80% del arsénico.

Absorción a través de la piel.

El arsénico absorbido, se distribuye a través de la sangre por todo el cuerpo. Horas después se verifican altas concentraciones de éste en el hígado y los riñones, pero éste nivel tanto en la sangre como en el hígado y riñones baja rápidamente. El arsénico ingerido sufre rápida eliminación. Con el tiempo, los principales depósitos de arsénico en el organismo son los huesos y los músculos.

La vida media del arsénico en el hombre ha sido calculada en 10 horas para las formas inorgánicas, 30 horas para las formas orgánicas y 20 horas para las formas provenientes de los alimetos del mar.

La exposición conjunta a arsénico y plomo presenta efectos aditivos en los tejidos respiratorios y en el sistema nervioso central.

b. Efectos sobre la salud

Las manifestaciones clínicas de las intoxicaciones con este metal pueden ser agudas o crónicas, con carácter local o sistémico. Según lo reportado por ECO/OPS, la intoxicación aguda es generalmente accidental, presentando manifestaciones gastrointestinales tales como vómitos, diarreas y dolores abdominales; y nerviosas como cefalea, crisis convulsivas y pérdida del conocimiento.

Las manifestaciones crónicas son, desde el punto de vista epidemiológico, las más importantes porque son las que más frecuentemente se observan en poblaciones ocupacionales y no ocupacionales expuestas al arsénico. Estas manifestaciones se presentan en todo el cuerpo en general.

Alteraciones en la piel. (ulceraciones, hiperqueratosis, hiperpigmentación con máculas blancas y prurito).

Alteraciones de las mucosas.

Alteraciones del sistema nervioso. (neuritis periférica).

Alteraciones hematológicas. (anemia moderada y leucopenia).

Alteraciones hepáticas. (cirrosis hepática, cancer primario de hígado y cancer hepatobiliar).

Problemas cardiovasculares.

Efectos carcinogénicos (cancer de piel y de pulmón)

Efectos teratogénicos y genéticos.

"El envenenamiento puede producirse incluso con dosis tan bajas como de 3 - 6 mg/día durante períodos prolongados" (Lisella. 1972 en *Gulas para la calidad del agua potable*. 1987:68). Incluso una cantidad de 0.6 mg/l podría haber sido la causa de fallecimiento de lactantes en Chile, así lo reportan Rosenberg y Zaldivar en sus respectivas publicaciones tomadas como referencia en la

CUADRO III - IV
EFFECTOS CRONICOS CAUSADOS POR DESPERDICIOS PELIGROSO SELECCIONADOS (Metales toxicos)

Tipo de desperdicio	Efectos carcinogénicos	Efectos mutagénicos	Efectos teratogénicos	Daños al sistema reproductivo
Zinc, cobre, selenio, cromo, níquel	H	****	****	****
Arsénico	****	****	****	****
Compuestos orgánicos de plomo	****	****	****	****
Mercurio	****	H	H	****
Cadmio	H	****	****	****

Nota: H = efectos estadísticamente verificables en los seres humanos.

Fuente: Adaptado de Benjamin Goldman, et al., *Hazardous Waste Management: Reducing the Risk* (Island Press, Washington, D.C., 1986), p.24.

Tomado de: Recursos Mundiales 1987, pag 238. World Resources Institute.

CUADRO III -V
EFFECTOS AGUDOS CAUSADOS POR DESPERDICIOS PELIGROSO SELECCIONADOS (Metales toxicos)

Tipo de desperdicio	Daño al sistema nervioso	Daño al sistema gastrointestinal	Daño al sistema neurológico	Daño al sistema respiratorio	Daño a la piel	Muerte
Zinc, cobre, selenio, cromo, níquel	H	H	****	H	H	****
Arsénico	****	H	****	****	H	H
Compuestos orgánicos de plomo	****	H	H	****	****	****
Mercurio	H	H	H	H	****	H
Cadmio	****	H	****	****	****	H

Nota: H = efectos estadísticamente verificables en los seres humanos.

Fuente: Oficina del Gobernador para Tecnologías Adecuadas, grupo de Evaluación de Desperdicios Tóxicos, *Alternatives to the Land Disposal of Hazardous Wastes,*

An Assessment for California (1981). Citado en Benjamin A. Goldman, et al., *Hazardous Waste Management: Reducing the Risk* (Island Press, Washington, D.C., 1986); p.23.

elaboración de las guías de calidad de agua, existiendo algunas dudas al respecto.

Un grupo de trabajo de la OMS y el Organismo de Protección Ambiental de los Estados Unidos llevaron a cabo evaluaciones respecto al riesgo de contraer cáncer de la piel; estimaron, aplicando un modelo lineal sin umbral, que la exposición de por vida al arsénico presente en el agua potable a una concentración de 0.2 mg/l propiciaba un 5% de riesgo de contraer cáncer de piel (en este modelo se supone que el metabolismo de arsénico es igual tanto cuando la exposición es baja como cuando es alta).

El arsénico puede interactuar con otros metales como el plomo, el cadmio y el selenio, acentuando los efectos causados por éstos o produciendo algunos cuadros en particular.

3.4 EFECTOS DE LOS METALES PESADOS EN LA FLORA Y FAUNA

3.4.1 Flora

Una vez que se han satisfecho los requerimientos de elementos minerales para el desarrollo de las plantas, las concentraciones mayores de éstos pueden ser tóxicas y reducir el crecimiento. Las concentraciones de macronutrientes² pueden ser relativamente altas, antes de que ocurran las reducciones en el crecimiento. Sin embargo, en el caso de los micronutrientes³ y de elementos no esenciales⁴, niveles relativamente bajos pueden provocar reducciones en el crecimiento. "A niveles muy bajos, se observado que elementos no esenciales favorecen el desarrollo de la planta"

(Bollard, et al. en Christiansen:1991:145)

² Entre ellos estan el calcio, magnesio, potasio.

³ Entre ellos estan manganeso, fierro, cobre, zinc.

⁴ Dentro de este grupo se encuentran el cadmio, plomo, mercurio, cromo.

El nivel al cual ocurre la reducción del crecimiento depende del elemento y de la especie de la planta así como también del suelo⁵. Ciertas plantas pueden tolerar niveles muchos más altos de metales pesados que otras.

En la tabla III-2 se presentan los valores umbrales de toxicidad para varios metales pesados sobre la elongación radicular de la plántula de la lechuga. En los diversos elementos probados se observó un amplio margen de valores umbrales de toxicidad; el cadmio tuvo el valor más bajo y el manganeso el más alto. Aún cuando el umbral del nivel de toxicidad puede haber sido relativamente bajo, los valores para los niveles letales de toxicidad de los elementos no presentaban necesariamente la misma magnitud de diferencia de los valores de los niveles umbrales. Por ejemplo, el nivel de toxicidad para el cobre era de 15meq/l, pero el nivel de toxicidad letal para el cobre era sólo 22meq/l, es decir, 1.5 veces mayor. El nivel umbral de toxicidad del Ni fue de 19meq/l, pero su nivel de toxicidad letal fue de 5000, es decir, mas de 260 veces.

Tabla III-2

Niveles de toxicidad de metales pesados sobre el crecimiento radicular de plantulas de lechuga

Elemento	Umbral de Toxicidad	50% de toxicidad sobre el crecimiento 1/	Toxicidad letal
Cadmio	1.6	7	90
Cobre	15	16	22
Zinc	63	105	2,500
Manganeso	3,200	5,600	27,000

1/ (ueq/l)

Fuente: Christiansen y Lewis, 1991

⁵ "En el caso de algunos elementos, el suelo tendría la capacidad de alterar los límites de toxicidad. Se ha demostrado que el Ca y los agentes quelantes tienen un pronunciado efecto d amortiguación sobre las toxicidades por metales pesados"(Wallace:1991)

a. Cobre

Las hojas de plantas que recibieron exceso de cobre presentaron rayas claras muy leves, similares a la deficiencia de fierro, con rayas rojas a lo largo de los márgenes. Las raíces mostraron un color rojo ligeramente más oscuro y estaban viscosas"

(Christiansen y Lewis:1991: 143)

b. Plomo

"El plomo es un elemento que actúa en forma localizada. Este metal se acumula en el suelo, agua y vegetales. Cuando los animales se alimentan de vegetales contaminados también sufren su acción"...

"El plomo depositado en el suelo es almacenado en las raíces debido a su poca movilidad; la contaminación atmosférica en cambio daña las partes aéreas de las plantas. Se necesitan concentraciones relativamente altas para producir toxicidad; por ejemplo valores como 1000 mg/dm³ de plomo en el suelo. Solo una pequeña parte de plomo es absorbida por la planta y el resto se deposita en la superficie de la misma, lo que constituye una amenaza para los herbívoros.

Generalmente, este elemento se sedimenta en las partes expuestas de la planta y se elimina por acción de un lavado simple de lluvia (entre el 65% y el 100%). La concentración depende de las condiciones meteorológicas, como vientos y precipitaciones, además de la cantidad de partículas emitidas"...

"El análisis de sus efectos en plantas reveló que al penetrar este elemento en el citoplasma, inhibe a las enzimas que tienen relación con el proceso clorofílico" *(Fundación Natura)*.

Las hojas de las plantas que recibieron un exceso de plomo tenían un color café rojizo y tenían manchas necróticas con un color rojo a su alrededor. Los ápices estaban más afectados que

las bases de las hojas, y la intensidad de los síntomas aumentaba del margen a la vena central. Las raíces estaban más cubiertas de cerdas y presentaban menos raíces accesorias pero se mostraban más normales que las cultivadas con C". (Christiansen y Lewis:1991:144)

c. Cadmio

Las hojas con exceso de cadmio exhibían un color rojo encendido que se extendía del margen hacia la vena media. las hojas seriamente afectadas adquirieron un color rojo intenso en toda la hoja. Las raíces tenían un color rojo oscuro, eran pequeñas y no mostraron crecimiento de raíces secundarias". (Christiansen y Lewis:1991: 144)

d. Zinc

Las hojas con exceso de zinc tenían un color más claro con algunas lesiones necróticas en el tejido intervenal. La coloración más clara se extendió de modo uniforme en la mayor parte de la hoja. Los ápices mostraron marchitez por hongos y en el material foliar que nacía del verticilo se observaron síntomas de deficiencia de fierro. Las raíces no mostraron efectos perjudiciales". (Christiansen y Lewis:1991: 143)

e. Fierro

Las hojas de plantas que recibieron un exceso de fierro adquirieron un color pajizo negruzco desde los márgenes hacia la vena media antes de morir. las hojas afectadas en menor grado a veces presentaron un color verde oscuro, y sólo mostraron síntomas en los tejidos marginales. Las raíces estaban oscuras, pegajosas y muy rojas". (Christiansen y Lewis:1991: 142)

f. Manganeso

Las hojas de las plantas que recibieron un exceso de manganeso mostraron un color verde mas oscuro que las hojas

normales, asimismo se observaron numerosas manchas rojizo-purpura oscuras sobre la hoja. Los márgenes de las secciones del ápice de la hoja se tomaron de un color café claro y murieron. En algunas plantas, el exceso de manganeso provocó que se desarrollara una deficiencia de fierro en las hojas superiores. No se observaron síntomas anormales en las raíces." (Christiansen y Lewis:1991: 141)

3.4.2 Fauna

a. Cobre

"El cobre es necesario para la respiración celular, la formación de huesos, una apropiada función cardíaca, el desarrollo del tejido conectivo, mielinización de la médula espinal, keratinización y pigmentación de los tejidos. El cobre es un componente esencial en varias metaloenzimas importantes. En relación con el sistema inmunológico, la deficiencia de cobre afecta a las células T y B, los neutrofilos y los macrófagos. Por lo tanto reduce la cantidad de células que producen anticuerpos.

La tolerancia de varias especies de ganado a la toxicidad crónica de cobre varía considerablemente, y algo de variación existe entre razas de animales. Por ejemplo las ovejas merino son más tolerantes a los niveles tóxicos de cobre que otras razas de ovejas. Los animales monogástricos son más tolerantes a la toxicidad por el cobre, siendo los rumiantes los más susceptibles.

Para ganado vacuno, el nivel de tolerancia es de 100 ppm de cobre. En cambio para las ovejas, éste es de 25 ppm. El envenenamiento por el cobre, ya sea en su forma aguda o crónica, ha sido reportada en casi todo el mundo.

convulsiones, parálisis, colapso y muerte. "Hipercohemia" puede predisponer a los animales a anemia, distrofia muscular, bajo crecimiento, y deterioración de la reproducción. Un estado crítico de envenenamiento es observado generalmente cuando se administran accidentalmente dosis excesivas de sales de cobre, las cuales pueden estar presente en mezclas de alimentos mal formulados, y en baños antihelmínticos.

La toxicidad crónica por el cobre bajo condiciones de pastoreo ocurre como resultado de un consumo elevado de cobre o de un consumo muy bajo de Mo y S. Por ejemplo, bajo condiciones de pastoreo, la toxicidad por el cobre en ovejas puede ocurrir donde existen concentraciones normales de cobre en el suelo y las plantas pero la concentración de molibdeno es muy baja (0.1 a 0.3 ppm). La toxicidad crónica por el cobre puede ocurrir también en ovejas consumiendo una dieta con más de 20 ppm de cobre. Todd concluyó que la toxicidad crónica por el cobre en rumiantes está casi enteramente confinada al ganado ovino y a los terneros. Para tratar la toxicidad por el cobre, se recomienda que se administre Mo y S." (McDowell et al. 1993:28)

b. Plomo

"En los animales sucede algo parecido a lo ocurre en las plantas con respecto al plomo. El mecanismo químico de inhibición de la clorofila en las plantas tiene su homólogo en los animales, en la síntesis de la hemoglobina en lugar de la clorofila, al inhibir los procesos enzimáticos que hacen que se formen protoporfirinas.

El plomo se acumula en determinados órganos, en un ensayo con ratas se encontraron incrementos de la cantidad de plomo en los huesos, dientes, cerebro, hígado, glándulas sexuales, plasma sanguíneo y otros.

Los efectos del plomo sobre ovinos y bovinos se debe en gran parte a la ingestión de leche materna contaminada. Los síntomas son parálisis de la lengua y estremidades, diarreas periódicas, anemias y síntomas de debilidad en general.

El plomo es un potenciador de los efectos tóxicos de otras sustancias, altera la reproducción, es teratogénico e inhibe el crecimiento bacteriano.

Se ha comprobado que en las ratas disminuye el número de células sexuales (espermatogonías) e incrementa el número de patologías en estas células, incrementa la mortalidad embrionaria e inhibe el crecimiento de bacterias" (*Fundación Natura*).

c. Cadmio

Los valores más altos de concentraciones de cadmio en animales ocurren en el hígado y riñón donde el cadmio es acumulado. Concentraciones de cadmio en la sangre, músculos, leche y huevos de aves de corral, no son afectados por valores elevados de cadmio en la dieta.

La importancia en relación a los animales de granja depende de los efectos de la dieta del cadmio sobre la salud de los animales y también sobre el cadmio contenido en sus tejidos, si estos son para consumo humano.

La toxicidad para animales ocurre a concentraciones de cadmio en la dieta substancialmente en exceso de 3mg/kg excepto para los corderos los cuales son particularmente sensibles teniendo como umbral de 1.0-1.5 mg Cd/Kg en la dieta sería más apropiado.

Cuando los animales son para consumo humano la concentración en la dieta animal queda restringida a 1mg/Kg, siendo necesario el monitoreo.

d. Zinc

"La función primaria del Zn en el cuerpo parece estar relacionada a su asociación con las enzimas, ya sea como parte de la molécula o como activador"... (McDowell et al: 1993:41).

"El Zn tiene muchas interacciones significantes con las hormonas. Tien un papel en la producción, el almacenamiento y secreción de hormonas individuales, así como también en la efectividad de los sitios receptores y la respuesta de organos terminales" (McDowell et al: 1993:41).

"El requerimiento mínimo de Zn para los rumiantes varía con la forma química de combinación de la cual el elemento ocurre con otros componentes de la dieta. Los requerimientos de Zn para los rumiantes varían de 20 a 40 ppm.

"Los bovinos, los ovinos y la mayoría de mamíferos exhiben considerable tolerancia al alto consumo de Zn. La magnitud de tolerancia depende principalmente de los contenidos relativos de Ca, Cu, Fe y Cd con los cuales el Zn interactúa en los procesos de absorción y utilización. Los niveles dietéticos de Zn en exceso de 500 ppm son necesarios para afectar adversamente la productividad de los rumiantes" (McDowell et al: 1993:42).

e. Fierro

"El fierro existe en el cuerpo principalmente en formas complejas, enlazado con proteínas (hemoproteínas) como complejos heme (hemoglobina) o mioglobina), como enzimas heme (citocromos en la mitocondria, y microsomas, catalasas y peroxidasas), o como compuestos no heme (flavin-Fe enzimas, transferrín y ferritín). El hierro es un elemento vital en el metabolismo del animal, principalmente en el proceso de respiración celular, como componente de la hemoglobina, la mioglobina, el citocromo y ciertas enzimas.

Los requerimientos de Fe en los rumiantes no están bien establecidos. Sin embargo, es de conocimiento común que los animales jóvenes requieren más Fe que los adultos. Para los rumiantes adultos, los requerimientos de Fe se estiman entre 30 y 60 ppm, mientras que los requerimientos de los terneros son de 100 ppm. Los terneros alimentados sólo con leche (la leche es baja en hierro) tienden a desarrollar deficiencia después de los tres meses. En cambio si los terneros son alimentados con concentrados o forrajes en las primeras semanas, las reservas de Fe en el terreno tienden a ser suficientes para prevenir la anemia.

El hierro es considerado uno de los microminerales menos tóxico. Para los rumiantes, el nivel máximo tolerable es de 1000 ppm. Algunos síntomas de toxicidad son: reducción del consumo de alimento, baja ganancia de peso, diarrea, hipotermia y acidosis metabólica. El desequilibrio mineral tipificado por exceso de hierro asociado con pastos tropicales puede interferir con el metabolismo de otros minerales (por ejemplo, Cu y P)." (McDowell et al. 1993:35)

f. Manganeseo

"El manganeso es necesario en el cuerpo para la estructura normal de los huesos, la reproducción, y la función normal del sistema nervioso. El manganeso es un cofactor en muchas enzimas asociadas con el metabolismo de los carbohidratos y la síntesis de mucopolisacáridos.

Los requerimientos mínimos de manganeso para rumiantes no están establecidos pero podrían encontrarse entre 20 y 40 ppm. El crecimiento del animal no demanda tanto manganeso como lo demanda la reproducción. Asimismo, el requerimiento por este elemento se incrementa cuando el animal consume mucho calcio y fósforo. Bentley y Phillips encontraron que el manganeso en una concentración de 10 ppm era adecuado para el crecimiento pero marginal para la

reproducción. Estos investigadores reportaron que los animales que consumieron una dieta que contenía de 7 a 10 ppm de manganeso crecieron y produjeron leche al igual que los suplementados con manganeso. Sin embargo, las vacas que consumieron la dieta sin suplemento presentaron el estro y concibieron retardadamente y algunos terneros nacieron con las extremidades y tobillos débiles.

Parece que los animales pueden tolerar el manganeo en exceso. El manganeso es considerado uno de los elementos menos tóxicos a pesar de que en dosis altas puede causar toxicidad. Para el ganado bovino y ovino, National Academy of Sciences sugiere qu el nivel máximo es de 1000 ppm. En algunas regiones de Costa Rica, donde existen suelos volcánicos, la concentración de manganeso en los forrajes es alta, lo cual ha resultado en bajas tasas de reproducción en el ganado bovino" *(Lee R. McDowell et al. 1993:35)*

**CUADRO III-VI
ESTANDARES DE CALIDAD DE AGUA Y TOXICIDAD DE ALGUNOS METALES PESADOS**

Arsénico	0.05 (0.05)	Altamente tóxico y cancerígeno en humanos. Como tóxico puede variar de crónico a severo, pudiendo ser acumulable y letal.
Cadmio	0.01 (0.005)	0.005 El cadmio es concentrado en los tejidos, y los humanos pueden ser intoxicados por comida contaminada, especialmente pescado. El cadmio puede estar relacionado con la hipertensión arterial y puede causar náuseas severas. El cadmio se acumula en el hígado y en el tejido del riñón. Este disminuye el crecimiento de algunas cosechas y es acumulado en el tejido de las plantas.
Plomo	0.015 (0.05)	Toxico aculable en el cuerpo humano y en el ganado. El hombre puede sufrir efectos crónicos o agudos. Los niños pequeños son especialmente susceptibles puede experimentar daño a los nervios y retardo.
Cobre	1 (0.5)	0.025 Grandes dosis pueden inducir vómito o daño al hígado en el hombre. Es tóxico para los peces y plantas acuáticas a bajos niveles. Es especialmente tóxico para el salmón en combinación con otros metales como el zinc.
Hierro	0.3 (0.2)	Esencialmente no es tóxico, pero puede ocasionar problemas de sabor.
Manganeso	0.05 (0.05)	Afecta el sabor del agua y puede causar manchas en la ropa lavada. Es tóxico para los animales en altas concentraciones.
Zinc	5 (3.0)	0.1 Puede afectar el sabor del agua a altos niveles. Es tóxico para algunas plantas y para el salmón.

Fuente: Seminario Taller "Rehabilitación de efluentes minero metalúrgicos".

Tema: Drenaje Acido de mina -Procesos

CAPITULO IV

4.0	LA ACTIVIDAD MINERA	
4.1	La minería en el Perú	91
4.2	Características esenciales de la actividad minera	92
	4.2.1 Etapas del proceso de obtención de metales	93
	a. Exploración	94
	b. Minado	94
	c. Concentración de minerales	95
	d. Metalurgia extractiva	95
	4.2.2 Descripción de los componentes de la mina y su importancia en la contaminación de las aguas	97
	a. Labores subterráneas	97
	b. Tajos abiertos	98
	c. Apilamiento de mineral de desecho (pilas o botaderos)	99
	d. Relaves	100
	e. Concentradora e instalaciones de procesamiento	101
	f. Infraestructura e instalaciones	101
4.3	La minería y la contaminación	101
4.4	La minería en la cuenca del río Rímac	105
4.5	Identificación de las empresas a considerar	108
	4.5.1 Compañía minera Casapalca (Americana)	108
	a. Ubicación acceso y extensión	108
	b. Características de la explotación minera y tratamiento del mineral	108
	c. Disposición de desechos	110
	4.5.2 Empresa minera del centro del Perú (Casapalca)	111
	a. Ubicación acceso y extensión	111
	b. Características de la explotación minera y tratamiento del mineral	111
	c. Disposición de desechos	113
	4.5.3 Negociación minera Lizandro Proaño (Tamboraque)	114
	a. Ubicación acceso y extensión	114
	b. Características de la explotación minera y tratamiento del mineral	115
	c. Disposición de desechos	116
	4.5.4 Empresa minera Perubar (Graciela)	116
	a. Ubicación acceso y extensión	116
	b. Características de la explotación minera y tratamiento del mineral	117
	c. Disposición de desechos	117

Relación de tablas.

Tabla IV-1	
Número de empresas según el nivel de producción	92
Tabla IV-2	
Evolución de la producción minera peruana, 1940-93	93
Tabla IV-3	
Procesos metalúrgicos	97
Tabla IV-4	
Efluentes de la industria minera en el Perú	102
Tabla IV-5	
Descargas industriales mineras directas al mar	103

Tabla IV-6	
Descargas industriales mineras indirectas al mar	103
Tabla IV-7	
Principales centros mineros en la Cuenca del río Rímac	106
Tabla IV-8	
Métodos de explotación subterránea (Americana)	109
Tabla IV-9	
Concentrados (Americana)	110
Tabla IV-10	
Características del relave (Americana)	110
Tabla IV-11	
Concentrados (Tamboraque)	116
Relación de esquemas y mapas.	
Esquema IV-1	
Diagrama de flujo de los procesos mineros	96
Mapa IV-1	
Ubicación de los principales asentamientos mineros de la cuenca	107

CAPITULO IV

4.0 LA ACTIVIDAD MINERA

La actividad minera además de la extracción de minerales (exploración y minado), comprende también el proceso de concentración de minerales denominados no ferrosos, dicha etapa está definida como una actividad industrial y esta clasificada bajo el CIIU 3720 (industria básica de metales no ferrosos).

4.1 LA MINERIA EN EL PERU

El Perú, constituye un territorio de gran riqueza mineral que se evidencia por la ocurrencia de numerosos y variados yacimientos minerales, tanto en la producción como a nivel de potencial, representado por reservas de enormes proporciones. Este hecho se refleja en la tremenda gravitación que tiene la minería en la economía nacional. Así aproximadamente 50% de las divisas que el país obtiene por concepto de exportaciones, se debe a la minería.

Para 1994 la minería representó entre el 2.5% del PBI, el valor de las exportaciones en este sector ha llegado a representar para 1994 más del 41 % del valor de las exportaciones del país, generando empleo y tributos.

El emplazamiento natural o escenario geográfico principal de la minería lo constituye el macizo andino, al cual ciertamente debe su formación. Un rasgo particularmente significativo, favorecido por sus especiales características geológicas, es el carácter múltiple polimetálico de los yacimientos.

"Según su clase, las sustancias minerales se clasifican en metálicas, no metálicas, carboníferas y geotérmicas. Estando la producción minera representada casi íntegramente por la producción metálica, que alcanza cerca del 98% del total, referida fundamentalmente a cobre, plata, plomo, zinc, hierro y oro. A su vez la producción está destinada en su mayor parte a la exportación como materia prima, con muy poca transformación industrial o valor agregado'...

(ONERN Los Recursos Naturales del Perú)

Asimismo según el nivel de producción y capitalización se diferencia esta actividades en: gran, mediana y pequeña minería según se presenta en la siguiente tabla.

Tabla IV-1
Número de Empresas Mineras según el Nivel de Producción

(1)	Total empresas	Planta de Beneficio	Paralizada
Gran minería	6	13	-
Mediana minería	34	36	3
Pequeña minería	55	21	24
Minería artesanal	117	5	63
Minería no metálica	40	10	74

(1) Clase de minería según el nivel de producción.

Fuente: Asuntos Ambientales, Boletín de la DGAA, Año 1 No 1, 1995

La minería históricamente ha representado un elemento propulsor del desarrollo del país desde épocas remotas. Nuestros antepasados ya la practicaban; los incas al igual que nosotros ahora, valoraron la importancia de los metales y minerales en su desarrollo. Lo que ha variado en el tiempo es la forma de realizar la minería. Hoy en día, los volúmenes son mucho mayores, el proceso es más sofisticado y eficiente, y los alcances de su impacto en la sociedad son más evidentes. (Ver tabla IV-2).

4.2 CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DE LA ACTIVIDAD MINERA.

... "La industria minera tiene como objetivo la extracción de minerales del entorno natural y su posterior tratamiento, con el propósito de poner en el mercado las materias primas que se requieren para satisfacer las necesidades de la población. Cabe resaltar que la extracción de minerales no tiene como único propósito la obtención de metales a partir de ellos sino que, en algunos casos, estos minerales pueden ser usados directamente... (Un enfoque técnico legal de la minería en el Perú. 1993)

Esta labor se refiere principalmente a la minería que se ocupa de la extracción y posterior tratamiento de minerales denominados no ferrosos.

En el esquema IV-1 se presenta el diagrama de flujo correspondiente a la obtención de metales

Tabla IV-2
Evolución de la Producción Minera Peruana : 1 940 - 93

Años	Cobre (T.M)1/	Plomo (T.M)	Zinc (T.M)	Hierro (T.L)2/	Plata (Kg)	Oro (Kg)
1 940	44	50	18	-	602	8 748
1 945	32	54	61	-	404	5 370
1 950	33	62	78	-	418	3 964
1 955	41	121	151	1 056	661	8 028
1 960	184	131	157	3 947	1 016	5 508
1 965	180	154	255	6 009	1 134	3 272
1 970	220	157	299	7 246	1 239	3 349
1 975	166	154	365	6 127	1 058	3 135
1 980	335	174	419	3 722	1 315	4 719
1 985	389	201	521	3 359	1 895	6 621
1 990	302	197	508	2 147	1 815	8 675
1 991	356	205	542	2 422	1 816	9 546
1 992	344	181	511	1 820	1 496	-
1 993	349	203	563	3 345	1 537	-

T.M : Tonelada métrica.

T.L : Tonelada larga = 1,1016 T.M

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

Elaboración: Instituto de Estudios Mineros (IDEM).

Tomado de : Cuanto S.A. "Perú en Números 1 994"

4.2.1 Etapas del proceso de obtención de metales

Las principales etapas involucradas en el proceso de obtención de metales son:

- a. Exploración.
- b. Minado.
- c. Concentración de minerales.
- d. Metalurgia extractiva.

Las tres primeras etapas son comúnmente desarrolladas en las cercanías del yacimiento. La tercera etapa se realiza con el propósito de reducir al mínimo el costo de transporte del material extraído del depósito mineral.

La ubicación de las instalaciones donde se realiza el proceso metalúrgico extractivo obedece en cambio a otros criterios tales como el abastecimiento de energía, de agua y su cercanía a vías de comunicación, entre otros.

a. Exploración

La exploración de un área previamente seleccionada por consideraciones geológicas, supone la ejecución de una serie de operaciones que se resumen en:

Reconocimiento geológico detallado del área.

Pruebas geoquímicas.

Pruebas geofísicas.

Preparación de labores exploratorias superficiales.

Perforación diamantina y/o labores exploratorias subterráneas.

b. Minado

Dependiendo de la ubicación y tamaño del yacimiento, el minado podrá ser superficial o subterráneo. En el primer caso, la operación podrá consistir en un tajo abierto convencional con sus respectivas etapas de perforación, voladura, carguío y acarreo del material, como es el caso en los placeres de oro, estas se reducen a las de carguío y acarreo, debido a la escasa consolidación del material que contiene el elemento valioso.

En lo que se refiere a los métodos de minado subterráneo, se emplean relativamente pocos. Según el tipo de soporte que se utilice en las labores subterráneas, los métodos se pueden clasificar en

De soporte natural.

Con soporte artificial.

Por hundimiento.

c. Concentración de minerales

En la gran mayoría de los casos, las menas de los metales no ferrosos son sometidas a diversos procesos con el fin de eliminar la mayor parte posible del mineral no valioso o ganga. Estos procesos se llevan a cabo en plantas ubicadas cerca a la mina, con el propósito de producir un concentrado comercializable.

Las operaciones de concentración más comunes por métodos son:

Reducción de tamaño : trituración y molienda.

Flotación.

Separación gravimétrica.

Otros procesos.

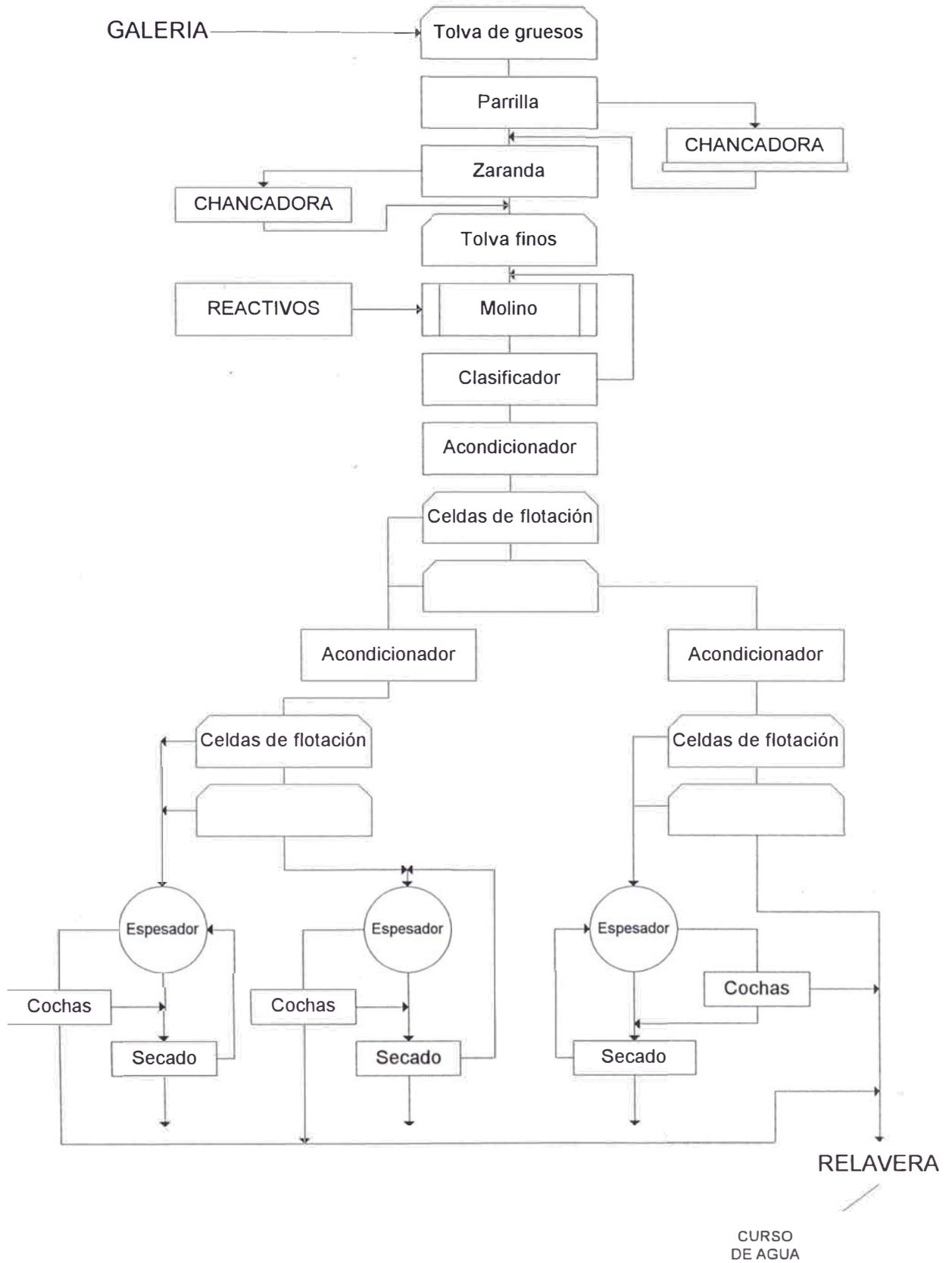
d. Metalurgia extractiva

Los procesos de extracción de metales permiten la recuperación de metales de alta pureza a partir de minerales o de concentrados.

La extracción hidrometalúrgica es el tratamiento con un agente químico acuoso diluido en agua, capaz de disolver los valores metálicos para separarlos de un mineral o concentrado y dejar el material de desecho como residuo insoluble. A este proceso se le conoce también como lixiviación.

Es frecuente que un metal pueda obtenerse a partir de un mineral o un concentrado pasando por una serie de etapas de procesamiento. Ciertos tipos de compuestos metálicos se prestan a una extracción mucho más fácil por un método que por otro. Por ejemplo los óxidos y los sulfatos se disuelven con dificultad.

ESQUEMA IV-1
 DIAGRAMA DE DE FLUJO DE LOS PROCESOS MINEROS



La mayoría de los procesos empleados para tratar los metales no ferrosos guardan mucha similitud entre ellos y pueden agruparse dentro de dos categorías: reactivos y no reactivos, según sea su tendencia a reaccionar con el oxígeno del aire atmosférico para formar óxidos. (Ver tabla IV-3).

Tabla IV-3
Procesos Metalúrgicos

Tratamiento	Reactivos 1/	No Reactivos 2/
Pirometalúrgicos	- Tostación. - Fusión. - Refinación.	- Tostación. - Fusión. - Conversión. - Refinación.
Hidrometalúrgicos	- Tostación. - Lixiviación. - Concentración y purificación. - Precipitación. - Refinación.	- Tostación. - Lixiviación. - Precipitación. - Refinación.

1/ Dentro de los metales reactivos se incluye: Aluminio, titanio, magnesio, zinc y uranio.

2/ Dentro de los metales no reactivos se incluye: Cobre, níquel, plomo, cobalto, oro y plata.

Fuente: "Un enfoque técnico legal de la minería en el Perú". 1993

4.2.2 Descripción de los componentes de la mina y su importancia en la contaminación de las aguas.¹

a. Labores Subterráneas

Se encuentran ubicadas por debajo del nivel de la capa freática natural y, por lo tanto, son minas húmedas con un volumen significativo de agua drenada diariamente de las labores. De esta manera, la calidad de las aguas de mina subterráneas puede cambiar significativamente la calidad del curso natural del agua en la que fluye.

¹ Este punto es un resumen correspondiente al acápite "Los componentes de la mina y la contaminación de las aguas" del Protocolo de Aguas.

Las fuentes de agua que se dirigen a las labores subterráneas usualmente son:

Infiltraciones de precipitación (lluvia) desde la superficie;

Flujos naturales de guas freáticas a través de fallas, fracturas o rocas porosas;

Aguas bombeadas desde la superficie para perforación, agua potable, etc.

Los principales problemas relacionados con el drenaje subterráneo incluyen:

Sólidos en suspensión y metales comunmente asociados;

Drenaje ácido;

En un menor grado, aceites, grasa y combustible de maquinaria, así como amoniaco y nitrógeno de voladuras y aguas negras o servidas.

b. Tajos abiertos

La principal fuente de agua que se registra en el tajo abierto es la precipitación pluvial y el flujo de agua superficial desde algún sistema de colección, con aportes potenciales de las aguas freáticas a través de fallas y fracturas. Usualmente, el agua se elimina mediante bombeo.

Durante la operación, debe establecerse una estación de monitoreo en la descarga de la tubería que esta bombeando agua del tajo.

Los principales problemas relacionados con el drenaje de tajo abierto incluyen

Sólidos en suspensión y metales comunmente asociados debido a las voladuras y remoción de mineral y desechos;

Drenaje ácido de las paredes del tajo, roca de los alrededores y cualquier apilamiento de roca depositada en el tajo; y

En un menor grado, amoniaco y nitrógeno de voladuras.

c. Apilamiento de Mineral de Desecho (Pilas o botaderos)

Los minerales de desecho se producen en el desarrollo del tajo abierto, y en menor medida, en minas subterráneas.

Usualmente, se apilan en botaderos en la superficie, pero también pueden utilizarse en la construcción de presas, cimientos y caminos.

Usualmente, la fuente de agua que entrar en esta pila es la precipitación en forma de lluvia o nieve. Una parte de esta agua percolará dentro de la pila desde la superficie y los lados, mientras que otra parte se deslizará sobre la superficie de la pila. Si la pila se encuentra ubicada en una área topográfica baja, también puede haber un componente de flujo, a través de la base del botadero, que provenga de una corriente natural o un manantial de aguas freáticas.

Los botaderos constan de rocas de desecho gruesas con distintas características geológicas que originan diferentes comportamientos de lixiviación y calidad resultante de agua. Con el paso del tiempo, si la oxidación y la generación de ácido se inicia en una pila la calidad de drenaje cambiará. En una escala de tiempo más corta, las fluctuaciones estacionales en las precipitaciones, temperatura y evaporación cambiarán la cantidad de agua que fluye a través de la pila y el alcance de los procesos de oxidación y disolución mineral. Un período de alto flujo, después de uno relativamente seco, puede dar como resultado un incremento en el lavado de contaminantes y en un mayor contenido de éstos en el drenaje.

Los principales problemas relacionados con el drenaje de rocas se desecho incluyen:

Lixiviación de metales solubles; y
Oxidación, generación de ácido y lixiviación de metales en el drenaje ácido.

d. Relaves:

Durante la operación, generalmente se presenta una descarga continua de agua de los embalses de relaves, ya sea por decantación o derrames. Los relaves están esencialmente saturados y son alcalinos.

Después de que cesa la deposición en los embalses de relaves o si estos se secan, el potencial para la oxidación, generación de ácido y drenaje ácido, a partir de masas de relaves sulfurados, constituyen el principal problema de calidad de agua.

La fuente principal de agua que va hacia los embalses de relaves es usualmente el agua de proceso contenida en la pulpa de relaves.

Los principales problemas relacionados con el drenaje de los embalses de relaves incluyen:

Sólidos en suspensión y metales disueltos comunmente asociados con el agua del proceso (durante la operación);
Reactivos de procesamiento, como el cianuro;
Generación de ácido y lixiviación de metales a más largo plazo.

e. Concentradora e Instalaciones de Procesamiento:

Las instalaciones de procesamiento incluyen la(s) concentradora(s), refinería, fundición y otras áreas de almacenamiento relacionadas con productos metalúrgicos y residuos. El agua que se descarga de la concentradora generalmente se dirige a los embalses de relaves.

f. Infraestructura e Instalaciones

Existe una variedad de otras instalaciones requeridas para la operación de la mina y que puede aportar contaminantes a las aguas superficiales. Tales instalaciones pueden incluir:

- Poblados aledaños y/o campamentos.
- Extremos de carriles y otras instalaciones de descarga de concentrados;
- Manejo de agua;
- Almacenamiento de combustible y petróleo;
- Almacenamiento de reactivos;
- Vaciaderos de basura y terraplenes;
- Áreas de derrames, incluyendo reactivos, químicos, relaves o combustibles que no han sido vaciados;
- Labores mineras abandonadas y estructuras relacionadas.

4.3 LA MINERIA Y LA CONTAMINACION

"La minería en cuanto a usos de agua, llega tan solo al 1% del total utilizado por los tipos de uso convencionales, sin embargo la contaminación minera en el Perú resulta ser muy severa en relación a otros tipos de vertimientos. Datos de interés es que para la producción minero-metalúrgica, el consumo promedio es de 0.7 m³/Tn la extracción, 3.5 m³/Tn en la concentración y 130 m³/Tn en la refinación"... (Malarin et al. 1993:42)

La importancia del uso del agua con fines mineros conlleva también una preocupación, la cual es la contaminación de dicho recurso mediante los relaves

y ausencia de plantas de tratamiento. Numerosos estudios han indicado que la principal fuente de contaminación del agua en el Perú se debe a las aguas que ingresan a los ríos provenientes de las plantas de tratamiento de minerales principalmente en la cabecera de los ríos, (aproximadamente sobre 4000 m.s.n.m) donde se localizan los asentos mineros más importantes.

Tabla IV-4
Efluentes de la Industria Minera en el Perú

Ubicación (Cuenca)	Puntos de Vertimiento	Tratamiento Si o No	Efluente m ³ /min	(%)
Aguas Interiores				
Locumba	2	No	73.7	36.8
Rímac	6	Sí	30.5	15.2
Moche	3	Sí	4.1	2.1
Majes	3	-	3.3	1.7
Pisco	2	-	2.5	1.2
Santa	5	Sí	2.5	1.2
Ocoña	2	-	0.5	0.3
Pativilca	1	Sí	0.4	0.2
Al mar				
Marcona	1	Sí	81.6	40.7
Ilo	4	No	1.4	0.7
TOTAL	29	-	200.4	100.0

Fuente: "Los Recursos Hídricos de América Latina y del Caribe: Planificación Desastres y Contaminación", CEPAL, 1990

Tomado de "Contaminación de las Aguas Superficiales del Perú" Pag.14. Héctor Malarin/Paul Remy. Mayo 1993.

Para explicar los problemas ambientales más comunes en minería, es necesario señalar cuáles son los elementos del proceso minero-metalúrgico que los ocasionan. Como se sabe la actividad minera genera desechos o productos secundarios inútiles, tales como relaves, aguas ácidas (o aguas de mina), gases (o humos), material particulado y escoria.

...Los **relaves** resultan del proceso de flotación, mediante el cual se separa el mineral del material inerte. El primero sigue en el proceso; mientras que el segundo se espesa y se deposita en canchas de relaves, en las lagunas, y a veces, en algunos cursos de agua o en el mar.

Tabla IV-5
Descargas Industriales Mineras Directas al Mar

Localidad	Tratamiento	N° de descargas	Vol.efluente (m3/año)
Marcona	Lag. Biox.	1	42 894 600
Ilo (Minero-Perú)	No tiene	3	190 800
Ilo (South.Perú)	No tiene	1	531 000

Fuente: "Niveles y Efectos de la Contaminación Minera en el Pacífico Sudeste", CPPS, Lima, 1981.

Tomado de "Contaminación de las Aguas Superficiales del Perú" Pag.15. Héctor Malarin/Paul Remy. Mayo 1993.

Tabla IV-6
Descargas Industriales Mineras Indirectas al Mar

Cuencas	Con Trat.	Sin Trat.	Numero de Descargas	Vol. Descarga (m3/año)
Moche	*	-	3	2 162 368
Santa	*	-	5	1 293 973
Pativilca	*	-	1	216 000
Rimac	*	-	6	16 020 843
Pisco	-	-	2	1 296 000
Ocoña	-	-	2	259 000
Majes	-	-	3	1 747 000
Locumba	-	*	2	38 724 920

Fuente: "Niveles y Efectos de la Contaminación Minera en el Pacífico Sudeste", CPPS, Lima, 1981.

Tomado de "Contaminación de las Aguas Superficiales del Perú" Pag.15. Héctor Malarin/Paul Remy. Mayo 1993.

Los relaves no son otra cosa que sólidos finos sin contenido mineral, que se desechan mezclados con agua. El problema de los relaves es su almacenamiento, se debe tener en cuenta que casi todas las operaciones mineras se llevan a cabo en zonas con geografía escarpada, de difícil acceso, y que por lo tanto no es fácil encontrar áreas apropiadas para almacenar grandes volúmenes de material desechable. Puesto que los relaves son líquidos o semilíquidos, se deben construir canchas que puedan retenerlos por tiempo indeterminado. De no ser esto posible, la práctica más común es la de utilizar depresiones naturales como depósito.

El efecto sobre el medio ambiente se traduce en la generación de agua que, por contener elementos oxidantes, se acidifican y ayudan a disolver aquellos elementos que pueden ser nocivos para las fuentes de agua potable, la vegetación, los animales y el hombre.

Existe, además, otro tipo de aguas ácidas generadas por algunas operaciones mineras, en especial las subterráneas o de socavón. A estas usualmente se les denomina **aguas de mina**. Estas se producen cuando las minas sumen aguas que se originan de manantiales subterráneos, o también por lluvias que "lavan" el material removido de las minas o las paredes donde el mineral se encuentra expuesto. De otro lado cabe indicar que los minerales de explotación más común casi siempre se encuentran naturalmente acompañados por elementos que se oxidan al entrar en contacto con el oxígeno de la intemperie, lo que genera el mismo problema de lixiviación natural mencionado anteriormente, con la consecuente liberación de elementos nocivos hacia el ambiente.

Una vez obtenido el mineral en forma concentrada, es enviado a ser procesado en una fundición o en una refinería, la cual busca separar el mineral concentrado de toda impureza, a fin de obtener un producto de alta calidad. Con este propósito se le aplica calor a altas temperaturas en hornos especiales, para derretir el material y producir la separación indicada.

Como resultado de la fundición se liberan **gases** que representan aquellos elementos del mineral que se evaporan. La composición de estos gases depende del tipo de mineral que se éste procesando. Los gases que representan cierto riesgo para el ambiente son los óxidos nitrosos, dióxido de

azufre y dióxido de carbono. Sorprendentemente en el volumen total de gases emitidos por la fundición, los gases antes mencionados son los que se encuentran en menor volumen. Los efectos sobre el medio ambiente variarán de acuerdo con la concentración y tiempo de permanencia. Aquí, los vientos se convierten en un factor importante de dilución, encargándose de disminuir las concentraciones a niveles no tóxicos.

Debido a que las plantas de fundición en el Perú son antiguas, éstas suelen presentar fallas en su funcionamiento, por lo que conjuntamente con los gases, se emiten al ambiente partículas pequeñísimas de material, las mismas que se conocen como material particulado. El problema con el material particulado es que existe la posibilidad de que contenga elementos que en la naturaleza no se encuentran libres; pero que al ser liberados por el calor de la fundición puedan afectar suelos y cuerpos de agua.

Finalmente el proceso de fundición produce un material de desecho conocido como escorias, las que representan a las impurezas separadas del producto principal. Las escorias, son aglomeraciones de compuestos que generalmente contienen silicatos de hierro y otros metales, en un estado parecido al vidrio o a la lava volcánica. Se le reconoce como un material inerte, que sólo bajo condiciones sumamente extremas puede afectar químicamente el ambiente ...

Al interés del presente estudio los residuos contaminantes a ser considerados estarán relacionados con la contaminación del curso de agua y del proceso productivo de tal modo que se presentaran envueltos en dos grandes grupos: el drenaje de minas subterráneas y superficiales durante el proceso de extracción, y las aguas de los relaves generada durante el proceso de concentración de minerales.

4.4 LA MINERIA EN LA CUENCA DEL RIO RIMAC

El Río Rimac recibe un volumen total de aguas residuales de la actividad minera de 3,109.6 miles de m³/año. (*Catastro de Vertimientos. Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA*).

Tabla IV-7
Principales centros mineros en la Cuenca del río Rímac

Compañía Minera	Capacidad T/día	Curso Receptor	Minerales Explotados
Casapalca-Centromin	2350	Río San Mateo	Pb, Zn
Lizandro Proaño-Tamboraque	150	Río San Mateo	Cu, Pb, Zn
Millotingo	300	Quebrada Parac	Ag
Pacococha	300	Quebrada Parac	Cu, Pb, Zn
San Nonato	90	Quebrada Viso	Pb, Ag, Zn
El Barón	200	Río San Mateo	Cu, Zn
Santa Cecilia	511	Río San Mateo	Pb, Zn
Barmine	148	Río San Mateo	Ba, Zn
Perú-bar	300	Río San Mateo	Ba, Zn
El Farallón	400	Quebrada Condorsimi	Pb, Zn
Huampar	290	Quebrada Piti	Pb, Ag, Au, Zn
	65	Lag. Milloc	Pb, Ag

Fuente: "Contaminación del Río Rímac por Metales Pesados de la Industria Minera" Ricardo Rojas, 1986.

En el mapa V- se encuentran ubicados los principales centros mineros de la cuenca del río Rímac entre ellos están:

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 1. Mina Cupiche | 17. Mina Esperada |
| 2. Mina Graciela | 18. Mina Pacaica |
| 3. Mina Leonila | 19. Cia. Minera Perú Matucana |
| 4. Mina Cajamarquilla | 20. Cia. Minera Fray Martín |
| 5. Mina Nuestra Señora de Carmen | 21. Mina Anita Fernandini |
| 6. Cia. Minera San Luis | 22. Mina Rinconada |
| 7. Cia. Minera San Mateo | 23. Mina Monterrey |
| 8. Cia. Minera Silveria | 24. Mina Shashi |
| 9. Cia. Minera Germanio | 25. Mina La Caprichosa |
| 10. Minas de la Cia. Pacococha | 26. Mina Oroya |
| 11. Minas de la Cia. Millotingo | 27. Mina Huanchurina |
| 12. Mina de Huaqui | 28. Minas Carlos Francisco |
| 13. Mina de Coquirallana | 29. Mina Cuarenta |
| 14. Mina Victoria | 30. Mina Venturosa |
| 15. Mina Alberto | 31. Mina San Juan |
| 16. Mina Filandia | 32. Mina Catalina Huanca |

4.5 IDENTIFICACION DE LAS EMPRESAS A CONSIDERAR

4.5.1 Compañía Minera Casapalca (Americana)

a. Ubicación acceso y extensión.

La Unidad Económica Administrativa La Americana de la Empresa Minera Casapalca S.A se encuentra ubicada en el paraje denominado Piedra Parada, quebrada de Magdalena a 6 km al Sur-Este de Casapalca (Centromín) en el:

<i>Distrito</i>	San Mateo.
<i>Provincia</i>	Huarochari.
<i>Departamento</i>	Lima
<i>Altura</i>	4435 m.s.n.m.

Para llegar a la mina partiendo de Lima, se toma la carretera Central. Luego de pasar la localidad de Chilca, se llega al km. 120 en donde se toma un desvío a la derecha, (pasando por la mina Casapalca -1 km-) se continúa ascendiendo por una trocha carrozable de pendiente bien pronunciada en un tramo de 6 km a partir del desvío, llegando finalmente a las instalaciones de la Cia. Minera Casapalca S.A.

b. Características de la explotación minera y tratamiento del mineral

El yacimiento es del tipo filoneano en vetas, con una potencia de 0.40 m 0.90 m., con un busamiento de 70°, el mineral se encuentra rellenando pequeñas fallas y su aspecto es masivo.

Las características del mineral son las siguientes:

<i>Origen</i>	Hidrotermal.
<i>Naturaleza</i>	Metálica.

<i>Sustancia</i>	:	Sulfuros de plomo, cobre, zinc, hierro etc.
<i>Elementos</i>	:	Plata, cobre, plomo, y zinc.
<i>Menas</i>	:	Galena argentifera, esfarelita, cobre gris, etc.
<i>Gangas</i>	:	Cuarzo, baritina, calizas, etc.
<i>Leyes</i>	:	Ag: 10.92 Oz/TC Cu: 0.48 % Pb: 2.86 % Zn: 3.16 %

Los productos finales son concentrados de :

Cobre/Plata

Plomo, Zinc.

◆ *Labores Subterráneas*

El laboreo minero se desarrolla mediante métodos de explotación subterráneo como siguen:

Tabla IV-8
Metódos de explotación subterránea

Método de explotación	% de aporte	Tms
Corte y relleno ascendente.	40	3200
Shrinkage dinámico.	30	2400
Shrinkage estático.	30	2400

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

◆ *Planta de Beneficio*

Capacidad Instalada actual

3.50 Tms/día

Sistema de tratamiento

Flotación selectiva de cobre/plata, plomo y zinc.

Tabla IV-9
Concentrado

Concentrado	Ag.Oz/Tc	Pb%	Cu%	Zn%
Conc. Cu/Ag	546.20	17.00	24.88	8.50
Conc. plomo	84.80	63.20	2.50	7.90
Conc. zinc.	8.00	0.85	0.37	59.10

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

c. Disposición de desechos

Para la disposición de relaves dispone de una cancha de relave con una capacidad de almacenamiento de 397,950 toneladas.

Tabla IV-10
Características del relave

Características	Valor
Densidad de la pulpa (gr/dm ³)	1240
Caudal (g.p.m)	320
Gravedad específica (TM/m ³)	2.6
Tonelaje sólidos/día	350.
Temperatura °F	50
% Sólidos en volumen	15
Línea de velocidad media	10-11

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

Los relaves actualmente se emplean en el relleno hidráulico y ello eliminará progresivamente el impacto visual de estas canchas.

4.5.2 Empresa Minera del Centro del Perú S.A (Casapalca)

a. Ubicación acceso y extensión

La UDP Casapalca se encuentra ubicada en la sierra central del Perú, a 120 km al este de la ciudad de Lima y a 14 km al este de la ciudad de San Mateo.

<i>Distrito</i>	Chilca.
<i>Provincia</i>	Huarochari.
<i>Departamento</i>	Lima
<i>Altura</i>	4 200 m.s.n.m

El acceso se realiza a través de la carretera central la misma que pasa a menos de 50 m de las instalaciones y presas de relaves de esta UDP. Esta carretera colinda con el lado norte de las instalaciones de la Mina y Planta Concentradora. La línea del ferrocarril central pasa por el lado sur de las instalaciones de esta UDP.

El poblado más cercano de esta UDP lo constituye el pueblo de Chilca. La población de San mateo, es el centro de la actividad económica de la zona. La zona de influencia de esta UDP trasciende a un sin número de poblaciones a lo largo del cauce del río Rimac tales como Río Blanco, Matucana, Pablo Boner, Surco, Cocachacra, Chosica, Chaclacayo y por supuesto Lima.

b. Características de la explotación minera y tratamiento del mineral

La mineralización se presenta en vetas rellenando fracturas, las cuales atraviesan casi enteramente la secuencia estratigráfica del distrito.

Las mineralización relativamente simple constituyendo los minerales de galena, esfarelita, tetrahedrita y calcopirita, el grupo de sulfuros de mena de mayor abundancia. Los minerales de ganga están representados principalmente por pirita, calcita y cuarzo.

El mineral económico que se extrae en esta UDP tiene definitivamente una mayor proporción de pirita y sulfuros en general, que los materiales anteriormente mencionados.

La mina Casapalca produce minerales de cobre, plomo, plata y zinc que son procesados en esta concentradora para la obtención de los respectivos concentrados.

Las leyes (en % y *Gr/TM) del mineral extraído es el siguiente: Cu 0.30, Pb 1.41, Zn 3.48 Ag* 142, Fe 5.5, S 10.3, CO₃ 5.1, SiO₂ 46.4, CaO 5.7, CuOx 0.02, ZnOx 0.30, PbOx 0.30, FeOx 0.13, MnOx 0.40.

◆ **Labores subterráneas.**

La explotación se realiza con el sistema de mina subterráneo tanto para las vetas como para los cuerpos mineralizados.

En la explotación subterránea los métodos predominantemente empleados son el Corte y Relleno Ascendente y el de Almacenamiento provisional con reducción dinámica. El relleno hidráulico se emplea desde 1973. La proporción relativa de mineral explotado con cada método y la proporción de relleno empleado es:

Corte y relleno ascendente, 57%

Almacenamiento provisional, 43%

Relleno hidráulico, 39% con material de una densidad aparente de 15 gr/cc

♦ Planta de beneficio

El mineral extraído es tratado en la Concentradora, de 3000 TMPD de capacidad, al ritmo actual de 2185 TMPD y en forma intermitente, debido a falta de suministro de mineral. Se obtiene como producto final un concentrado bulk de cobre, plomo y plata y otro de zinc. La composición promedio de ellos figura a continuación (en % *Gr/TM).

El proceso empleado en la concentradora de Casapalca es el de Flotación por espuma.

c. Disposición de desechos**♦ Depósito de relaves de Chinchán**

La estabilidad física de esta presa se fundamenta en el empleo de la técnica de "Aguas Abajo" para la construcción de diques de contención.

Respecto a la estabilidad química, hay que reiterar que el material almacenado tiene un alto potencial ARD que inevitablemente generará aguas ácidas y efluentes contaminantes si se permite que el equilibrio actual se altere. La disminución del pH de 12 en la entrada a 8.14 en el efluente de la presa es una clara indicación de que hay drenaje ácido importante aunque incipiente.

♦ Depósito de relaves de Tablachaca

El efluente de este depósito de relaves no contiene concentraciones de metales por encima de los límites permisibles. El pH de este efluente es ligeramente menor

que el de Chinchán (7.73) sugiriendo una acción de ARD más avanzada.

Sin embargo el riesgo mayor de esta presa no es la estabilidad química sino su estabilidad física comoquiera que la misma ha sido diseñada con el método de "aguas arriba" cuyas limitaciones en medios sísmicos como el peruano son conocidos.

Aparentemente se ha seleccionado este método para aprovechar la gravedad y el canal existente en el traslado de relave aguas abajo de la concentradora. Esta es una cancha más bien de emergencia pero su uso continuo incrementa seriamente el volumen almacenado y con él los riesgos.

4.5.3 Negociación Minera Lizandro Proaño S.R.L (Tamboraque)

a. Ubicación y acceso.

La unidad de producción Tamboraque de la Negociación Minera Lizandro Proaño S.R.L se halla ubicada en

<i>Distrito</i>	San Mateo de Huanchor.
<i>Provincia</i>	Huachochiri.
<i>Departamento</i>	Lima
<i>Altitud</i>	
<i>Planta concentradora</i>	2 890 m.s.n.m
<i>Mina coricancha</i>	3 500 a 4 200 m.s.n.m

El acceso a la Planta Concentradora se realiza a través de la carretera central, distante 91 km de la ciudad de Lima. La accesibilidad a la Mina Coricancha es posible a través de una carretera afirmada de 25 km. partiendo del distrito de San Mateo de Huanchor.

b. Características de la explotación minera y tratamiento del mineral

La mina Coricancha está constituida por un conjunto de vetas, entre las cuales destaca la veta Constanza o Coricancha, que es la estructura mineralizada más importante de la mina, con una potencia promedio de 0.85 a 1.00 m , en cajas semicompetentes y competentes. La mineralogía de la veta coricancha consiste en galena, esfaelita y chalcopirita con valores de Pb, Zn, Cu, y Ag. La ganga la constituyen la pirita, cuarzo y calcita.

La producción mensual promedio de la mina es de 3000 TMS/mes con las siguientes leyes:

Cu	: 0.27%
Pb	: 1.76%
Zn	: 2.95%
Ag	: 34.96 oz/TM.

♦ Labores subterráneas

El método de explotación es el de Almacenamiento Provisional. El mineral extraído en los tajos es colectado en un nivel principal de extracción. En el nivel señalado el mineral es extraído a superficie, de donde luego es transportado a la planta Concentradora

♦ Planta de Beneficio

La planta concentradora Tamboraque consta de los circuitos de recepción y chancado, molienda, flotación.

El sistema de concentración por flotación utilizado es el convencional diferencial de Bulk Cu - Pb y Zn. En esta última etapa se obtienen concentrados de Pb, Zn y Cu.

Tabla IV-11
Concentrados

Concentrado	% Cu	% Pb	% Zn	Oz/Tm Ag
Conc. cobre	10.55	8.49	7.56	29.45
Conc. plomo	2.70	63.44	3.69	108.56
Conc. zinc.	0.35	1.62	49.43	6.73

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

c. Disposición de desechos.

Los relaves son almacenados en una cancha de relaves, utilizando un sistema de bombeo. La mayor parte de las aguas residuales de esta cancha son reutilizadas en la planta: eventualmente una parte menor es descargada al canal de conducción de agua para la planta hidroeléctrica N°2, de propiedad de la empresa.

4.5.4 Empresa Minera Perubar s.a (Graciela)

a. Ubicación acceso y extensión

La Unidad Minera Graciela de PERUBAR se encuentra ubicada en el km. 50 de la Carretera Central, en el lugar conocido como Corcona (Santa Cruz de Cocachacra) perteneciendo al:

<i>Distrito</i>	Santa Cruz de Cocachacra.
<i>Provincia</i>	Huarochoiri.
<i>Departamento</i>	Lima.
<i>Jurisdicción</i>	Jefatura Regional de Lima.

Es accesible desde Lima por una carretera asfaltada.

b. Características de la explotación minera y tratamiento del mineral

La unidad minera comprende dos cuerpos mineralizados de aspecto masivo y más o menos regular, cortado longitudinalmente y transversalmente por diques doléuticos.

El mineral comprende generalmente marmatita (sulfuro de zinc y de hierro), galena (sulfuro de plomo con contenido de plata) y baritina (sulfato de bario) y como ganga tenemos principalmente a la pirita, cuarzo, silicatos y otros.

◆ **Planta de beneficio**

<i>Capacidad Instalada Actual :</i>	1000 TMS/día
<i>Sistema de tratamiento</i>	Flotación Selectiva de Plomo y Zinc.

c. Disposición de desechos.

La disposición de relaves es a través de relleno hidráulico para ello cuenta con un espesador, el material concentrado es previamente cementado y depositado en el interior de la mina (mina juanita) el agua drenada de esta operación son colectadas y conducidas hacia la superficie para luego ser tratadas. (pozas de decantación).

Los relaves producidos estan compuestos por: sulfuro de fierro, óxidos de fierro, baritina, silicatos y otros componentes en menor proporción.

La producción total de relaves aproximadamente es de 92400 m³/año.

Para solucionar el problema de la disposición de relaves esta empresa ha desarrollado el sistema de relleno hidráulico para ello cuenta con un espesador de relaves, estos relaves tienen las siguientes características físicas:

<i>Densidad</i>	Aprox. 2200
<i>Porcentaje en sólidos</i>	75%
<i>Tamaño de partículas</i>	Distribución de mallas con 35% malla -325
<i>Flujo</i>	100 TM/Hora de sólidos

A esta pulpa se le agrega en la etapa final, el cemento a granel en porcentajes que pueden variar normalmente entre 4 a 5% (en peso) de acuerdo a la resistencia a la compresión (Rc) y son enviados al interior de la mina; los finos son enviados al área de tajo abierto ya agotado en ella se efectua la decantación, el líquido sobrenadante es reciclado al sistema de operación. Así mismo ha efectuado el proyecto de "Echadero de desmontes y relaves secos" ubicado en la margen del río Rimac. Cuenta también con un sistema de tratamiento de aguas de mina antes de ser vertido al río Rimac a través de pozas de decantación múltiples (primario, secundario y terciario), en la actualidad se encuentran paralizadas las pozas de tratamiento químico.

CAPITULO V

5.0	ZONA Y METODOLOGIA DE ESTUDIO	
5.1	Zona de estudio	119
	5.1.1 Ubicación	119
	5.1.2 Clima	124
	5.1.3 Ecología	128
	5.1.4 Geología	128
	5.1.5 Suelos	129
	5.1.6 Población	129
	5.1.7 Usos del agua para diversos fines	131
5.2	Período de estudio	134
5.3	Puntos de monitoreo	134
	5.3.1 A lo largo del río	134
	5.3.2 En las minas	136
5.4	Metodología	138
	5.4.1 Metodología de determinación de metales pesados	138
	5.4.2 Manejo de la información	139
	a. Del río	139
	b. De las minas	139

Relación de cuadros

Cuadro V-I	
Distritos ubicados en la unidad hidrográfica del Rímac	122
Cuadro V-II	
Río Rímac-Descargas. Estación Chosica	127
Cuadro V-III	
Población de la Cuenca del río Rimac, por distrito	130

Relación de tablas

Tabla V-1	
Disponibilidad hídrica	123
Tabla V-2	
Explotación de aguas subterráneas para diferentes usos	123
Tabla V-3	
Inventario de lagunas	123
Tabla V-4	
Represamientos en explotación y con estudios	123
Tabla V-5	
Balance hídrico	124
Tabla V-6	
Características meteorológicas de la Cuenca del río Rímac	128
Tabla V-7	
Uso del agua para abastecimiento de la población	131
Tabla V-8	
Uso del agua con fines agrícolas	131
Tabla V-9	
Uso del agua con fines mineros	132
Tabla V-10	
Uso del agua con fines industriales	132
Tabla V-11	
Uso del agua con fines pecuarios	132

Tabla V-12	
Uso del agua con fines energéticos	133
Tabla V-13	
Resumen - Uso consuntivo y no consuntivo	133
Relación de mapas y esquemas	
Esquema V-1	
Cuenca del río Rímac.	120
Mapa V-1	
Mapa de la cuenca del río Rímac, principales centros poblados.	121
Esquema V-2	
Ubicación de los puntos de monitoreo del río Rímac	135
Esquema V-3	
Ubicación de los puntos de monitoreo - Casapalca (Americana)	140
Esquema V-4	
Ubicación de los puntos de monitoreo - Centromin (Casapalca)	141
Esquema V-5	
Ubicación de los puntos de monitoreo - Proaño (Tamboraque)	142
Esquema V-6	
Ubicación de los puntos de monitoreo - Perubar (Graciela)	143

CAPITULO V

5.0 ZONA Y METODOLOGIA DE ESTUDIO**5.1 ZONA DE ESTUDIO****5.1.1 Ubicación**

La cuenca del río Rímac, zona de estudio del presente trabajo, pertenece a las llamadas vertientes del Océano Pacífico. Esta cuenca tiene una extensión aproximada de 3,583 km², y su ubicación está señalada entre los paralelos 11°25' y 12°10' de la latitud Sur, los meridianos 76°05' y 77°10' de longitud Oeste de Greenwich.

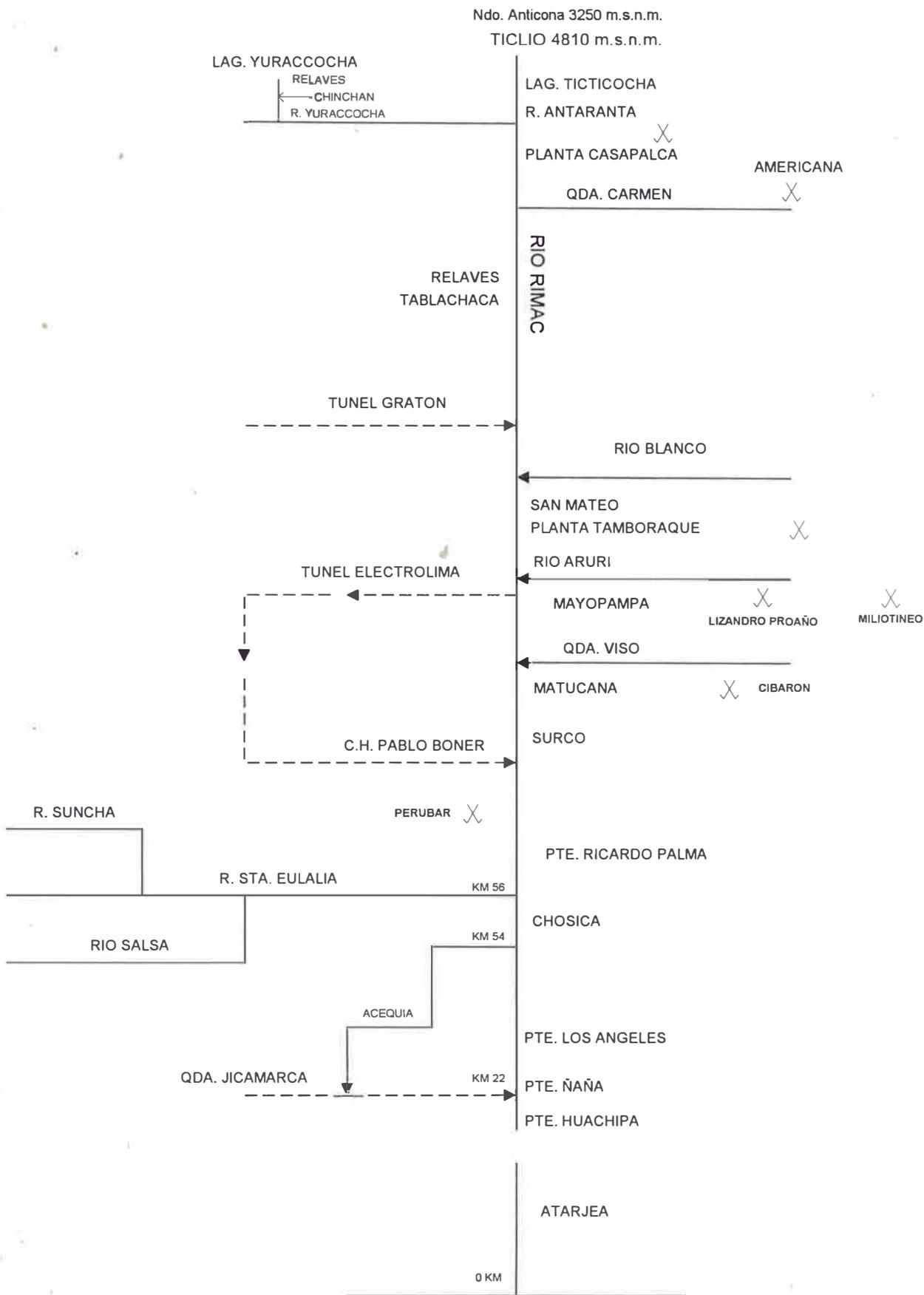
Las fronteras que limitan su extensión se dan por el Norte con la Cuenca del río Chillón, por el Este la del río Mantaro, al lado Sur las cuencas de los ríos Lurín y Mala y hacia el Oeste el Océano Pacífico, que a la vez sirve de depósito final del río Rímac.

Dentro de la división Política que rige al Perú, la cuenca se sitúa en el Departamento de Lima¹ y al igual que todos los relieves de los ríos de la vertiente occidental es de forma alargada. La cuenca del río Rímac, está conformada por tres subcuencas principales, la de los ríos Santa Eulalia, San Mateo y Rímac, estando la ciudad de Lima asentada en el extremo occidental de la cuenca, es decir en la proximidades de la desembocadura al Océano Pacífico.

En la parte alta de la cuenca, que alcanza hasta aproximadamente los 5000 metros sobre el nivel del mar, existe un buen número de lagunas y de nevados que alimentan de agua a los ríos, como resultado del deshielo. La zona intermedia destaca por sus características escarpadas, contornos abruptos, quebradas de fuertes pendientes y angostas gargantas.

¹ Llegando a descuir por la provincias de Lima y Huarochiri. Ver cuadro V-I (Distritos que abarca la Cuenca del Río Rímac).

ESQUEMA V-1 RIO RIMAC



**CUADRO V-I
DISTRITOS UBICADOS EN LA UNIDAD HIDROGRAFICA DEL RIMAC**

Distrito	Capital	Categoría	Longitud	Latitud	Altitud
Provincia de Huarochiri	Matucana				
Callahuanca	Callahuanca	Pueblo	76 36 57	11 49 21	1761
Carampona	Carampona	Villa	76 30 45	11 39 17	3508
Casta	San Pedro de Casta	Villa	76 35 39	11 45 18	3180
Chicla	Chicla	Pueblo	76 16 00	11 42 09	3793
Huachupampa	San Lorenzo de Huachupampa	Pueblo	76 35 09	11 43 04	2920
Laraos	Laraos	Pueblo	76 32 18	11 39 42	3660
Huanza	Huanza	Pueblo	76 30 53	11 39 09	3408
Matucana	Matucana	Ciudad	76 23 06	11 50 30	2378
Ricardo Palma	Ricardo Palma	Villa	76 39 50	11 55 15	966
San Antonio	Chaglla	Pueblo	76 38 53	11 44 24	3438
San Bartolome	San Bartolome	Pueblo	76 31 33	11 54 34	1600
San Juan de Iris	San Juan de Iris	Pueblo	76 31 24	11 40 48	3400
San Mateo	San Mateo	Ciudad	76 17 54	11 45 16	3149
San Mateo de Otao	San Juan de Lanca	Pueblo	76 32 41	11 52 14	2000
Santa Cruz de Cocrachacra	Cocrachacra	Pueblo	76 32 17	11 54 33	1405
Santa Eulalia	Santa Eulalia	Pueblo	76 39 48	11 53 50	1025
Surco	Surco	Pueblo	76 26 21	11 52 51	2018
Provincia de Lima	Lima				
Ate	Vitarte	Pueblo	76 54 57	12 01 18	355
Barranco	Barranco	Ciudad	77 01 15	12 08 42	63
Breña	Breña	Ciudad	77 03 24	12 03 10	119
Chaclacayo	Chaclacayo	Pueblo	76 45 48	11 58 27	647
Chorrillos	Chorrillos	Ciudad	77 01 09	12 10 09	37
El Agustino	El Agustino	Pueblo	76 59 54	12 03 04	197
Independencia	Independencia	Pueblo	77 02 32	11 59 15	72
Jesus María	Jesus María	Ciudad	77 02 30	12 04 03	103
La Molina	La Molina	Pueblo	76 56 10	12 04 24	255
La Victoria	La Victoria	Ciudad	77 01 54	12 03 54	133
Lima	Lima	Ciudad	77 01 42	12 02 36	154
Lince	Lince	Ciudad	77 01 35	12 04 43	117
Lurigancho	Chosica	Ciudad	76 42 04	11 56 00	861
Magdalena del Mar	Magdalena del Mar	Ciudad	77 04 15	12 05 33	58
Pueblo Libre	Pueblo Libre	Ciudad	77 03 30	12 04 18	90
Miraflores	Miraflores	Ciudad	77 02 27	12 06 51	79
Rímac	Rímac	Ciudad	77 02 18	12 01 30	161
San Isidro	San Isidro	Ciudad	77 02 06	12 06 21	109
San Juan del Lurigancho	San Juan del Lurigancho	Pueblo	76 59 51	12 01 14	220
San Juan de Miraflores	Ciudad de Dios	Pueblo	76 58 12	12 08 36	141
San Luis	San Luis	Pueblo	76 59 12	12 04 18	175
San Martín de Porres	Barrio Obrero de Puente del Ejercito	Pueblo	77 02 36	12 01 40	123
San Miguel	San Miguel	Villa	77 04 54	12 05 12	50
Santiago de Surco	Santiago de Surco	Pueblo	77 00 13	12 08 51	68
Surquillo	Surquillo	Pueblo	77 00 13	12 06 33	105
Villa María del Triunfo	Villa María del Triunfo	Pueblo	76 56 49	12 09 57	158
Prov. Const. Callao	Callao				
Bellavista	Bellavista	Pueblo	77 07 37	12 03 31	34
Callao	Callao	Ciudad	77 08 40	12 03 23	7
Carmen de La Legua Reynoso	Carmen de La Legua Reynoso	Pueblo	77 05 42	12 02 34	54
La Perla	La Perla	Pueblo	77 07 26	12 04 03	23
La Punta	La Punta	Pueblo	77 09 52	12 04 04	3
Provincia de Yauli	La Oroya				
Marcapomacocha	Marcapomacocha	Pueblo	76 20 00	11 24 12	4415

Nota: Altitud referida a la Red de Control Básica apartir del nivel medio del mar.

Fuente: Cordenadas geográficas obtenidas de la Carta Nacional, serie 1/100 000

Tomado de: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS

Finalmente, a partir de los 1000 m.s.n.m. en el inicio del valle, la fisiografía cambia totalmente, produciéndose el ensachamiento del mismo, dando origen a la zona agrícola.

Tabla V-1
Disponibilidad Hidrica
(m³/s)

Electroperú	ONERN	CEDEX	Promedio
29.0	25.9	24.0	26.3

Fuente: CEDEX 1990

Tabla V-2
Explotación de aguas subterráneas para diferentes usos
(miles de m³)

Poblacional	Agrícola	Pecuario	Industrial
186 288	16 267	3 444	55 080

Fuente: Planir. 1987

Tabla V-3
Inventario de lagunas

Número de Lagunas	Número de lagunas > 4km ²
191	25

Fuente: ONERN, 1980

Tabla V-4
Represamientos en explotación y con estudios

Represamientos	Número	Con datos	Sin datos	Capacidad m ³
En explotación	3	3	-	0.94
En estudio	2	2	-	400.00

Fuente: ONERN, 1980.

Tabla V-5
Balance Hídrico

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
3 130	2 250	600	336	264	755	0	755

- (1) *Area Total. Km²*
 (2) *Area Aport. Km²*
 (3) *Precipitación. mm*
 (4) *Aportación Específica. mm*
 (5) *ET. mm*
 (6) *Recurso Interno Mm³/año*
 (7) *Recurso Externo Mm³/año*
 (8) *Recurso Natural Mm³/año*

Fuente: CEDEX, 1990

5.1.2 Clima

El clima de la zona, (así lo refiere el Estudio del Ministerio de Salud) presenta las siguientes características:

La precipitación pluvial varía desde escasos milímetros para la costa, hasta un estimado de 1,000 mm para la cordillera, en los orígenes de la cuenca del río Rímac.

En cuanto a su temperatura y presión atmosférica se puede señalar que existe una correlación con el factor altitudinal, de esta manera se experimenta una oscilación que fluctúa en 18.6°C, para la zona de costa a temperatura tipo polar en los nevados que llegan incluso a menos de 0°C.

Para la humedad Relativa se observa que la franja próxima al litoral toma un valor de hasta 83%, el cual es afectado por la cercanía del Océano Pacífico, mientras que para la zona de 2,200 a 3,100 m.s.n.m. está alcanza niveles de 62%

Las horas de sol que presenta la parte baja de la cuenca del río Rímac son en general promedios bajos debido principalmente a

una estrecha relación con la nubosidad que actúa como un colchón de intercepción a las horas solares, que al acentuarse en el invierno, determina registros de menos horas de sol; en términos generales, la estimación anual promedio, oscila de 6 a 7 horas diarias en verano y de 1 hora en invierno.

Existe una estrecha relación entre la evaporación y la temperatura, ya que la intensidad de esta última depende de la mayor o menor radiación calórica del suelo la cual se manifiesta a través de la evaporación de la humedad retenida. La altitud y sequedad de la atmósfera determinan un alto grado de evaporación.

Los vientos más significativos que se presentan en la cuenca, son los vientos del sur para el sector Costa, que tienen una velocidad media de 11.9 km/h que de acuerdo a la escala Beaufort se le cataloga como: "brisa débil"; dichos vientos se dan con mayor intensidad para los meses de setiembre a marzo. Mientras que para la sierra baja, Matucana, se registran velocidades promedio de 15.6 km/h predominantemente del suroeste, clasificados también como brisa débil.

La influencia de estas condiciones sobre los aspectos ambientales en minería - agua (por ser el caso) se pueden resumir en:

Determinan grandes pérdidas de agua a la atmósfera que en el caso de las canchas de relave antiguas y canchas de desmontes, favorecen de ese modo al arrastre de partículas minerales por acción del viento.

Las pérdidas por evaporación en cuerpos y cursos de agua menores, incrementan drásticamente la concentración de elementos nocivos. En casos extremos pueden producir la salinización de terrenos agrícolas y aún la formación de estratos duros que destruyen y/o impiden la vegetación.

Con respecto a los descensos extremos de temperatura hay que tenerlos en cuenta para los taludes de las presas de relave, puesto que el agua infiltrada al congelarse aumenta el volumen y provoca grietas que ponen en riesgo la estabilidad física de estas presas.

Como se mencionó anteriormente la precipitación pluviales son relativamente alta en los orígenes de la cuenca (cuenca alta - media) donde se encuentra acentada en gran parte la actividad minera; estas altas precipitaciones ocasionan lo siguiente:

En el lado favorable disminuyen la concentración de los elementos contaminantes en los cursos y cuerpos de agua por el efecto de de dilución. Si bien en dichos casos las concentraciones pueden disminuir por debajo de los límites permisibles hay que señalar que la carga contaminante vertida al curso de agua no disminuye.

La dilución puede generar incrementos sustanciales de p, determinando entonces la precipitación de metales disueltos. En este caso se reduce la concentración por debajo de los límites permisibles y también la carga contaminante.

El incremento del caudal de los cursos de agua contaminada puede determinar que se alcancen y contaminen áreas agrícolas o ambientes naturales sensibles.

El incremento del caudal del río causa la erosión directa de los emplazamientos de relave ubicados en la misma ribera, incorporando entonces material contaminante al curso de agua.

Las precipitaciones también una labor intensa de lixiviación de las áreas mineralizadas, relaves y desmontes oxidados por acción atmosférica, e introducen gran cantidad de contaminantes en los cursos de agua naturales.

CUADRO V-II
RIO RIMAC - DESCARGAS (m³/s)
Estación : Chosica

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1939	23256	64730	128062	48440	20877	13251	12012	12273	12975	13003	13054	21375
1940	44223	33504	75292	33847	16706	13378	12149	12606	13054	12951	13596	13211
1941	41373	79693	101235	16937	13561	12052	11757	12195	12639	14100	17132	28962
1942	53886	82106	53054	31074	19071	14144	13838	13547	12949	12762	12762	17322
1943	38715	112494	69181	53127	17422	13017	12884	13055	13195	13601	13788	23790
1944	47847	59037	67074	32010	18219	14017	13000	13030	13022	13415	13673	16038
1945	29354	44062	56993	37473	18820	13951	12372	11959	11965	13098	18065	31919
1946	70039	60378	110100	53436	25435	15670	12725	12290	13050	13241	18500	35977
1947	39960	38792	69948	30633	21241	13533	11648	12130	13047	15094	14650	17690
1948	56596	47586	54985	36266	25370	19516	15319	12590	13068	22790	22353	17106
1949	29967	27928	62066	31860	17812	14353	13781	13335	13038	13391	16018	11894
1950	37987	47900	45364	40343	20555	15113	13258	123790	12463	12443	14366	39938
1951	44595	76260	114835	45116	20954	18138	13629	12645	12983	14454	29516	31854
1952	66467	88379	86516	51883	20077	17600	14741	12661	13650	13145	17966	25193
1953	35000	105607	81503	50266	22870	18453	15467	13968	14583	14258	26583	28741
1954	47693	87209	94667	31433	23161	17633	14900	13887	13550	14709	20670	20242
1955	41709	75785	114000	39250	21774	18283	16045	13403	13250	12155	11577	15177
1956	18422	75396	69214	37433	16661	12210	10858	11926	12890	11822	11394	11983
1957	15986	42955	48806	30933	14242	10260	9829	10729	11467	11426	11888	13122
1958	17443	43082	48445	17992	12321	10552	10379	10550	11135	12042	12360	12451
1959	12203	68839	70642	57917	19077	12942	12239	11506	12661	16264	15151	23985
1960	31351	39586	40516	22366	14304	12171	11735	11621	12460	13183	13628	13217
1961	27534	50892	43037	39493	22046	14305	12688	12464	13055	12974	19713	33742
1962	41355	41910	61759	31965	18211	13917	13976	14161	13884	13720	13090	17180
1963	48358	49370	60720	35453	21398	15562	14602	14137	14843	15486	19114	34807
1964	22894	36793	53530	42380	22370	15360	14744	14801	15398	15469	13742	13203
1965	18455	51443	43940	20750	15972	11971	11532	11120	12085	12963	13385	16072
1966	32508	28686	37717	24955	18632	14267	14820	13948	14313	20107	19337	26090
1967	29678	66168	59119	33723	21421	18093	18548	17830	19220	23962	21162	20374
1968	24661	22448	31400	20810	16548	15082	14403	14006	14810	16221	17977	18760
1969	16890	23718	33919	30257	17645	16646	15576	15490	15713	16356	17321	36998
1970	64897	35643	32100	28823	23244	19548	18148	18080	19460	19884	19748	28305
1971	38212	46470	69967	35883	22170	21000	19845	18803	19670	18648	17445	24606
1972	3838530	44453	86740	52863	23350	17444	16729	17153	17236	17622	17677	26045
1973	57075	83814	91550	74489	35272	19820	20582	20314	17998	19872	23277	38905
1974	50737	59003	61880	39269	20025	19456	17144	17644	20530	20683	23035	19813
1975	24190	27385	67506	33544	22946	19670	17601	18690	18810	18637	21464	21572
1976	38183	59360	54895	31087	20450	18954	16338	16775	18320	18668	20610	20036
1977	22150	58258	41430	25680	20526	17075	16350	17670	17630	17290	23900	22853
1978	29488	54680	33038	22750	18476	18054	18156	18420	18100	18392	18554	21160
1979	18107	51658	59496	31355	18242	17924	16378	17065	17740	17576	17658	17546
1980	26224	26670	32517	26957	18500	18475	15770	16027	17868	20040	21279	25608
1981	32511	74369	65945	31995	19417	18495	19070	18495	18817	18511	21374	26354
1982	31852	79024	46227	30301	20355	17524	16204	17189	16542	17227	21096	20550
1983	24326	21376	32344	37988	20740	20378	17331	18483	18212	19415	19719	27082
1984	26285	81274	69051	47131	28041	21754	20812	19010	18203	20594	22926	38528
1985	24682	38181	53494	49348	24079	20708	17382	18084	18147	18535	19550	25378
1986	51053	59529	67521	53585	35221	21954	21520	20844	18924	19163	20196	25734
1987	50239	55731	30245	23163	20619	18491	19638	18095	18603	18966	18947	23412
1988	37481	55329	40155	44643	22012	18927	18735	20534	18634	17812	17632	21290
1989	44713	66286	66032	45787	25095	16939	18777	17952	18603	19239	21283	19452
1990	29306	20014	18976	15144	14126	13431	13445	12667	13666	15750	23741	24816
1991	23785	29379	58423	27313	2158	17321	17016	17297	18187	17960	17591	17382
1992	20315	14866	24720	18540	12907	13049	13298	12988	13068	13293	13009	12515

Tabla V-6
Características Metereológicas de la Cuenca del Río Rímac

Niveles Allitudinales	Precipitaciones	Temperatura	Humedad
0 - 500	10	18.6	83
500 - 1000	100	18.8	85
1000 - 2000	200	s/i	70
2000 - 3100	350	15	62
3100 - 3800	500	10	50
3800 - 4800	850	5	s/i
> - 4800	1000	2	s/i

Fuente: "Contaminación del río Rímac por Metales Pesados", 1986

5.1.3 Ecología.

Las formaciones ecológicas que se advierten para los distintos pisos ecológicos desde un punto de vista de potencia agropecuario son: Desierto Subtropical, con una potencia medio ambiental muy bueno; el matorral desértico sub tropical, con medio ambiente regular para la actividad agrícola; Estepa espinosa Montano bajo, con una potencia medio ambiental bueno para la explotación agropecuaria; Páramo muy Húmedo sub-alpino, con potencia medio ambiental de regular a bueno y la tundra Pluvial Alpina, con potencia medio ambiental muy pobre. Las praderas identificadas dentro del área de puna en general presentan un estado de conservación de regular grado.

La ganadería para los diferentes pisos, no presenta un progreso notorio, debido a la deficiente producción de pastos.

5.1.4 Geología.

La ubicación geológica de la cuenca del río Rímac, se extiende longitudinal a la Cordillera de los Andes, depositándose en ella sedimentos de fases marina y continental, las que fueron modificadas por efectos tectónicos como consecuencia del emplazamiento del

Batolito de la Costa y de procesos orgánicos y epirogénicos que generaron fuerzas de tensión y compresión, cuya evidencia constituye el levantamiento de la Cordillera de los Andes y las estructuras geológicas resultantes tales como fallas, pliegues, sobre escurrimientos, etc. Estas cadenas de montaña resultantes, fueron erosionadas antes de que se depositaran en las capas rojas y conglomerados terciarios, así como de las lavas y los piroclastos terciarios-cuaternarios, habiéndose alcanzado por procesos de relleno y asentamiento la nivelación casi completa de la región. De esta deformación de sedimentos, se produjo un segundo sistema de cordilleras, que es el paisaje actual.

5.1.5 Suelos.

Los paisajes que presenta la cuenca del valle Rímac están relacionados con los grupos de suelos que con sus características fisiográficas en lo que respecta a lo Aluvial; se puede afirmar que comprende a aquellos suelos que se derivan de los depósitos fluviales del río Rímac y sus tributarios, tales como terrazas bajas e intermedias, así como de la llanura aluvial del amplio radio. Estas pueden tipificarse, subdividiéndose en subpaisajes de valle encajonado y en el de llanura aluvial.

5.1.6 Población.

La zona de la cuenca del río Rímac en la cual se asienta la ciudad de Lima, se constituye como el grupo poblacional más grande del país, derivado en un complejo industrial que muestra altos grados de concentración respecto a las demás regiones del Perú. (Cuadro V-III. Población por distrito).

CUADRO V-III
POBLACION POR DISTRITO, CUENCA DEL RIO RIMAC
(miles de habitantes)

Distritos	Población nominalmente censada		
	1981	1993	1996 a/
Cuenca Rimac 1/	4219.12	4879.812	5310.157704
Prov. Const. del Callao			
Bellavista	68.000	71.665	73.060
Callao	264.000	369.768	402.712
Carmen de la Legua Reynoso	39.000	38.149	38.275
La Perla	47.000	59.160	62.904
La Punta	6.000	6.490	6.657
Provincia de Huarochiri			
Callahuanca	0.852	0.788	0.775
Carampona	1.024	0.463	0.388
Casta	1.331	1.198	1.169
Chicla	6.926	6.164	6.001
Huachupampa	0.469	0.428	0.426
Huanza	2.489	0.460	0.361
Laraos	0.464	0.341	0.319
Matucana	6.165	5.768	5.676
Ricardo Palma	3.548	4.609	4.885
San Antonio	0.755	2.795	3.745
San Bartolomé	1.219	1.025	0.987
San Juan de Iris	0.388	0.313	0.298
San Mateo	8.248	5.145	4.627
San Mateo de Otao	1.983	2.087	2.109
Santa Cruz de Cocrachacra	1.56	2.136	2.294
Santa Eulalia	5.648	6.828	7.124
Surco	1.749	1.777	1.782
Provincia de Lima			
Ate	145.504	266.398	352.009
Barranco	46.478	40.660	39.962
Breña	112.398	89.973	86.604
Chaclayo	31.592	35.994	37.398
Chorrillos	141.881	217.000	240.347
El Agustino	167.771	154.028	153.011
Independencia	137.722	183.927	198.108
Jesús María	83.179	65.557	62.874
La Molina	14.659	78.235	116.225
La Victoria	270.778	226.857	220.717
Lima	371.122	340.422	337.987
Lince	80.456	62.938	60.255
Lurigancho	65.139	100.240	111.879
Magdalena del Mar	55.535	48.963	48.058
Miraflores	103.453	87.113	84.854
Pueblo Libre 2/	83.985	74.054	72.765
Rimac	184.484	189.736	192.843
San Isidro	71.203	63.004	62.085
San Juan de Miraflores	165.765	283.349	323.158
San Juan del Lurigancho	259.390	582.975	706.094
San Luis	57.269	48.909	47.785
San Martín de Porres	404.856	380.384	401.141
San Miguel	99.221	117.488	123.295
Santiago de Surco	146.636	200.732	217.464
Surquillo	134.158	88.464	92.031
Villa María del Triunfo	313.912	263.554	293.418
Provincia de Yauli			
Marcopomacocha	1.756	1.301	1.216

a/ Población estimada al 30 de junio de 1996. Proyección realizada por el INSTITUTO CUANTO sobre la base de los resultados del Censo de 1993.

1/ Comprende algunos distritos de la provincia de Lima, Callao, Huarochiri y el distrito de Yauli ubicado en la provincia de Yauli departamento de Juní

1/ Antes Magdalena Vieja.

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA (INEI) - Censos Nacionales de 1993, IX de Población, IV de Vivienda.

5.1.7 Usos del Agua para Diversos fines.

Tabla V- 7
Uso del Agua para Abastecimiento de la Población

Población (Habitantes)		Consumo en miles de m ³		
Servida	No servida	Pob.Servida	Pob.No Servida	Total
4 800 997	1 123 796	604 495	16 101	620 596

Nota: Consumo per-capita 180 l/hab/día

Fuente: Elaboración con datos proyectados del INEI a 1992.

Estudio Básico Situacional de los Recursos Hídricos del Perú. 1992

Tabla V- 8
Uso del Agua con fines Agrícolas

Meses	Superficie Cultivada
Agosto.	5 935
Setiembre.	6 778
Octubre.	7 917
Noviembre.	8 509
Diciembre.	8 580
Enero.	10 585
Febrero.	10 315
Marzo.	10 407
Abril.	10 317
Mayo.	10 919
Junio.	11 680
Julio.	9 655
Total de consumo (miles m ³)	176 149

Fuente: Convenio INAF-CEDEX (PLANIR). PLANIR 1987, ONERN 1984, DGAS 1992.

Tomado de Estudio Básico Situacional de los Recursos Hídricos del Perú. 1992

Tabla V- 9
Uso del Agua con fines Mineros

Nº Plantas de Benef.	Cap. Inst. TM/día	Prom. diario Tratado TM/día	Uso del agua miles m ³
23	9 534	8 634	10 449

Fuente: Oficina de Estadística Minera M.E.M, 1988

Tomado de Estudio Básico Situacional de los Recursos Hídricos del Perú. 1992

Tabla V-10
Uso del Agua con fines Industriales

Número de Industrias	Uso del agua (miles m ³)
10 892	671 310

Fuente: Dirección de Estadística del MITI, 1988.

Tomado de Estudio Básico Situacional de los Recursos Hídricos del Perú. 1992

Tabla V-11
Uso del Agua con fines Pecuarios

Especie	Cantidad (#)
Vacuno.	360
Ovino.	145
Caprino.	39
Porcino.	177
Equino.	65
Auquenidos	13
Aves de corral.	904
Otras especies	29
Total de consumo (miles m3)	1 310

Fuente: Oficina Estadística Agraria MA, 1990

Tomado de Estudio Básico Situacional de los Recursos Hídricos del Perú. 1992

Tabla V-12
Uso del Agua con fines Energéticos

C. Hidroeléctricas	C. Térmicas	Total (miles m3)
542 583	8 292	550 875

Fuente: ONERN 1980, actualizada por Electroperú a 1990.

Tomado de Estudio Básico Situacional de los Recursos Hídricos del Perú. 1992

Tabla V-13a
Cuadro Resumen (usos del agua)

Uso consuntivo ¹	Miles m ³
Poblacional.	176 149
Agrícola.	620 596
Minero.	10 449
Industrial.	671 310
Pecuario.	1 310
Total.	1 479 814

Fuente: Elaboración con datos proyectados del INEI a 1992.

Estudio Básico Situacional de los Recursos Hídricos del Perú. 1992

Tabla V-13b

Uso no consuntivo ²	Miles m ³
Energético.	550 875

Fuente: Elaboración con datos proyectados del INEI a 1992.

Estudio Básico Situacional de los Recursos Hídricos del Perú. 1992

¹El derecho consuntivo es aquel que no obliga a restituir las aguas después de usadas.

²El derecho no consuntivo sí obliga a restituir las aguas después de usadas.

5.2 PERIODO DE ESTUDIO

El período de estudio considerado para la presente tesis, comprende desde mayo de 1994 a febrero de 1995. Dicho periodo fue dividido (para mejor observación del comportamiento de los metales en el río) en dos sub períodos : El correspondiente a la época de sequía (mayo a noviembre) y época de avenidas (diciembre a febrero).

El análisis de la información obtenida, en relación a los dos subperiodos, permite observar la diferencia de concentración que se presenta entre los meses de sequía y los de avenidas, encontrándose menores valores de concentración de metales pesados para los meses de avenidas debido al efecto de dilución.

5.3 PUNTOS DE MONITOREO

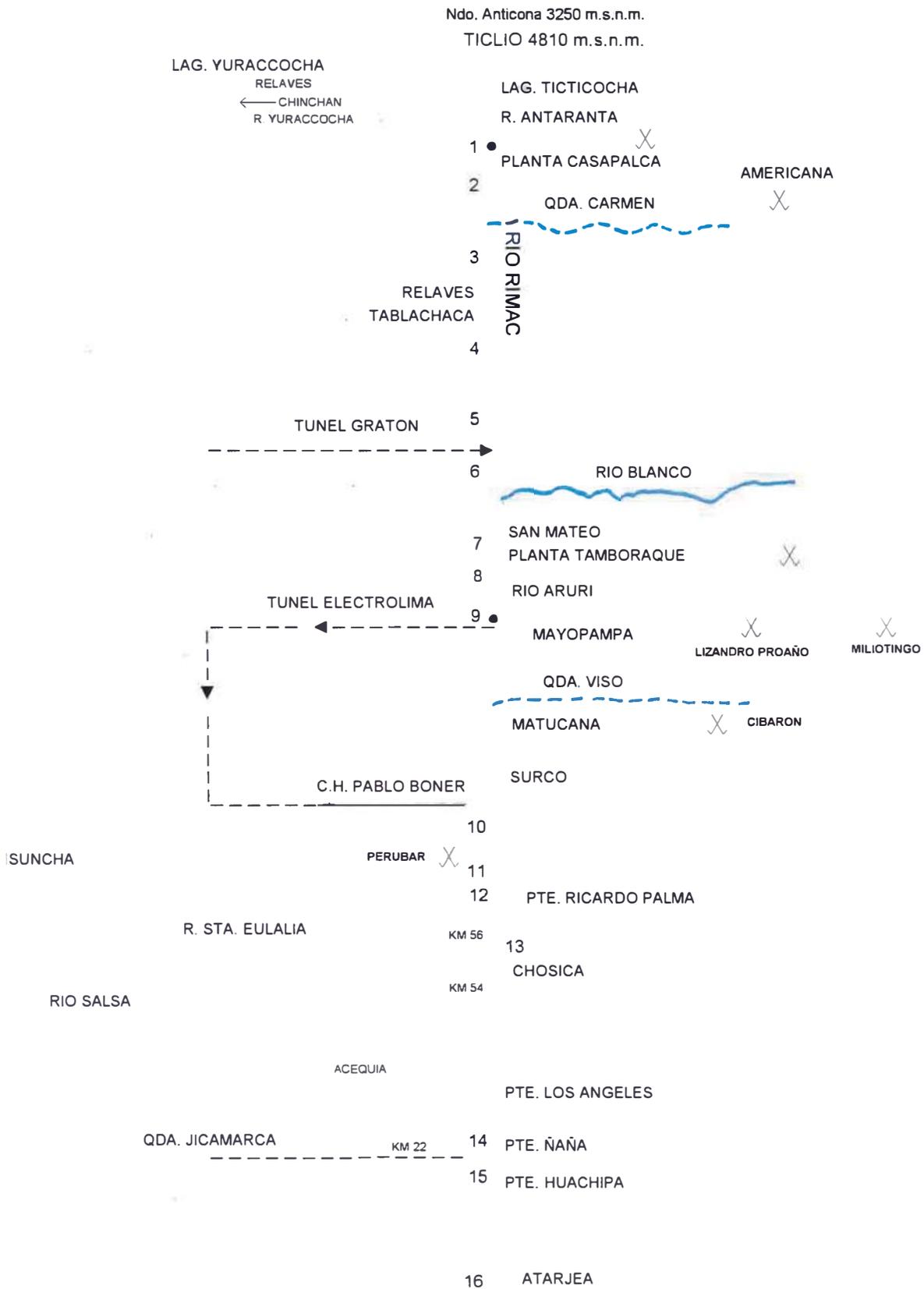
Los resultados obtenidos para los diferentes puntos de monitoreo son presentados en dos grandes grupos. El primero correspondiente a la concentración de metales pesados en 16 puntos a lo largo del río, y el segundo correspondiente a las descargas de las industrias mineras consideradas.

5.3.1 A lo largo del río

El número de puntos de monitoreo a lo largo del río es 16, son los siguientes:

1. R.R antes de Casapalca.
2. R.R despues de Casapalca.
3. R.R antes de Tablachaca.
4. R.R despues de Tablachaca.
5. R.R antes del Tunel Graton
6. R.R despues del Tunel Graton.
7. R.R antes de la Planta de Tamboraque.
8. R.R despues de la Planta de Tamboraque.
9. R.R Bocatoma Pablo Boner.
10. R.R 200m antes de Perubar.
11. R.R 200m despues de Perubar.
12. Puente Ricardo Palma.

ESQUEMA V-2
PUNTOS DE MONITOREO
RIO RIMAC



13. Rio Santa Eulalia.
14. Puente Ñaña.
15. Puente Huachipa.
16. Bocatoma Planta Atarjea.

El criterio tomado para la selección de los primeros puntos (cuenca alta y media) corresponde al señalado por el "Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua" (Sub-Sector Minería/Dirección General de Asuntos Ambientales) dado por el Ministerio de Energía y Minas, donde se recomienda realizar un monitoreo de las aguas del río en puntos antes y después de las operaciones mineras.

Los puntos pertenecientes a la cuenca baja (más cercano a la ciudad) fueron escogidos bajo el criterio de ser ubicables fácilmente (cruce con otro río, puentes, bocatoma)

5.3.2 En las minas.

Los puntos de monitoreo seleccionados corresponden a los efluentes de las siguientes empresas.

Empresa Minera del Centro del Perú (Casapalca)
Compañía Minera Casapalca (Americana)
Negociación Minera Lizandro Proaño (Tamboraque)
Perubar (Graciela)

Es necesario aclarar que, dentro de los efluentes seleccionados para el monitoreo, no se incluyen a aquellos correspondientes a los campamentos mineros, por presentar estos cero (mg/l) y/o trazas de metales pesados siendo de esta manera su contribución a la carga total (Kg/día), de metales pesados, despreciable.

Dentro de las minas existen diferentes operaciones¹ cada una de ellas tiene su efluente. En la mayoría de los casos dichos efluentes

¹No se incluye aquí las operaciones de exploración y minado las cuales no generan efluentes.

Dentro de las minas existen diferentes operaciones¹ cada una de ellas tiene su efluente. En la mayoría de los casos dichos efluentes son directamente descargados al curso de agua (río Rímac) o en su defecto son colectados (en conjunto) en una canaleta que los conduce a su disposición final (estanque de sedimentación o el curso de agua).

Por lo tanto, para las minas de estudio se seleccionó como puntos de monitoreo a todos aquellos efluentes que son descargados directamente al río Rímac, y en el caso de ser juntados en canaletas se consideró el efluente total.

Los efluentes considerados son los siguientes:

- ◆ Empresa Minera del Centro del Perú (Casapalca)
 - Salida del Depósito de Relaves de Chinchán.
 - Salida del Tunel Carlos.
 - Efluentes Aguas industriales concentradora.
 - Salida del depósito de relaves de Tablachaca.
 - Salida del Tunel Graton.

- ◆ Compañía Minera Casapalca (Americana)
 - Cancha de Relaves.
 - Bocamina Piedra Parada.
 - Bocamina el Carmen.

- ◆ Negociación Minera Lizandro Proaño (Tamboraque)
 - Drenaje de Mina nivel 330.
 - Drenaje de Mina niveles 710,635.460.
 - Aguas Residuales de las Conchas del Espesador de Plomo.
 - Aguas Residuales de las Conchas del Espesador de Zinc.
 - Aguas Residuales de las Conchas del Espesador de Cobre.

¹No se incluye aquí las operaciones de exploración y minado las cuales no generan efluentes.

◆ Perubar (Graciela)

Agua de mina sta Cecilia.

Agua nivel 1168 mn Graciela.

Agua sale poza de sedimentación.

Agua mina Juanita.

Agua de rebose de tanque.

Vertimiento al río Rímac.

Los puntos de monitoreo considerados permitirán conocer el volumen total de descarga (suma de los efluentes) con su correspondiente carga contaminante por empresa minera en estudio.

5.4 METODOLOGIA

5.4.1 Metodología de determinación de metales pesados.

El análisis de la concentración de metales pesados, tanto en el río Rímac como en los efluentes de las minas, fue mediante un espectrofotómetro de absorción atómica.

El análisis correspondió a la presencia total del metal pesado en el agua, es decir al resultado obtenido de una muestra sin previo filtrado.

Para cada empresa minera se trabajó con distintos laboratorios, pero con la misma técnica de análisis.

Las técnicas utilizadas en los siguientes aspectos:

Preparación para el viaje de campo.

Observación de la estación.

Toma de muestras.

Mediciones de campo.

Conservación de muestras.

Rotulado y embarque.

Conservación de muestras.

Rotulado y embarque.

Fueron realizadas siguiendo lo especificado en el "Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua Sub-Sector Minería" Dirección General de Asuntos Ambientales.

5.4.2 Manejo de Información.

a. Del río

La información obtenida sobre los valores de concentración de metales pesados en los distintos puntos a lo largo del río será trabajada desde dos puntos de vista:

Como concentración (mg/l) del elemento, para poder ser comparado con los límites permisibles correspondientes a la Ley de Aguas, especialmente con referencia a las aguas de clase III (aguas para riego de vegetales).

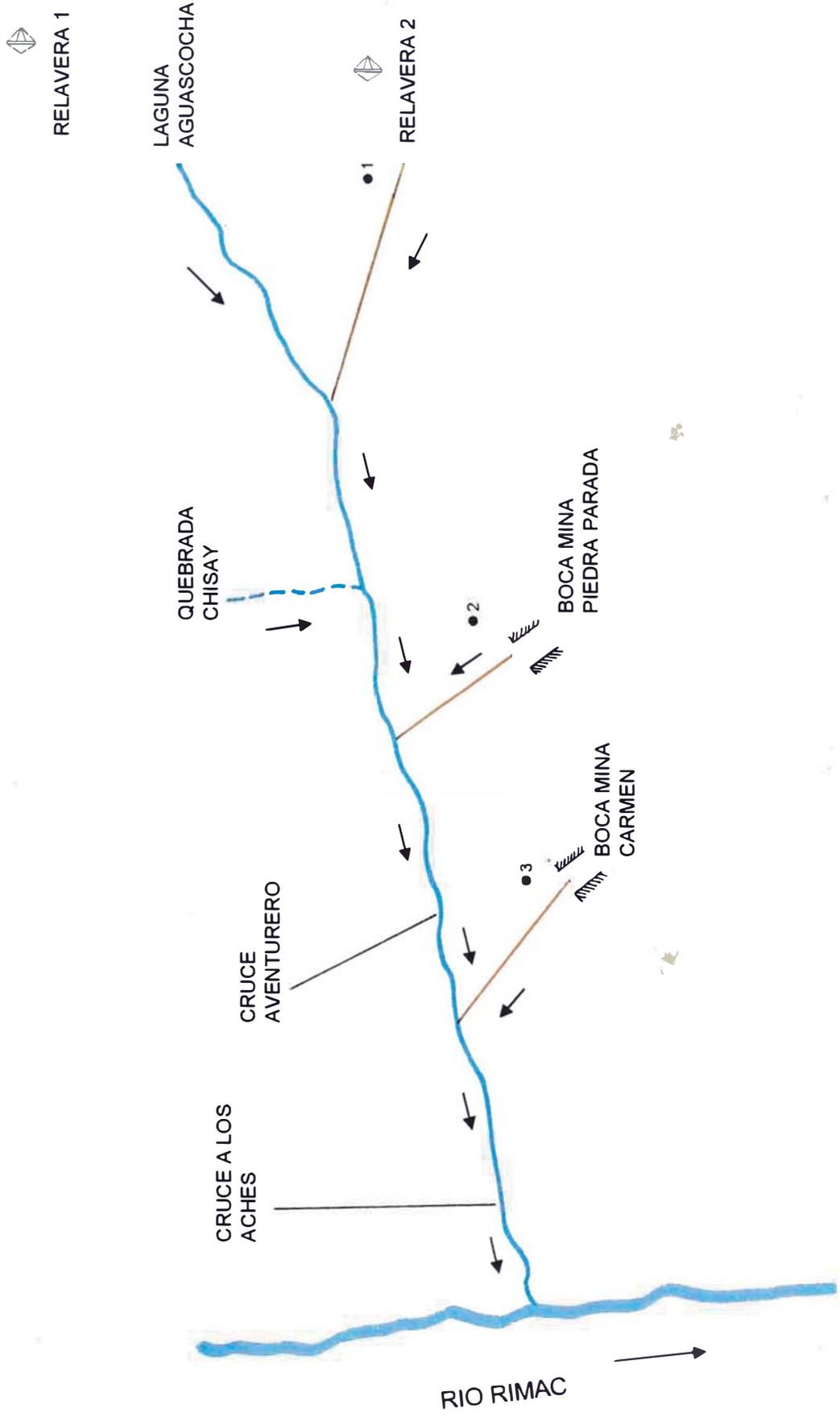
Como carga (kg/día) del elemento, para poder establecer cómo se comporta éste a lo largo del río teniendo en consideración la variaciones de caudal que sufre el río en todo su recorrido ¹.

b. De las minas.

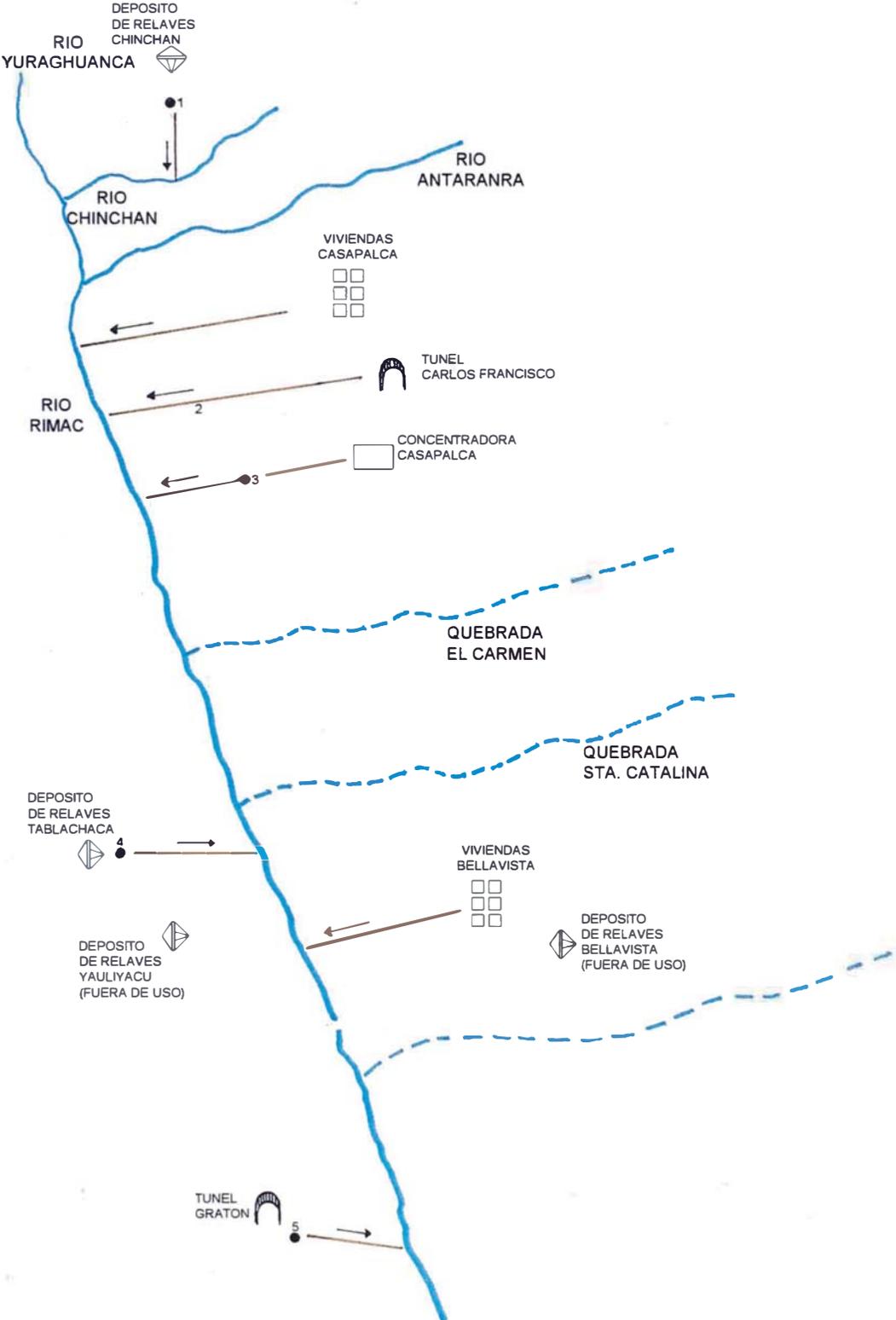
El segundo conjunto de datos (descargas) serán reportados en valores de concentración (mg/l); sin embargo serán trabajados como carga (kg/día) del elemento, por no existir todavía en la normatividad peruana un límite permisible

¹Las variaciones de caudal del río influirán en la mayor o menor concentración de los metales por el efecto de dilución.

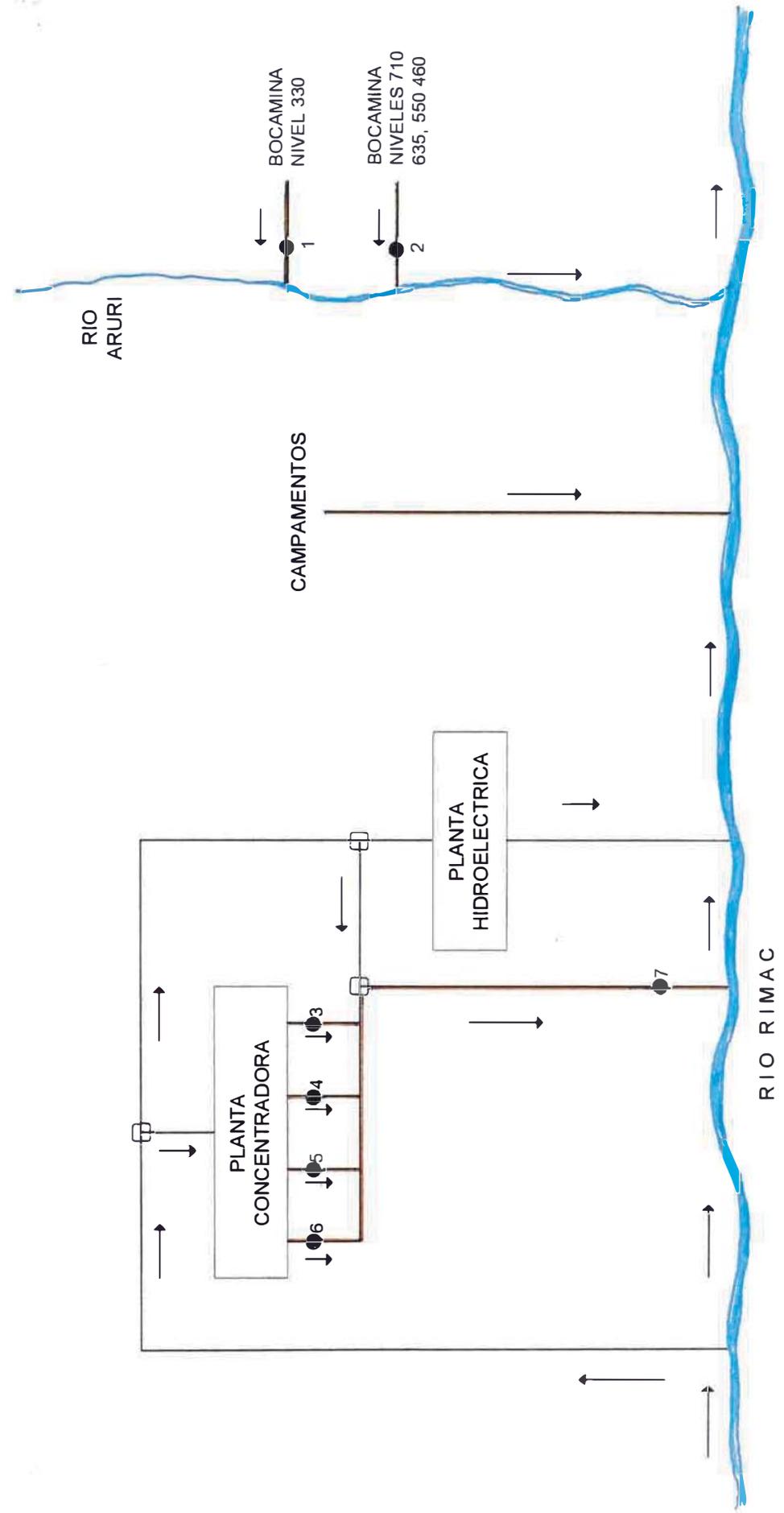
ESQUEMA V-3
PUNTOS DE MONITOREO
CASAPALCA - AMERICANA



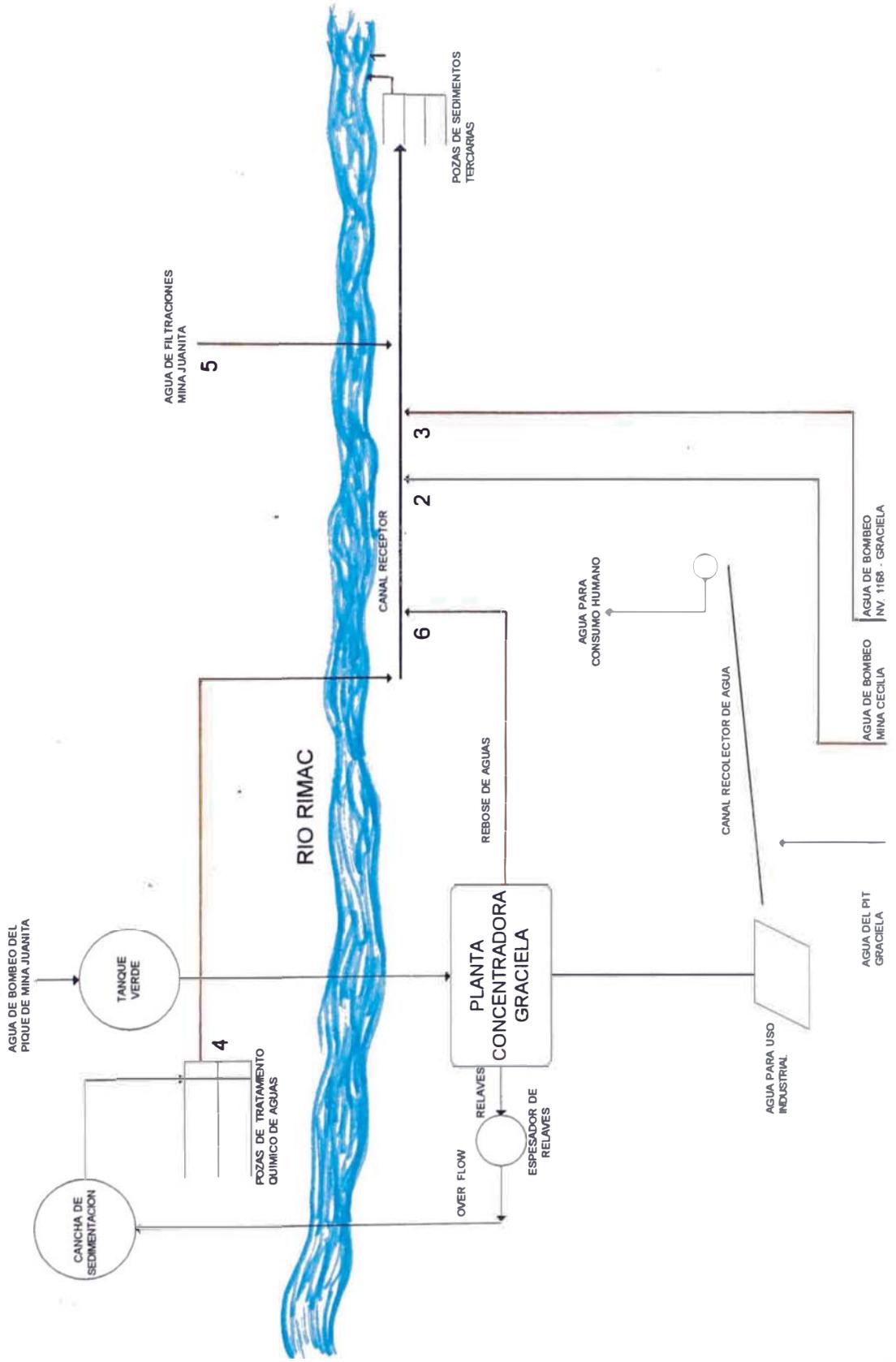
ESQUEMA V-4
PUNTOS DE MONITOREO
EMPRESA MINERA DEL CENTRO DEL PERU - CASAPALCA



ESQUEMA V-5
PUNTOS DE MONITOREO
LIZANDRO PROAÑO - TAMBORAQUE



ESQUEMA V-6
PUNTOS DE MONITOREO
EMPRESA MINERA PERUBAR



CAPITULO VI

6.0	ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	
6.1	En el río	144
6.2	De las empresas consideradas	167
Relación de cuadros		
	Cuadro VI-Ia	
	Variación de la concentración de metales pesados a lo largo del río Rímac	150
	Cuadro VI-Ib	
	Variación de la carga de metales pesados a lo largo del río Rímac	155
	Cuadro VI-Ic	
	Variación del caudal a lo largo del río Rímac	160
	Cuadro VI-II	
	Comparación de la concentración de metales pesados en el río Rímac con los límites permisibles de la Ley General de Aguas	161
	Cuadro VI-III	
	Comparación de la carga de metales pesados 85, 94-95	165
	Cuadro VI-IVa	
	Empresa minera Casapalca-Concentración (Americana)	173
	Cuadro VI-IVb	
	Empresa minera Casapalca-Carga (Americana)	174
	Cuadro VI-IVc	
	Empresa minera Casapalca-Caudal (Americana)	175
	Cuadro VI-Va	
	Empresa minera del centro del Perú-Concentración (Casapalca)	176
	Cuadro VI-Vb	
	Empresa minera del centro del Perú-Carga (Casapalca)	177
	Cuadro VI-Vc	
	Empresa minera del centro del Perú-Caudal (Casapalca)	178
	Cuadro VI-VIa	
	Negociación minera Lizandro Proaño-Concentración (Tamboraque)	179
	Cuadro VI-VIb	
	Negociación minera Lizandro Proaño-Carga (Tamboraque)	180
	Cuadro VI-VIc	
	Negociación minera Lizandro Proaño-Caudal (Tamboraque)	181
	Cuadro VI-VIIa	
	Empresa minera Perubar-Concentración (Graciela)	182
	Cuadro VI-VIIb	
	Empresa minera Perubar-Carga (Graciela)	183
	Cuadro VI-VIIc	
	Empresa minera Perubar-Caudal (Graciela)	184
	Cuadro VI-VIII	
	Carga de metales pesados por empresa	185
Relación de tablas		
	Tabla VI-1	
	Reducción de los niveles de metales pesados en el río Rímac.	148
	Tabla VI-2	
	Variación de la carga en el río Rímac después de Casapalca entre OCT 85-94.	149
	Tabla VI-3	
	Variación de la carga debido a la mezcla.	168

Tabla VI-4	
Concentración por balance . carga.	169
Tabla VI-5	
Reducción de la concentración de metales de las aguas del tunel Carlos antes de la mezcla	170
Tabla VI-6	
Contribución del drenaje de mina a la descarga total de la mina Tamboraque	171
Tabla VI-7	
Reducción de la carga ante la mezcla de efluentes	172
Relación de gráficos	
Gráfico VI-1a	
Variación de la concentración de cobre en el río Rímac	151
Gráfico VI-2a	
Variación de la concentración de plomo en el río Rímac	151
Gráfico VI-3a	
Variación de la concentración de cadmio en el río Rímac	152
Gráfico VI-4a	
Variación de la concentración de zinc en el río Rímac	152
Gráfico VI-5a	
Variación de la concentración de fierro en el río Rímac	153
Gráfico VI-6a	
Variación de la concentración de manganeso en el río Rímac	153
Gráfico VI-7a	
Variación de la concentración de arsénico en el río Rímac	154
Gráfico VI-1b	
Variación de la carga de cobre en el río Rímac	156
Gráfico VI-2b	
Variación de la carga de plomo en el río Rímac	156
Gráfico VI-3b	
Variación de la carga de cadmio en el río Rímac	157
Gráfico VI-4b	
Variación de la carga de zinc en el río Rímac	157
Gráfico VI-5b	
Variación de la carga de fierro en el río Rímac	158
Gráfico VI-6b	
Variación de la carga de manganeso en el río Rímac	158
Gráfico VI-7b	
Variación de la carga de arsénico en el río Rímac	

CAPITULO VI

6.0 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS**6.1 EN EL RIO.**

Los resultados obtenidos del monitoreo del río (16 puntos) durante la etapa de estudio -mayo de 1994 a febrero de 1995- se presentan en el Cuadro AI-la (Anexo I).

Como se presenta en el Cuadro V-III (datos históricos), el río Rímac, sufre a lo largo del año intensas variaciones de caudal, los registros correspondientes al período de estudio también lo confirman (ver Cuadro VI-Ic). Estas variaciones¹ han ocasionado, la necesidad de tomar especiales consideraciones en el momento de calcular una concentración promedio anual de los elementos monitoreados.

El Cuadro AI-la, presenta información para los diferentes metales estudiados, observándose dos columnas correspondientes a promedios; la primera, referida a un promedio aritmético de los valores de concentración mensual, y la segunda a un promedio ponderado el cual ha tomado en consideración la influencia del caudal². Existe una diferencia, entre ambos promedios, siendo en algunos casos más representativa que otros; así por ejemplo para el plomo en el punto 2 (después de Casapalca), el promedio ponderado es aproximadamente 4% mayor que el promedio aritmético, no así para el punto 11 (después de Perubar) donde la concentración ponderada es mayor en 40% aproximadamente. La diferencia entre ambas concentraciones promedio es debido a la influencia que ejerce el valor del caudal en el cálculo de la concentración ponderada, ya que tenemos un conjunto de variaciones a lo

1 La variaciones de caudal estan referidas a la disminución y aumento de éste, durante las épocas de estiaje, comprendida entre los meses de mayo y octubre, y las épocas de avenidas, comprendida entre noviembre y abril, respectivamente aportando un menor o mayor medio de dilución para los contaminantes según sea el caso.

2 La metodología de cálculo se explica en el anexo I.

largo del año. El no considerar dichas variaciones de caudal, significaría en términos de contaminación un nivel mucho menor. Este efecto se puede verificar al comparar las concentraciones promedio simple ponderada como ya se vió anteriormente.

La diferencia existente entre los valores de concentración simple y concentración ponderada, no sólo se debe a la influencia de las variaciones de caudal, sino también a la falta de información en algunos meses, caso en el cual la diferencia se hace mayor. Estas observaciones condujeron a considerar como valor más representativo de la concentración promedio anual, al promedio ponderado. El conjunto de estos resultados se presentan en el Cuadro VI-la.

Realizando una comparación entre los valores de la concentración promedio anual y los límites permisibles (ver Cuadro VI-II), se deduce que el elemento que presenta mayores problemas es el plomo el cual en el 68.8% de los puntos monitoreados sobrepasa el límite establecido por la Ley de Aguas para la clase III (agua para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales). Para la clase II (agua de abastecimiento doméstico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración aprobados por el Ministerio de Salud) el límite es superado en 15 de los 16 puntos monitoreados. Ocasionando problemas en los cultivos - tallos delgados- , y una bioacumulación progresiva en los animales.

Otros elementos que estarían generando un riesgo para los cultivos son el fierro y en menor proporción el manganeso por sobrepasar los límites permisibles de clase III. El fierro sobrepasa el límite en diez de los dieciseis puntos, siendo el punto 14 (altura del puente Ñaña) el que presenta la más alta concentración, 1731.38% encima del límite permisible. En el caso del manganeso se presenta siete puntos sobre el límite permisible, estos puntos pertenecen a la zona alta e intermedia (comprendida entre los puntos 1 y 10) verificándose a partir del punto 10 (R.Rímac antes de Perubar) valores de mucho menores.

La concentración de metales en los 16 puntos de monitoreo a lo largo del río es representada en los Gráficos VI-la al VI-7a. Para una mejor comprensión se realizó una división del área de monitoreo (16 puntos) en tres

zonas. Una zona alta, entre los puntos 1 y 5; zona intermedia, entre los puntos 6 y 10; y una zona baja, entre los puntos 11 y 16.

El comportamiento típico de las curvas de concentración, muestra dos incrementos pico, el primero entre los puntos 1 y 3, correspondientes al área de Casapalca (zona alta), y un segundo incremento en el tramo de los puntos 7 y 9, correspondiente al área de Tamboraque (zona intermedia).

El primer incremento, resulta ser más significativo para el cadmio, zinc, arsénico y manganeso, encontrándose en este tramo su valor máximo de concentración. A diferencia de éste, el segundo incremento es más significativo en el caso del cobre, plomo, sulfato y fierro. La curva de concentración del fierro tiene un comportamiento diferente, presentando su valor máximo en el punto 14 (zona baja) a diferencia de todos los anteriores. Este fuerte incremento estaría debiéndose a la presencia de efluentes industriales a la altura del puente Ñaña.

Como se propuso en el capítulo anterior, existe la necesidad de trabajar con la carga contaminante (caudal por concentración). Esta carga, por tomar en cuenta las variaciones de caudal será más representativa que la concentración promedio.

Esta necesidad surge debido a que no es suficiente referirnos a la concentración de los elementos y compararlas con los límites permisibles, pues en tal caso bastaría diluir el efluente nocivo con efluentes limpios de mayor volumen. El cuadro de variación de la carga en el río (Cuadro VI-Ib) que se ha confeccionado para cada elemento, nos indica en tales casos³ que la carga contaminante no ha disminuido sino que ha sido únicamente distribuída en un cuerpo mayor de agua.

El cálculo de la carga ha servido para no cometer el error de asumir una disminución del nivel contaminante donde no lo hay, ejemplo de ello son los puntos 3 y 4 donde se presenta una disminución en la concentración de los elementos mientras que la carga no presenta esta tendencia sino al contrario un

3 Se refiere a la ocurrencia de una disminución de la concentración en el río. En algunos casos aún ante la presencia de descargas.

aumento. Otros puntos donde ocurre una disminución de concentración ante la presencia de descarga corresponden al Tunel Graton (puntos 5 y 6) para el cobre, plomo, fierro, manganeso. Tambien se incluye dentro de esta lista la Planta de Tamboraque (puntos 7 y 8) para el caso del plomo, cadmio y arsénico; así como Perubar (puntos 10 y 11) en el caso del cobre, plomo, zinc, fierro y manganeso. La disminución real, es decir tanto en la carga como en la concentración se verifica en los puntos agua abajo de la bocatoma Pablo Boner.

El resultado del cálculo de la carga mensual para los diferentes puntos de monitoreo se presentan en el Cuadro AI-Ib. La metodología de cálculo se presenta en el Anexo I.

Los resultados de carga antes mencionados, son resumidos en el Cuadro VI-Ib, el cual muestra la carga promedio anual de los elementos estudiados en los 16 puntos de monitoreo.

Analizando el comportamiento de la curvas de carga se observa que los mayores valores estan concentrados en la zona intermedia con excepción del fierro que presenta, al igual que en el caso de la concentración, su valor máximo en el último tramo (punto 14 - río Rímac a la altura del puente Ñaña).

La diferencia que podemos encontrar al comparar las curvas de concentración con las curvas de carga; se encuentra en la zona alta. En esta zona la carga se presentan los menores valores de carga todo lo contrario a la concentración, la cual presenta valores elevados, siendo en algunos casos puntos de concentración máxima (tal es el caso del cadmio, zinc). De estas observaciones podemos confirmar la gran influencia del caudal como medio de dilución, especialmente en el primer tramo, donde los caudales son muy bajos y la concentración es elevada. (ver Cuadro VI-Ia y Cuadro VI-Ic).

De el análisis hecho, desde el punto de vista de concentración o de carga, se puede concluir que la zona que nos representa mayor riesgo es la intermedia, comprendida del punto 6 al punto 10, especialmente para plomo, fierro y manganeso.

Un aspecto importante de señalar en el comportamiento de los metales a lo largo en el río es la reducción de los niveles de concentración y carga que

se esta produciendo entre los puntos de la zona alta e intermedia (puntos de máxima concentración y carga) y la bocatoma de la Atarjea⁴. (Ver Tabla VI-1).

Tabla VI-1
Reducción de los niveles de metales pesados en el río 1/

Metales Pesados	Concentración (%)	Carga (%)
Cobre	90.0	80.3
Plomo	94.4	90.4
Cadmio	-	-
Zinc	99.3	72.0
Fierro	94.8	81.3
Manganeso	93.9	89.8
Arsénico	90.4	78.0

1/ Corresponde a la zona baja a diferencia de los demas correspondientes a la zonas alta e intermedia.

Nota: La reducción ha sido calculada entre los puntos de concentración y carga máxima y la niveles obtenidos en las aguas de la bocatoma de la atarjea.

Realizando una comparación de este estudio (94-95) con el realizado por el Ministerio de Energía y Minas en 1985⁵, (ver Cuadro VI-III) es posible observar en términos generales una reducción en los niveles de carga a excepción del punto después de Casapalca en el cual se verifican fuertes incrementos como se muestra en la tabla VI-2.

Estos fuertes incrementos muestran la necesidad de medidas de control en referencia a los elementos zinc, fierro y plomo los cuales han presentado los más incrementos, siendo de especial consideración el plomo por sus efectos tóxicos como ya se hizo referencia en el capítulo III.

4 Se realiza la comparación con este punto por ser una referencia del impacto que estarían causando las actividades aguas arriba en el tratamiento de aguas que se realiza en la planta. Es necesario tener en cuenta que este punto no presenta los menores valores de esta zona, siendo el punto a la altura del puente Ricardo Palma el que presenta los menores niveles.

5 Para realizar la comparación se ha tomado al mes de octubre por ser este 1 mes de monitoreo en el estudio del MEM, no siendo representativa la comparación con el promedio dadas las variaciones de caudal durante el año.

Tabla VI-2
Variación de la carga en el río Rímac después de Casapalca
entre OCT 85-94

Metales pesados	Incremento (%)
Cobre	380
Plomo	1194
Cadmio	81
Zinc	3904
Fierro	3183
Manganeso	44
Arsénico	399

La reducciones a la que se hizo referencia se verifican para los puntos antes del tunel Graton, antes de la planta de Tamboraque, después de la planta de Tamboraque, siendo estas alrededor del 50% . El elemento que presenta la mayor reducción de carga en este período es el fierro.

CUADRO VI-1a
VARIACION DE LA CONCENTRACION DE METALES PESADOS A LO LARGO DEL RIO RIMAC
(mg/l)

Cod	Descripción de puntos	Cobre	Plomo	Cadmio	Zinc	Hierro	Manganeso	Arsénico	Sulfatos
P1	R. Rimac antes de Casapalca	0.067	0.077	0.010	0.094	0.399	0.090	0.039	183.409
P2	R. Rimac despues de Casapalca	0.316	0.595	0.030	4.651	3.838	0.686	0.103	212.205
P3	R. Rimac antes de Tablachaca	0.279	0.509	0.023	57.532	1.890	0.814	0.177	244.374
P4	R. Rimac despues de Tablachaca	0.223	0.492	0.022	3.300	1.413	0.666	0.143	206.913
P5	R. Rimac antes del tunel Graton	0.111	0.267	0.010	0.737	1.018	0.159	0.068	93.660
P6	R. Rimac despues del tunel Graton	0.058	0.206	0.010	0.748	0.506	0.149	0.105	218.819
P7	R. Rimac antes de Tamboraque	0.370	1.146	0.016	2.143	5.435	0.868	0.208	257.301
P8	R. Rimac despues de Tamboraque	0.399	1.212	0.012	2.542	8.553	1.279	0.164	379.071
P9	R. Rimac bocatoma Pablo Boner	0.361	1.216	0.019	2.024	5.549	1.265	0.129	416.168
P10	R. Rimac antes de Perubar	0.061	0.503	0.000	0.373	2.184	0.764	***	43.241
P11	R. Rimac despues de Perubar	0.049	0.245	0.037	0.194	0.736	0.040	***	37.624
P12	R. Rimac pte. Ricardo Plama	0.000	0.010	0.000	0.040	0.441	0.010	0.010	***
P13	R. Rimac cruce rio Santa Eulalia	0.144	0.121	0.001	0.508	0.894	0.151	0.020	***
P14	R. Rimac pte Nana	0.030	0.067	0.000	0.266	18.313	0.091	0.030	***
P15	R. rimac pte Huachipa	0.040	0.059	0.000	0.392	1.281	0.077	0.020	***
P16	Bocatoma planta la Atarjea	0.040	0.068	0.000	0.361	0.948	0.078	0.020	***

Nota: Los valores corresponden a la concentración promedio ponderada entre may94 a feb95.

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

GRAFICO VI-1a
VARIACION DE LA CONCENTRACION DE COBRE
EN EL RIO RIMAC

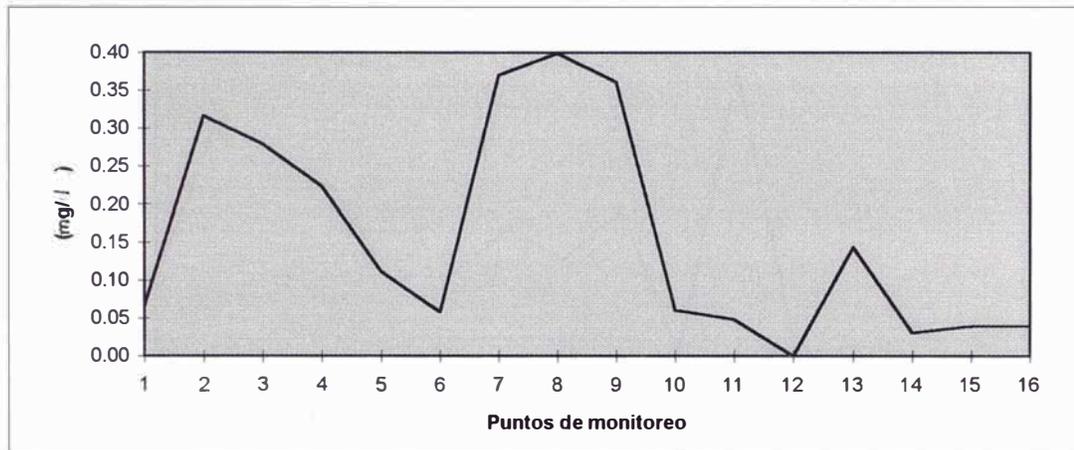


GRAFICO VI-2a
VARIACION DE LA CONCENTRACION DE PLOMO
EN EL RIO RIMAC

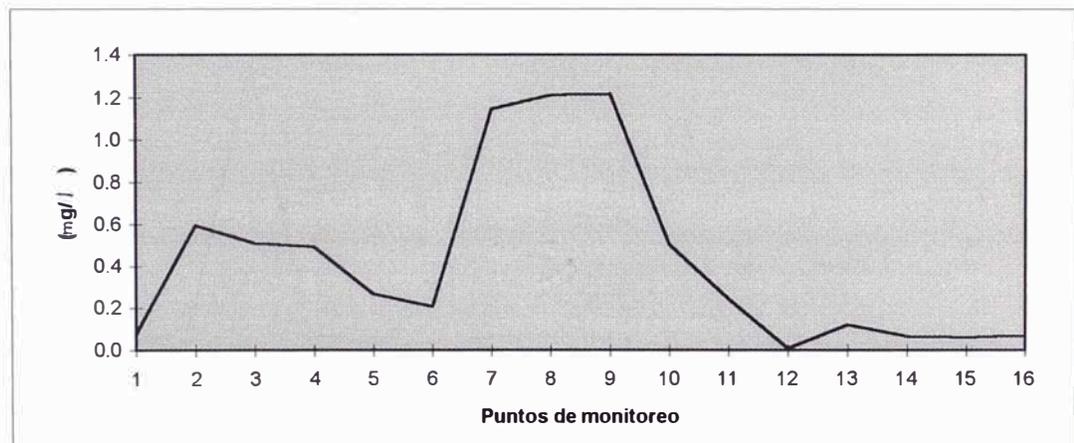


GRAFICO VI-3a
VARIACION DE LA CONCENTRACION DE CADMIO
EN EL RIO RIMAC

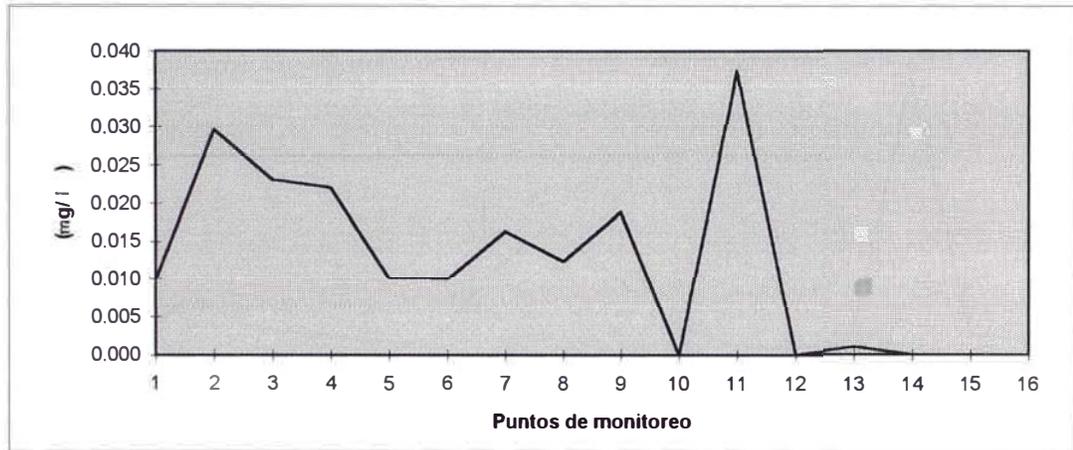


GRAFICO VI-4a
VARIACION DE LA CONCENTRACION DE ZINC
EN EL RIO RIMAC

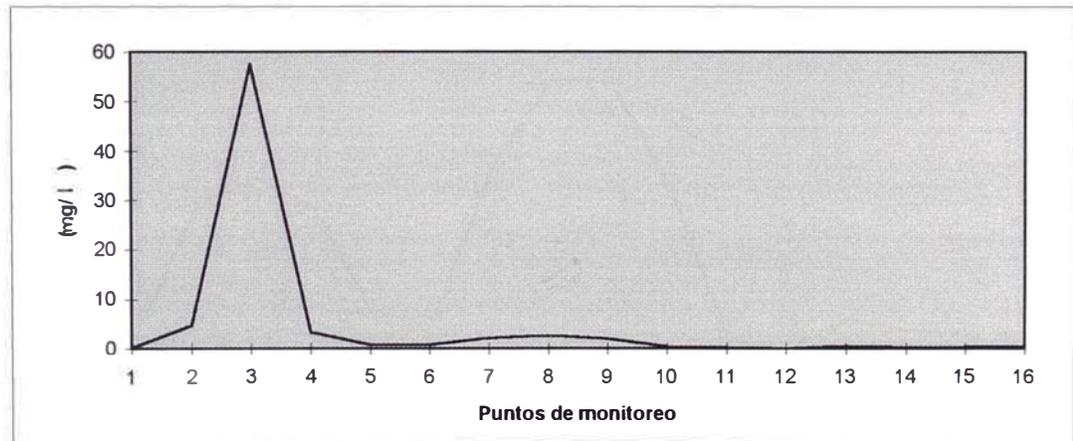


GRAFICO VI-5a
VARIACION DE LA CONCENTRACION DE FIERRO
EN EL RIO RIMAC

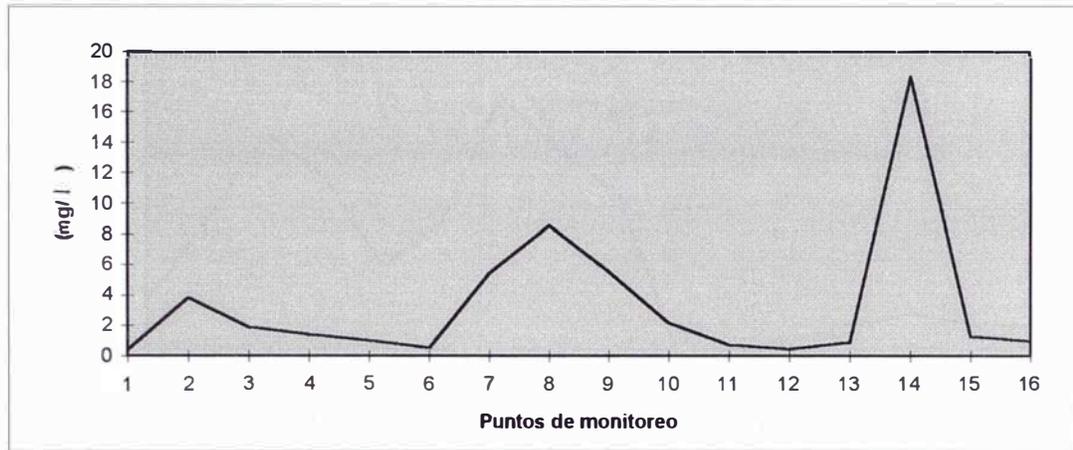


GRAFICO VI-6a
VARIACION DE LA CONCENTRACION DE MANGANESO
EN EL RIO RIMAC

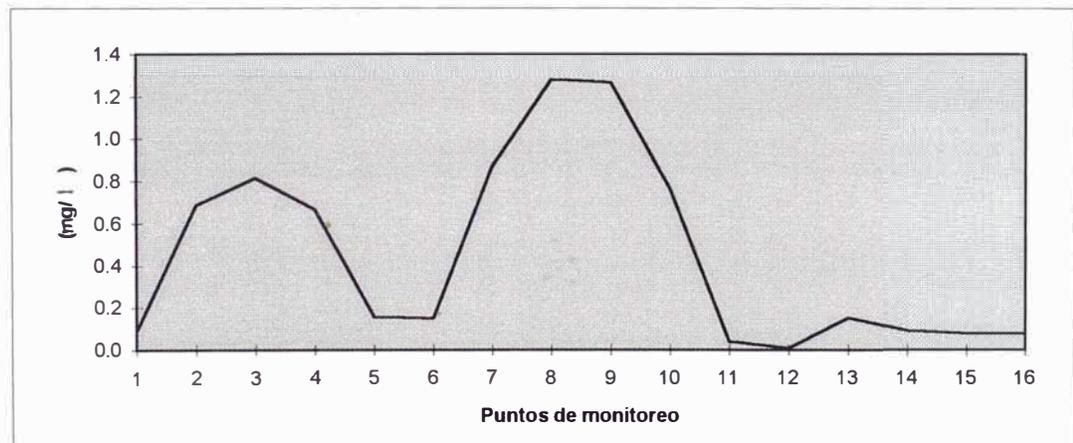
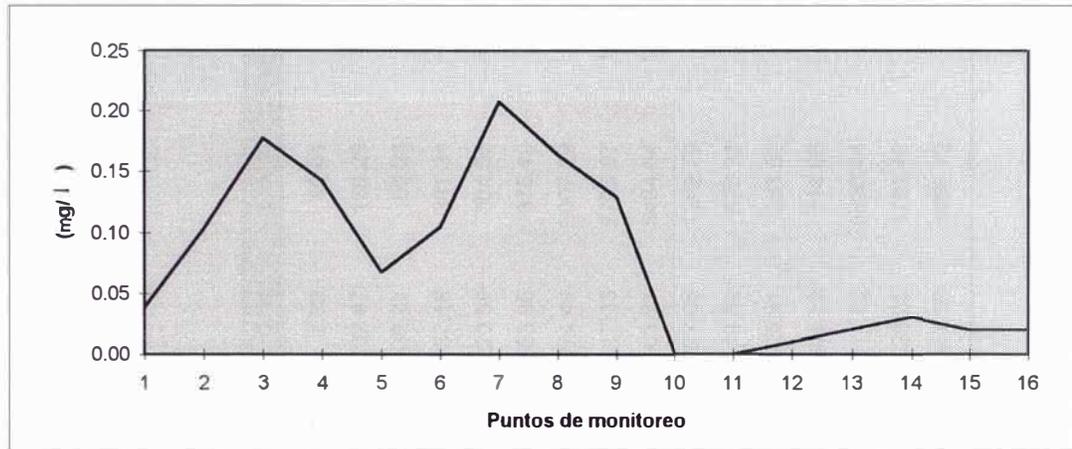


GRAFICO VI-7a
VARIACION DE LA CONCENTRACION DE ARSENICO
EN EL RIO RIMAC



CUADRO VI-Ib
VARIACION DE LA CARGA DE METALES PESADOS A LO LARGO DEL RIO RIMAC
 (Kg/día)

Cod	Descripción de puntos	Cobre	Plomb	Cadmio	Zinc	Hierro	Manganeso	Arsénico	Sulfatos
P1	R. Rímac antes de Casapalca	1.77	1.92	0.16	2.22	10.01	2.46	1.12	4,608
P2	R. Rímac después de Casapalca	9.01	16.94	0.84	132.47	109.29	19.53	3.25	6,043
P3	R. Rímac antes de Tablachaca	8.88	16.21	0.74	1833.72	60.24	25.93	7.19	7,789
P4	R. Rímac después de Tablachaca	44.44	97.89	4.39	657.18	281.34	132.60	32.62	41,209
P5	R. Rímac antes del túnel Graton	33.34	79.81	2.70	220.59	304.56	47.51	23.11	28,022
P6	R. Rímac después del túnel Graton	42.93	152.76	7.41	553.85	375.19	110.49	82.46	162,117
P7	R. Rímac antes de Tamboraque	340.74	1130.41	18.86	1974.49	5007.29	923.67	204.69	237,066
P8	R. Rímac después de Tamboraque	363.62	1151.41	11.10	2317.05	7795.57	1269.44	162.39	358,888
P9	R. Rímac bocatoma Pablo Boner	357.70	1263.06	18.27	2003.77	5494.64	1373.96	140.17	428,486
P10	R. Rímac antes de Perubar	38.30	302.87	0.00	227.05	1249.79	437.13	...	20,828
P11	R. Rímac después de Perubar	27.20	143.68	21.17	113.64	576.33	15.82	...	22,083
P12	R. Rímac pte. Ricardo Plama	0.00	6.43	0.00	25.91	283.52	6.43	6.61	...
P13	R. Rímac cruce rio Santa Eulalia	114.99	96.57	1.50	405.69	714.06	120.43	16.65	...
P14	R. Rímac pte Ñaña	47.71	104.97	0.00	418.82	28826.44	143.60	48.67	...
P15	R. Rímac pte Huachipa	53.86	80.07	0.00	529.25	1731.46	87.29	28.00	...
P16	Bocatoma planta la Atarjea	71.65	121.66	0.00	647.36	1456.72	139.77	35.72	...

Nota: Los valores corresponden a la carga promedio entre may94 a feb95.

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rímac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

GRAFICO VI-1b
VARIACION DE LA CARGA DE COBRE
EN EL RIO RIMAC

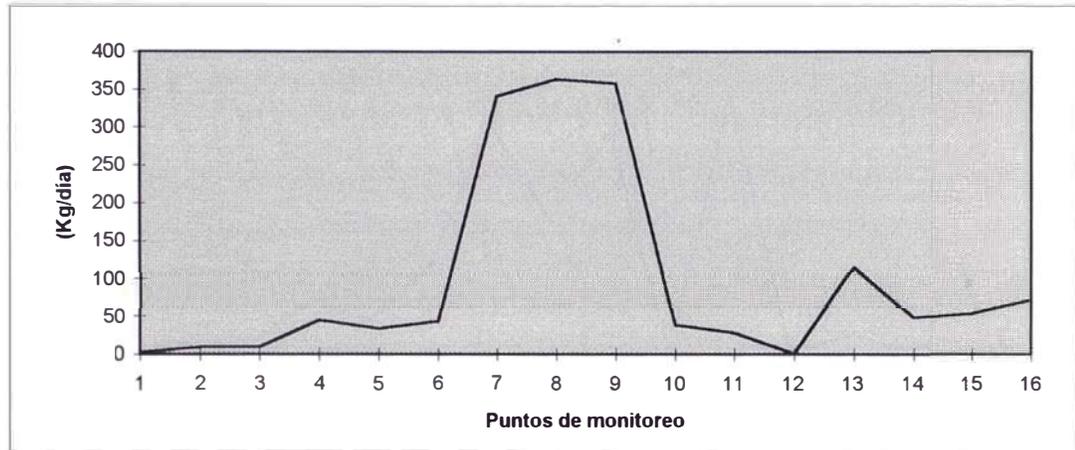


GRAFICO VI-2b
VARIACION DE LA CARGA DE PLOMO
EN EL RIO RIMAC

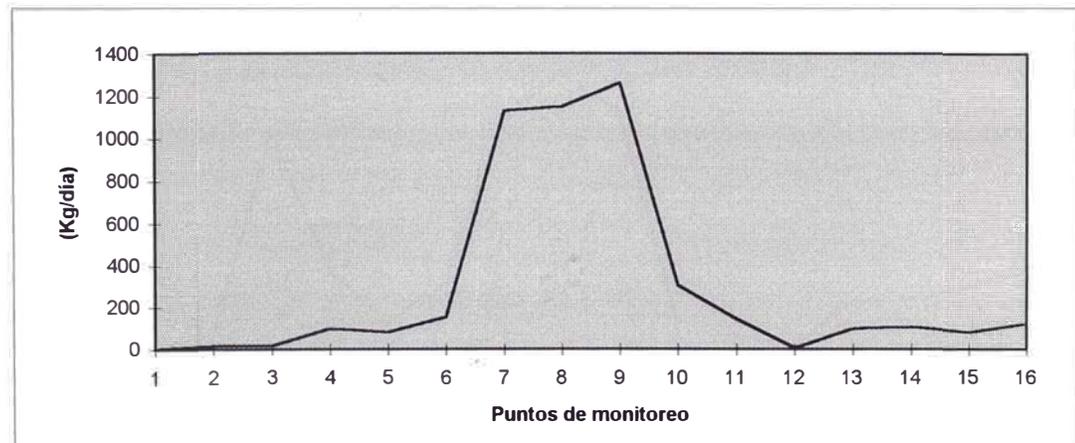


GRAFICO VI-3b
VARIACION DE LA CARGA DE CADMIO
EN EL RIO RIMAC

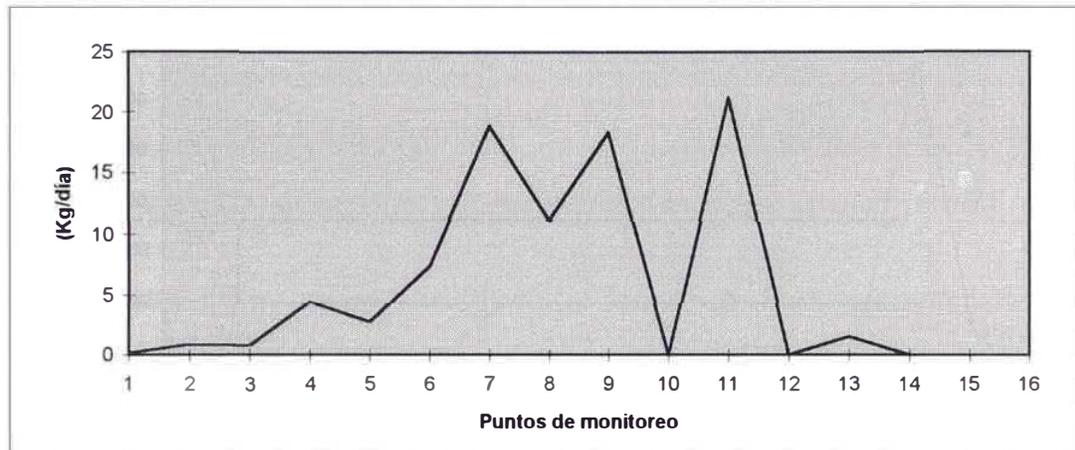


GRAFICO VI-4b
VARIACION DE LA CARGA DE ZINC
EN EL RIO RIMAC

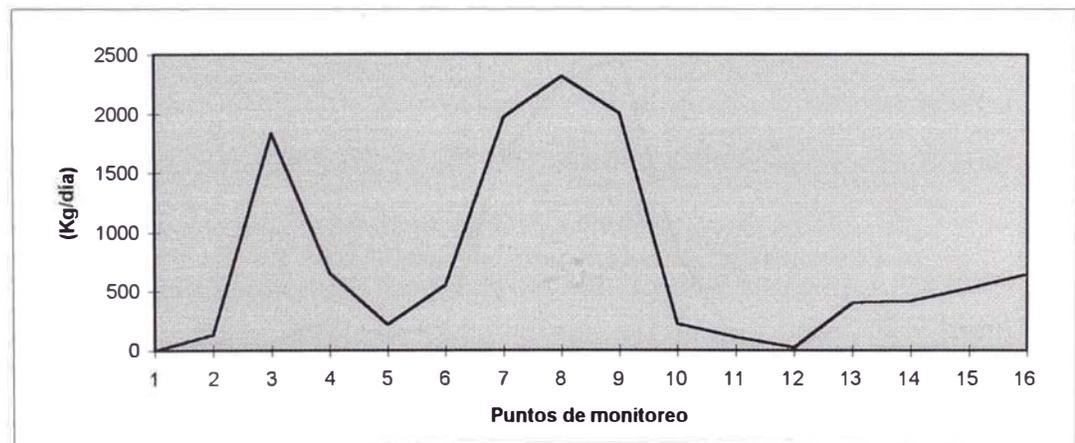


GRAFICO VI-5b
VARIACION DE LA CARGA DE FIERRO
EN EL RIO RIMAC

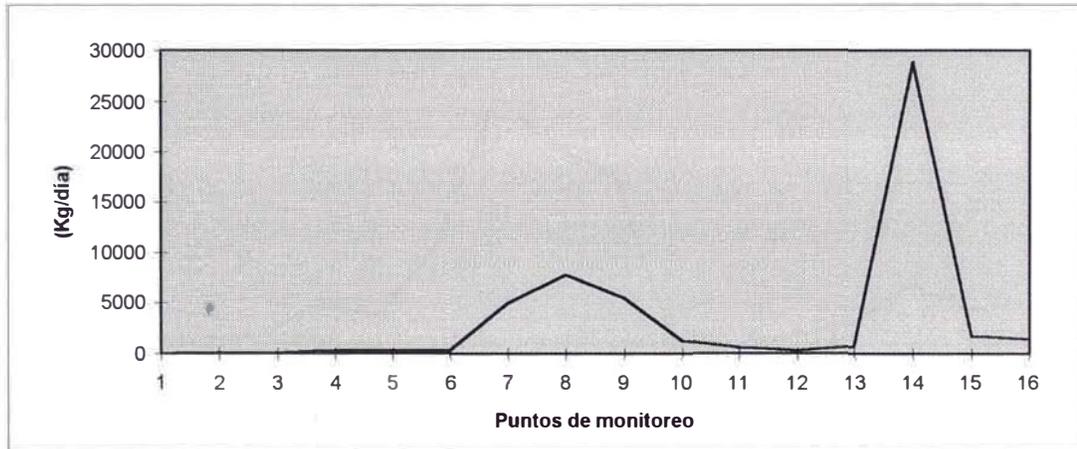


GRAFICO VI-6b
VARIACION DE LA CARGA DE MANGANESO
EN EL RIO RIMAC

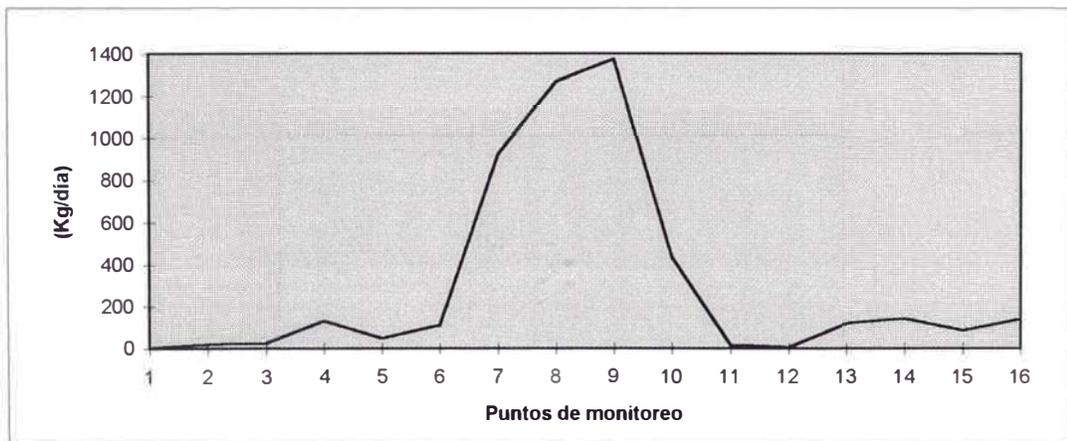
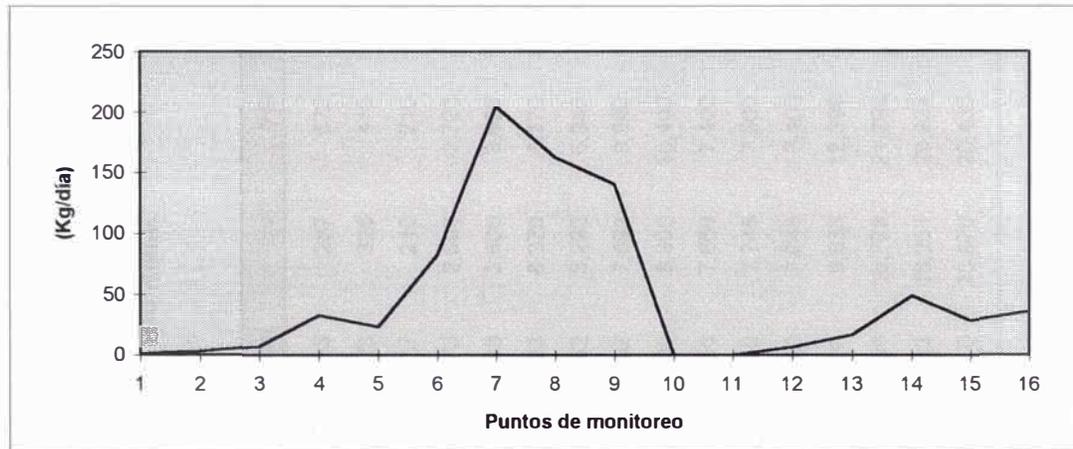


GRAFICO VI-7b
VARIACION DE LA CARGA DE ARSENICO
EN EL RIO RIMAC



CUADRO VI-1c
VARIACION DEL CAUDAL EN EL RIO RIMAC
 (l/s)

Cod	Descripción de puntos	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Prom
P1	R. Rimac antes de Casapalca	333	333	333	85	85	287	372	379	395	428	290
P2	R. Rimac después de Casapalca	333	333	333	122	123	326	415	421	432	470	330
P3	R. Rimac antes de Tablachaca	333	333	333	159	77	210	210	228	233	254	196
P4	R. Rimac después de Tablachaca	333	333	333	192	273	2,690	2,720	3,956	4,057	2,248	2,305
P5	R. Rimac antes del túnel Graton	333	333	333	367	533	3,600	3,600	4,460	5,840	5,840	3,463
P6	R. Rimac después del túnel Graton	333	333	333	5,137	5,303	8,370	8,370	9,290	11,353	12,201	8,575
P7	R. Rimac antes de Tamboraque	333	333	24,500	24,500	6,152	5,293	6,940	10,402	11,110	10,250	12,393
P8	R. Rimac después de Tamboraque	333	333	333	333	8,752	7,893	9,540	13,002	13,710	12,850	10,958
P9	R. Rimac bocatomá Pablo Boner	333	333	333	333	9,200	8,300	10,400	14,200	15,300	14,100	11,917
P10	R. Rimac antes de Perubar	5,847	333	333	333	7,250	7,650	7,400	333	333	333	7,037
P11	R. Rimac después de Perubar	4,578	333	333	333	7,350	7,745	7,500	333	333	333	6,793
P12	R. Rimac pte. Ricardo Plama	333	333	333	333	7,250	7,645	7,400	333	333	333	7,432
P13	R. Rimac cruce río Santa Eulalia	10,441	8,614	8,975	8,916	8,909	9,633	12,398	15,360	15,328	333	10,953
P14	R. Rimac pte Nana	333	333	333	333	17,659	18,778	21,298	333	333	333	19,245
P15	R. Rimac pte Huachipa	17,560	14,487	15,095	14,995	14,983	16,201	20,852	25,832	25,778	24,467	19,025
P16	Bocatoma planta la Atarjea	20,910	21,090	20,140	20,760	20,970	20,670	20,430	20,330	20,300	19,920	20,552

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

CUADRO VI-II
COMPARACION DE LA CONCENTRACION DE METALES EN EL RIO RIMAC
CON LOS LIMITES PERMISIBLES DE LA LEY GENERAL DE AGUAS

Co	Descripción de puntos	Cobre	I	II	III	IV	V	VI
		1/	1	1	0.5	3	0.01	-
P1	R.Rimac antes de Casapalca	0.067	0.07	0.07	0.13	0.02	6.72	-
P2	R.Rimac despues de Casapalca	0.316	0.32	0.32	0.63	0.11	31.63	-
P3	R.Rimac antes de Tablachaca	0.279	0.28	0.28	0.56	0.09	27.87	-
P4	R.Rimac despues de Tablachaca	0.223	0.22	0.22	0.45	0.07	22.32	-
P5	R.Rimac antes del tunel Graton	0.111	0.11	0.11	0.22	0.04	11.14	-
P6	R.Rimac despues del tunel Graton	0.058	0.06	0.06	0.12	0.02	5.79	-
P7	R.Rimac antes de Tamboraque	0.370	0.37	0.37	0.74	0.12	36.98	-
P8	R.Rimac despues de Tamboraque	0.399	0.40	0.40	0.80	0.13	39.89	-
P9	R.Rimac bocatoma Pablo Boner	0.361	0.36	0.36	0.72	0.12	36.13	-
P10	R.Rimac antes de Perubar	0.061	0.06	0.06	0.12	0.02	6.05	-
P11	R.Rimac despues de Perubar	0.049	0.05	0.05	0.10	0.02	4.86	-
P12	R.Rimac pte. Ricardo Plama	0.000	-	-	-	-	-	-
P13	R.Rimac cruce rio Santa Eulalia	0.144	0.14	0.14	0.29	0.05	14.39	-
P14	R.Rimac pte Nana	0.030	0.03	0.03	0.06	0.01	3.03	-
P15	R.rimac pte Huachipa	0.040	0.04	0.04	0.08	0.01	3.98	-
P16	Bocatoma planta la Atarjea	0.040	0.04	0.04	0.08	0.01	4.00	-

1/ Los valores corresponden a la concentración promedio ponderada entre may94 a feb95.

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

Co	Descripción de puntos	Plomo	I	II	III	IV	V	VI
		1/	0.05	0.05	0.1	-	0.01	0.03
P1	R.Rimac antes de Casapalca	0.077	1.54	1.54	0.77	-	7.68	2.56
P2	R.Rimac despues de Casapalca	0.595	11.90	11.90	5.95	-	59.49	19.83
P3	R.Rimac antes de Tablachaca	0.509	10.17	10.17	5.09	-	50.87	16.96
P4	R.Rimac despues de Tablachaca	0.492	9.83	9.83	4.92	-	49.15	16.38
P5	R.Rimac antes del tunel Graton	0.267	5.34	5.34	2.67	-	26.68	8.89
P6	R.Rimac despues del tunel Graton	0.206	4.12	4.12	2.06	-	20.62	6.87
P7	R.Rimac antes de Tamboraque	1.146	22.92	22.92	11.46	-	114.61	38.20
P8	R.Rimac despues de Tamboraque	1.212	24.23	24.23	12.12	-	121.17	40.39
P9	R.Rimac bocatoma Pablo Boner	1.216	24.31	24.31	12.16	-	121.57	40.52
P10	R.Rimac antes de Perubar	0.503	10.07	10.07	5.03	-	50.33	16.78
P11	R.Rimac despues de Perubar	0.245	4.90	4.90	2.45	-	24.48	8.16
P12	R.Rimac pte. Ricardo Plama	0.010	0.20	0.20	0.10	-	1.00	0.33
P13	R.Rimac cruce rio Santa Eulalia	0.121	2.42	2.42	1.21	-	12.09	4.03
P14	R.Rimac pte Nana	0.067	1.33	1.33	0.67	-	6.67	2.22
P15	R.rimac pte Huachipa	0.059	1.18	1.18	0.59	-	5.92	1.97
P16	Bocatoma planta la Atarjea	0.068	1.36	1.36	0.68	-	6.78	2.26

1/ Los valores corresponden a la concentración promedio ponderada entre may94 a feb95.

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

CAPITULO VI

Co	Descripción de puntos	Cadmio 1/	I 0.01	II 0.01	III 0.05	IV -	V 0.0002	VI 0.004
P1	R.Rimac antes de Casapalca	0.010	1.00	1.00	0.20	-	50.00	2.50
P2	R.Rimac despues de Casapalca	0.030	2.96	2.96	0.59	-	148.05	7.40
P3	R.Rimac antes de Tablachaca	0.023	2.31	2.31	0.46	-	115.30	5.77
P4	R.Rimac despues de Tablachaca	0.022	2.20	2.20	0.44	-	110.09	5.50
P5	R.Rimac antes del tunel Graton	0.010	1.02	1.02	0.20	-	51.00	2.55
P6	R.Rimac despues del tunel Graton	0.010	1.00	1.00	0.20	-	50.00	2.50
P7	R.Rimac antes de Tamboraque	0.016	1.64	1.64	0.33	-	81.79	4.09
P8	R.Rimac despues de Tamboraque	0.012	1.24	1.24	0.25	-	61.95	3.10
P9	R.Rimac bocatoma Pablo Boner	0.019	1.89	1.89	0.38	-	94.42	4.72
P10	R.Rimac antes de Perubar	0.000	-	-	-	-	-	-
P11	R.Rimac despues de Perubar	0.037	3.74	3.74	0.75	-	186.80	9.34
P12	R.Rimac pte. Ricardo Plama	0.000	-	-	-	-	-	-
P13	R.Rimac cruce rio Santa Eulalia	0.001	0.11	0.11	0.02	-	5.30	0.26
P14	R.Rimac pte Nana	0.000	-	-	-	-	-	-
P15	R.rimac pte Huachipa	0.000	-	-	-	-	-	-
P16	Bocatoma planta la Atarjea	0.000	-	-	-	-	-	-

1/ Los valores corresponden a la concentración promedio ponderada entre may94 a feb95.

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Rlo Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

Co	Descripción de puntos	Zinc 1/	I 5	II 5	III 25	IV -	V 0.02	VI -
P1	R.Rimac antes de Casapalca	0.094	0.02	0.02	0.00	-	4.70	-
P2	R.Rimac despues de Casapalca	4.651	0.93	0.93	0.19	-	232.57	-
P3	R.Rimac antes de Tablachaca	57.532	11.51	11.51	2.30	-	2,876.58	-
P4	R.Rimac despues de Tablachaca	3.300	0.66	0.66	0.13	-	164.99	-
P5	R.Rimac antes del tunel Graton	0.737	0.15	0.15	0.03	-	36.86	-
P6	R.Rimac despues del tunel Graton	0.748	0.15	0.15	0.03	-	37.38	-
P7	R.Rimac antes de Tamboraque	2.143	0.43	0.43	0.09	-	107.15	-
P8	R.Rimac despues de Tamboraque	2.542	0.51	0.51	0.10	-	127.11	-
P9	R.Rimac bocatoma Pablo Boner	2.024	0.40	0.40	0.08	-	101.19	-
P10	R.Rimac antes de Perubar	0.373	0.07	0.07	0.01	-	18.67	-
P11	R.Rimac despues de Perubar	0.194	0.04	0.04	0.01	-	9.68	-
P12	R.Rimac pte. Ricardo Plama	0.040	0.01	0.01	0.00	-	2.01	-
P13	R.Rimac cruce rio Santa Eulalia	0.508	0.10	0.10	0.02	-	25.39	-
P14	R.Rimac pte Nana	0.266	0.05	0.05	0.01	-	13.30	-
P15	R.rimac pte Huachipa	0.392	0.08	0.08	0.02	-	19.58	-
P16	Bocatoma planta la Atarjea	0.361	0.07	0.07	0.01	-	18.05	-

1/ Los valores corresponden a la concentración promedio ponderada entre may94 a feb95.

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Rlo Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

CAPITULO VI

Co	Descripción de puntos	Fierro 1/	I 0.3	II 0.3	III 1	IV -	V -	VI -
P1	R.Rimac antes de Casapalca	0.399	1.33	1.33	0.40	-	-	-
P2	R.Rimac despues de Casapalca	3.838	12.79	12.79	3.84	-	-	-
P3	R.Rimac antes de Tablachaca	1.890	6.30	6.30	1.89	-	-	-
P4	R.Rimac despues de Tablachaca	1.413	4.71	4.71	1.41	-	-	-
P5	R.Rimac antes del tunel Graton	1.018	3.39	3.39	1.02	-	-	-
P6	R.Rimac despues del tunel Graton	0.506	1.69	1.69	0.51	-	-	-
P7	R.Rimac antes de Tamboraque	5.435	18.12	18.12	5.43	-	-	-
P8	R.Rimac despues de Tamboraque	8.553	28.51	28.51	8.55	-	-	-
P9	R.Rimac bocatoma Pablo Boner	5.549	18.50	18.50	5.55	-	-	-
P10	R.Rimac antes de Perubar	2.184	7.28	7.28	2.18	-	-	-
P11	R.Rimac despues de Perubar	0.736	2.45	2.45	0.74	-	-	-
P12	R.Rimac pte. Ricardo Plama	0.441	1.47	1.47	0.44	-	-	-
P13	R.Rimac cruce rio Santa Eulalia	0.894	2.98	2.98	0.89	-	-	-
P14	R.Rimac pte Nana	18.313	61.04	61.04	18.31	-	-	-
P15	R.rimac pte Huachipa	1.281	4.27	4.27	1.28	-	-	-
P16	Bocatoma planta la Atarjea	0.948	3.16	3.16	0.95	-	-	-

1/ Los valores corresponden a la concentración promedio ponderada entre may94 a feb95.

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

Co	Descripción de puntos	anganeso 1/	I 0.1	II 0.1	III 0.5	IV -	V -	VI -
P1	R.Rimac antes de Casapalca	0.090	0.90	0.90	0.18	-	-	-
P2	R.Rimac despues de Casapalca	0.686	6.86	6.86	1.37	-	-	-
P3	R.Rimac antes de Tablachaca	0.814	8.14	8.14	1.63	-	-	-
P4	R.Rimac despues de Tablachaca	0.666	6.66	6.66	1.33	-	-	-
P5	R.Rimac antes del tunel Graton	0.159	1.59	1.59	0.32	-	-	-
P6	R.Rimac despues del tunel Graton	0.149	1.49	1.49	0.30	-	-	-
P7	R.Rimac antes de Tamboraque	0.868	8.68	8.68	1.74	-	-	-
P8	R.Rimac despues de Tamboraque	1.279	12.79	12.79	2.56	-	-	-
P9	R.Rimac bocatoma Pablo Boner	1.265	12.65	12.65	2.53	-	-	-
P10	R.Rimac antes de Perubar	0.764	7.64	7.64	1.53	-	-	-
P11	R.Rimac despues de Perubar	0.040	0.40	0.40	0.08	-	-	-
P12	R.Rimac pte. Ricardo Plama	0.010	0.10	0.10	0.02	-	-	-
P13	R.Rimac cruce rio Santa Eulalia	0.151	1.51	1.51	0.30	-	-	-
P14	R.Rimac pte Nana	0.091	0.91	0.91	0.18	-	-	-
P15	R.rimac pte Huachipa	0.077	0.77	0.77	0.15	-	-	-
P16	Bocatoma planta la Atarjea	0.078	0.78	0.78	0.16	-	-	-

1/ Los valores corresponden a la concentración promedio ponderada entre may94 a feb95.

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

Co	Descripción de puntos	Arsénico 1/	I 0.1	II 0.1	III 0.2	IV 1	V 0.01	VI 0.05
P1	R.Rimac antes de Casapalca	0.039	0.39	0.39	0.20	0.04	3.90	0.78
P2	R.Rimac despues de Casapalca	0.103	1.03	1.03	0.52	0.10	10.33	2.07
P3	R.Rimac antes de Tablachaca	0.177	1.77	1.77	0.89	0.18	17.72	3.54
P4	R.Rimac despues de Tablachaca	0.143	1.43	1.43	0.71	0.14	14.28	2.86
P5	R.Rimac antes del tunel Graton	0.068	0.68	0.68	0.34	0.07	6.77	1.35
P6	R.Rimac despues del tunel Graton	0.105	1.05	1.05	0.53	0.11	10.50	2.10
P7	R.Rimac antes de Tamboraque	0.208	2.08	2.08	1.04	0.21	20.75	4.15
P8	R.Rimac despues de Tamboraque	0.164	1.64	1.64	0.82	0.16	16.37	3.27
P9	R.Rimac bocatoma Pablo Boner	0.129	1.29	1.29	0.65	0.13	12.91	2.58
P10	R.Rimac antes de Perubar	...	-	-	-	-	-	-
P11	R.Rimac despues de Perubar	...	-	-	-	-	-	-
P12	R.Rimac pte. Ricardo Plama	0.010	0.10	0.10	0.05	0.01	1.00	0.20
P13	R.Rimac cruce rio Santa Eulalia	0.020	0.20	0.20	0.10	0.02	2.00	0.40
P14	R.Rimac pte Nana	0.030	0.30	0.30	0.15	0.03	3.00	0.60
P15	R.rimac pte Huachipa	0.020	0.20	0.20	0.10	0.02	2.00	0.40
P16	Bocatoma planta la Atarjea	0.020	0.20	0.20	0.10	0.02	2.00	0.40

1/ Los valores corresponden a la concentración promedio ponderada entre may94 a feb95.

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Rlo Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

**CUADRO VI-III
COMPARACION DE LA CARGA DE METALES PESADOS 85, 94-95**

COMPORTAMIENTO DEL COBRE

(kg/día)

Descripción de puntos	oct-85	oct-94	94-95 a/
R.R después de la Casapalca	4.11	19.71	4.50
R.R antes del túnel Graton	189.00	57.54	16.67
R.R antes de la planta de Tamboraque	297.06	128.05	405.06
R.R abajo de la planta de Tamboraque	340.59	136.39	363.62

*a/ Promedio corespondiente al periodo Mayo 94 a Febrero 95**Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS***COMPORTAMIENTO DEL PLOMO**

(kg/día)

Descripción de puntos	oct-85	oct-94	94-95 a/
R.R después de la Casapalca	3.48	45.04	8.47
R.R antes del túnel Graton	432.00	146.19	39.91
R.R antes de la planta de Tamboraque	582.70	475.61	932.84
R.R abajo de la planta de Tamboraque	605.49	320.52	1151.41

*a/ Promedio corespondiente al periodo Mayo 94 a Febrero 95**Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS***COMPORTAMIENTO DEL CADMIO**

(kg/día)

Descripción de puntos	oct-85	oct-94	94-95 a/
R.R después de la Casapalca	0.32	0.58	0.42
R.R antes del túnel Graton	8.10	1.56	1.16
R.R antes de la planta de Tamboraque	11.43		38.88
R.R abajo de la planta de Tamboraque	12.61		22.21

*a/ Promedio corespondiente al periodo Mayo 94 a Febrero 95**Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS*

COMPORTAMIENTO DEL ZINC

(kg/día)

Descripción de puntos	oct-85	oct-94	94-95 a/
R.R después de la Casapalca	3.48	139.35	66.23
R.R antes del túnel Graton	1998.00	466.56	110.29
R.R antes de la planta de Tamboraque	2125.15	1120.42	1974.49
R.R abajo de la planta de Tamboraque	2447.19	1302.53	2317.05

a/ Promedio corespondiente al periodo Mayo 94 a Febrero 95

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS

COMPORTAMIENTO DEL FIERRO

(kg/día)

Descripción de puntos	oct-85	oct-94	94-95 a/
R.R después de la Casapalca	10.12	332.19	54.65
R.R antes del túnel Graton	2268.00	497.66	152.28
R.R antes de la planta de Tamboraque	2536.47	599.08	5007.29
R.R abajo de la planta de Tamboraque	3153.60	1916.29	7795.57

a/ Promedio corespondiente al periodo Mayo 94 a Febrero 95

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS

COMPORTAMIENTO DEL MANGANESO

(kg/día)

Descripción de puntos	oct-85	oct-94	94-95 a/
R.R después de la Casapalca	11.70	16.89	9.77
R.R antes del túnel Graton	324.00	49.77	23.76
R.R antes de la planta de Tamboraque	365.62	347.56	923.67
R.R abajo de la planta de Tamboraque	454.12	293.24	1269.44

a/ Promedio corespondiente al periodo Mayo 94 a Febrero 95

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS

COMPORTAMIENTO DEL ARSENICO

(kg/día)

Descripción de puntos	oct-85	oct-94	94-95 a/
R.R después de la Casapalca	0.79	3.94	1.63
R.R antes del túnel Graton	40.50	4.67	11.56
R.R antes de la planta de Tamboraque	92.55	54.88	307.03
R.R abajo de la planta de Tamboraque	151.37	197.77	162.30

a/ Promedio corespondiente al periodo Mayo 94 a Febrero 95

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS

6.2 DE LAS EMPRESAS MINERAS CONSIDERADAS (y el río)

Los resultados de los monitoreos realizados en los efluentes durante el período de estudio se presentan en el Anexo II.

El cálculo del promedio anual de la concentración ha seguido la misma tendencia de concentración ponderada como en el caso del río. Los resultados se presentan en los cuadros:

Cuadro VI-IVa Casapalca - Americana

Cuadro VI-Va Centromin - Casapalca

Cuadro VI-VIa Lizandro Proaño - Tamboraque

Cuadro VI-VIIa Perubar - Graciela

El criterio a considerar, para la definición de efluente contaminante, fue la comparación con el límite establecido para la clase III: agua para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales, por la Ley General de Aguas. Para el cobre, plomo, zinc, y fierro se tomaron también como base de comparación los límites de establecidos por el Ministerio de Energía y Minas - MEM-.

Se ha realizado el balance de carga para las empresas mineras consideras -Casapalca, Centromin, Lizandro Proaño, Perubar- (ver Cuadros VI-IVb, VI-Vb, VI-VIb, VI-VIIb) lo cual permite analizar el comportamiento entre los diferentes efluentes que convergen a un curso determinado. Como se verá más adelante en ciertos casos las concentraciones de los contaminantes no se adicionan en una mezcla de efluentes, sino por el contrario se restan debido a un cambio de pH que origina la precipitación de metales⁶. Este comportamiento podría ser usado para la mitigación sin gran costo.

Las aguas a la salida del Tunel Carlos Francisco (ver Cuadro VI-Va), han sido analizadas dentro del área de Centromin - Casapalca. De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede afirmar que corresponde al efluente más

⁶ Como se vió en el capítulo II la mayoría de metales pesados son solubles a valores de pH bajos, un incremento de éste origina la precipitación del metal en solución.

contaminante, siendo el que presenta los más altos valores de concentración de metales, con excepción del plomo el cual tiene una mayor concentración en el efluente de la concentradora.

Si realizamos la comparación antes mencionada, encontramos que tanto los límites de emisión como los límites para agua de riego son superados substancialmente, llegando al 4 014% en el caso del manganeso. El manganeso es una constante preocupación en la zona por su estabilidad aún a altos valores de pH, al igual que el cadmio (24 veces el límite). El fierro, sigue en la lista, superando esta vez más su límite de emisión en 1 610 % .

Es importante observar como la mezcla del efluente del túnel Carlos Francisco, caracterizado por su acidez (ver Cuadro AII-IIIc) y alto contenido de metales (ver Cuadro VI-Va), con las aguas de R.Rímac (todavía en Casapalca) y luego con el efluente de la Concentradora con un pH bastante alcalino, resultan en un efluente con un contenido mucho menor que la suma de los tres tributarios (ver Tabla VI-3).

Tabla VI-3
Variación de la carga debido a la mezcla 1/

Metales Pesados	Suma de efuentes 2/	Después de Casapalca 3/
Cobre	43.12	9.01
Plomo	9.54	16.94
Cadmio	2.16	0.84
Zinc	403.27	132.47
Fierro	72.43	109.29
Manganeso	34.16	19.53
Arsénico	1.62	3.25

1/ Aguas del túnel Carlos Francisco, Aguas del río Rímac, y efluente de la planta concentradora.

2/ Carga calculada en base a la suma de las cargas de cada uno de los flujos considerados antes de la mezcla.

3/ Carga calculada después de verificarse la mezcla de los flujos considerados.

Esto quiere decir que el balance metalúrgico no cierra en este caso y si realizamos un cálculo de las concentraciones para este punto (R.R después de

la Concentradora Casapalca) resultan mucho mayor que las ensayadas para el mismo punto . (Ver tabla VI-4).

Tabla VI-4
Concentración por balance de carga

Metales pesados	Suma de efluentes 1/	Después de Casapalca 2/
Cobre	1.54	0.316
Plomo	0.34	0.595
Cadmio	0.08	0.030
Zinc	14.36	4.651
Fierro	2.58	3.838
Manganeso	1.22	0.686
Arsénico	0.06	0.103

1/ Concentración calculada en base a una balance de carga de los tres flujos: Aguas del tunel Carlos Francisco, aguas del río Rímac, efluente de la planta concentradora.

2/ Concentración monitoreada después de la mezcla.

Esta incongruencia aparente se explica por la precipitación de la mayoría de los metales y coincide además con un incremento en la concentración de sólidos totales .(ver Cuadro All-IIIc).

Si bien es cierto, debido al efecto de dilución del río y a la posterior mezcla con el efluente de la planta concentradora, la mayoría de los metales han disminuído su concentración de manera considerable, (ver Tabla VI-); también se ha encontrado variación en la concentración de los sólidos en suspensión, la que se ha incrementado debido a los precipitados.

Los precipitados pueden ser redisueltos posteriormente, ocasionando una contaminación de los terrenos irrigados aguas abajo; por ello no basta reducir el contenido de elementos nocivos disueltos de los efluentes sino que al hacerlo hay que separar los precipitados correspondientes. Además la dilución es una situación inestable, que puede variar estacionalmente por la disminución del caudal del río Rímac; el tratamiento separado de este efluente es entonces recomendable.

La planta concentradora de Tamboraque descarga al río Rimac un caudal promedio de 800 l/s de agua, de los cuales, aproximadamente sólo 6.66 l/s corresponden a aguas residuales de la misma planta; el caudal restante es el excedente de agua captada y canalizada del mismo río que no es utilizada por

Tabla VI-5
Reducción de la concentración de metales de las aguas
del Tunel Carlos ante la mezcla 1/

Metal pesado	Porcentaje de reducción (%)
Cobre	98.8
Plomo	35.6
Cadmio	97.6
Zinc	98.2
Fierro	88.8
Manganeso	96.7
Arsénico	62.5

1/ Mecla con aguas del río Rimac y aguas de la planta concentradora.

Nota: Los (%) de reducción son elevados, lo cual estaría significando una remoción casi total de los metales.

la planta hidroeléctrica N°2. Por esta situación existe una alta dilución de los contaminantes generados en la planta, antes de su descarga al río Rimac.

La negociación minera Tamboraque genera en sus operaciones efluentes líquidos, siendo el más significativo por sus mayores niveles de concentración, el drenaje de mina niveles 710, 635, 460 (ver Cuadro VI-VIa). La concentración de plomo en dicho efluente es de preocupación en esta empresa por superar los límites de emisión y agua de riego en 6,399% y 32,395% respectivamente.

Asimismo, dicho efluente resulta ser el de mayor contribución a la carga total de la negociaciación minera en cinco de los siete metales monitoreados (ver tabla VI-6).

Otro descarga de esta negociaciación minera, son las aguas residuales de la planta concentradora. Estan formadas por las aguas residuales de las cochas del espesador de plomo, zinc, cobre y las aguas residuales del piso de flotación y bomba de relaves, las cuales fluyen a través de un canal para formar la descarga total de la planta concentradora.

Tabla VI-6
Contribución del Drenaje de mina a la descarga total de la mina
(Tamboraque)

Metal pesado	Porcentaje de contribución (%)
Fierro	94.1
Arsénico	93.7
Cadmio	73.5
Zinc	65.3
Cobre	58.6

El valor de carga obtenido de las aguas residuales de la planta concentradora resulta ser mucho menor que la carga que se obtendría de las descargas individuales que lo conforman. Es decir los valores de carga disminuyen notablemente debido a la mezcla producida en el canal. Con respecto a la suma de descargas individuales se estaría produciendo una disminución del orden de: (ver tabla VI-7).

Como se mencionó anteriormente un control de esta mezcla podría ser usado para reducir los niveles contaminantes a bajo costo.

Aguas abajo encontramos la empresa minera Perubar. Perubar aporta una carga contaminante⁷ de 0.48 kg/día de plomo al río Rímac, esta carga es reducida en comparación con los aportes de Centromin-Casapalca y Tamboraque cuyos efluentes contribuyen con 8.57 kg/día y 1.37 kg/día respectivamente.

Tabla VI-7

⁷ El cálculo ha sido realizado, como la suma de las cargas de cada uno de los efluentes de la unidad de producción, este resultado difiere de la carga neta, la cual resulta de la diferencia de la carga obtenida antes y despues de la operación minera.

Reducción de la carga ante la mezcla de efluentes 1/

Metal pesado	Porcentaje reducción 1/
Cobre	96.2
Plomo	95.6
Cadmio	98.2
Zinc	95.5
Fierro	96.7
Manganeso	88.8
Arsénico	97.9

1/ Mezcla de efluentes de las cochas de espesador de plomo, cobre, zinc.

Nota: La mayoría de reducciones son superiores al 95% , los cuales significaría una reducción casi completa.

Respecto a la contribución a la carga contaminante de metales, con la cual aporta cada empresa al curso de agua, es posible establecer una diferencia entre su descarga real contaminante, y la influencia de esta descarga en el río. Para evidenciar esta diferencia se presenta el Cuadro VI-VIII los valores obtenidos de carga.

CUADRO VI-IVa
COMPAÑIA MINERA CASAPALCA (AMERICANA)
 Concentración (mg/l)

Descripción de puntos	Cobre	Plomo	Cadmio	Zinc	Hierro	Manganeso	Sulfatos
Cancha de relaves	1.341	0.969	0.073	0.253	1.226	1.308	145.562
Bocamina piedra parada	0.977	0.304	0.019	0.305	5.827	0.212	90.039
Bocamina el carmen	0.934	1.017	0.084	0.199	1.593	1.782	172.837

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

CUADRO VI-IVb
COMPAÑIA MINERA CASAPALCA (AMERICANA)
Carga (Kg/día)

Descripción de puntos	Cobre	Plomo	Cadmio	Zinc	Hierro	Manganeso	Sulfatos
Total	4.637	5.407	0.455	1.756	8.747	7.819	720.826
Cancha de relaves	2.361	1.517	0.171	0.593	2.158	2.900	262.011
Bocamina piedra parada	1.166	1.580	0.127	0.779	4.233	1.679	159.920
Bocamina el carmen	1.110	2.310	0.158	0.384	2.357	3.240	298.895

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

CUADRO VI-IVc
COMPAÑIA MINERA CASAPALCA (AMERICANA)
Caudal (l/s)

Descripción de puntos	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
Cancha de relaves	9.00	9.00	20.00	18.00	21.00	19.00	19.00	20.00	16.00	33.00
Bocamina piedra parada	15.00	16.00	93.00	15.00	6.00	5.00	2.00	2.00	2.00	4.00
Bocamina el carmen	9.00	10.00	15.00	11.00	16.00	15.00	35.00	35.00	32.00	50.00

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

CUADRO VI-Va
EMPRESA MINERA DEL CENTRO DEL PERU (CASAPALCA)
 Concentración (mg/l)

Descripción de puntos	Cobre	Plomo	Cadmio	Zinc	Hierro	Manganeso	Arsénico	Sulfatos
Salida del depósito de relaves de Chinchán	0.044	0.082	0.012	0.321	1.075	1.168	0.050	541.233
Salida del túnel Carlos	27.361	0.924	1.242	260.958	34.217	20.571	0.261	1233.268
Efluente aguas industriales concentradora	0.282	3.237	0.015	2.360	0.488	0.080	0.136	137.674
Salida del depósito de relaves de Tablachaca	0.032	0.108	0.010	0.098	0.300	0.043	0.012	92.346
Salida del túnel Gratón	0.052	0.119	0.010	0.769	0.486	0.147	0.068	290.423

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

CUADRO VI-Vb
EMPRESA MINERA DEL CENTRO DEL PERU (CASAPALCA)
 Carga (Kg/día)

Descripción de puntos	Cobre	Plomo	Cadmio	Zinc	Hierro	Manganeso	Arsénico	Sulfatos
Total	42.02	8.57	2.08	408.18	70.26	34.67	0.71	3,358.24
Salida del depósito de relaves de Chinchán	0.07	0.12	0.02	0.48	1.62	1.76	0.07	814.88
Salida del túnel Carlos	40.52	1.30	1.97	392.95	61.25	31.51	0.33	1686.29
Efluente aguas industriales concentradora	0.83	6.32	0.03	8.10	1.17	0.19	0.17	213.22
Salida del depósito de relaves de Tablachaca	0.46	0.51	0.04	5.14	4.39	0.90	0.05	217.93
Salida del túnel Graton	0.13	0.31	0.02	1.51	1.83	0.30	0.10	425.92

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

CUADRO VI-Vc
EMPRESA MINERA DEL CENTRO DEL PERU (CASAPALCA)
Caudales (l/s)

Descripción de puntos	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
Salida del depósito de relaves de Chinchán	...	39.50	7.00	31.67	8.50	12.17	13.33	14.17	14.50	16.00
Salida del túnel Carlos	...	28.33	19.17	16.67	16.67	19.33	22.00	19.33	12.17	14.33
Efluente aguas industriales concentradora	...	8.50	10.33	16.67	16.67	15.83	16.67	18.67	21.00	22.67
Salida del depósito de relaves de Tablachaca	33.33	120.00	2270.00	123.33	3500.00	3590.00	1740.00
Salida del túnel Graton	...	131.67	5089.00	4771.33	4770.00	4770.00	4770.00	4830.00	5513.17	6361.33

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

CUADRO VI-VIa
NEGOCIACION MINERA LIZANDRO PROAÑO (TAMBORAQUE)
 Concentración (mg/l)

Descripción de puntos	Cobre	Plomo	Cadmio	Zinc	Hierro	Manganeso	Arsénico
Drenaje de mina nivel 330	8.493	0.115	0.495	127.739	7.810	12.530	0.029
Drenaje de mina niveles 710,635,460	13.270	3.229	0.960	243.507	317.830	14.032	9.427
Aguas residuales de la planta concentradora							
Ag.Res. de las cochas del espesador de Pb	3.143	32.495	0.033	2.140	3.421	0.276	0.144
Ag.Res. de las cochas del espesador de Zn	3.110	11.443	0.797	64.022	223.626	1.139	0.360
Ag.Res. de las cochas del espesador de Cu	15.905	18.313	0.174	39.064	41.351	2.014	4.861
Ag.res. piso celdas de flotación y bomba de relaves	4.153	8.866	0.902	4.115	204.986	4.665	27.785

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

CUADRO VI-VIb
NEGOCIACION MINERA LIZANDRO PROAÑO (TAMBORAQUE)
Carga (Kg/día)

Descripción de puntos	Cobre	Plomo	Cadmio	Zinc	Hierro	Manganeso	Arsenico	Sulfatos
Total	3.45	1.37	0.34	60.65	51.83	6.01	2.53	738.54
Drenaje de mina nivel 330	1.31	0.02	0.08	20.31	1.20	3.03	0.01	288.36
Drenaje de mina niveles 710,635,460	2.02	0.65	0.25	39.64	48.78	2.78	2.37	397.86
Aguas residuales de la planta concentradora	0.13	0.70	0.01	0.71	1.85	0.20	0.15	52.33
Ag.Res. de las conchas del espesador de Pb	0.46	7.18	0.01	0.33	0.54	0.07	0.03	65.40
Ag.Res. de las conchas del espesador de Zn	0.42	3.24	0.26	9.72	32.73	0.33	0.19	69.80
Ag.Res. de las conchas del espesador de Cu	2.21	4.51	0.05	5.27	5.47	0.38	1.72	73.22
Ag.res. piso celdas de flotacion y bomba de relaves	0.34	0.92	0.24	0.63	17.30	1.01	5.18	79.43
Sub-total aguas residuales	3.43	15.86	0.57	15.96	56.05	1.79	7.12	287.85

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

CUADRO VI-Vic
NEGOCIACION MINERA LIZANDRO PROAÑO (TAMBORAQUE)
 Caudal (l/s)

Descripción de puntos	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
Total	16.77	52.95	21.90	17.30	18.45	17.50	16.30	17.40
Drenaje de mina nivel 330	1.26	4.50	1.70	1.90	1.80	2.00	1.90	1.90
Drenaje de mina niveles 710,635,460	7.56	40.50	13.30	9.50	9.60	9.00	9.30	9.80
Ag.Res. de las cochas del espesador de Pb	0.54	0.54	0.30	0.30	0.35	0.30	0.30	0.30
Ag.Res. de las cochas del espesador de Zn	2.59	2.59	2.40	2.30	2.30	2.30	2.40	2.30
Ag.Res. de las cochas del espesador de Cu	2.30	2.30	2.30	2.40	2.40	2.40	2.20	2.40
Ag.res. piso celdas de flotación y bomba de relaves	2.52	2.52	1.90	0.90	2.00	1.50	0.20	0.70
Aguas residuales de la planta concentradora	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Rlo Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

CUADRO VI-VIIa
EMPRESA MINERA PERUBAR (GRACIELA)
 Concentración (mg/l)

Descripción de puntos	Cobre	Plomo	Cadmio	Zinc	Hierro	Manganeso	Sulfatos
Agua mina Sta. Cecilia	0.066	2.486	0.240	0.599	1.522	1.522	143.978
Agua nivel 1168 mn Graciela	0.045	0.843	0.131	0.663	2.023	2.023	180.277
Agua sale poza de sedimentación	0.024	0.301	0.039	0.321	***	***	116.543
Agua mina Juanita	0.010	0.125	0.052	0.114	0.020	0.020	101.669
Agua de rebose tanque	0.083	2.346	0.178	0.586	0.742	0.742	81.364

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

CUADRO VI-VIIIb
EMPRESA MINERA PERUBAR (GRACIELA)
 Carga (Kg/día)

Descripción de puntos	Cobre	Plomo	Cadmio	Zinc	Hierro	Manganeso	Sulfatos
Total	0.09	0.48	0.11	0.49	0.20	...	129.16
Vertimiento al Río Rimac	0.09	0.48	0.11	0.49	0.20	...	129.16
Agua mina sta Cecilia	0.07	2.67	0.28	0.64	1.64	...	154.87
Agua nivel 1168 mn Graciela	0.05	0.91	0.14	0.72	2.14	3.93	194.30
Agua sale poza de sedimentación	0.02	0.31	0.05	0.36	...	...	121.51
Agua mina Juanita	0.01	0.13	0.06	0.11	0.02	...	104.79
Agua de rebose tanque	0.08	2.39	0.19	0.62	0.74	1.68	85.88
Sub-total de aguas residuales	0.24	6.41	0.71	2.45	4.54	5.61	661.36

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

CUADRO VI-VIIC
EMPRESA MINERA PERUBAR (GRACIELA)
 Caudal(l/s)

Descripción de puntos	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
Total	100	92.3	92.87	...	...	...
Agua mina sta Cecilia	13.4	10.7	11.5	...	...	...
Agua nivel 1168 mn Graciela	20.2	16.6	18	...	...	...
Agua sale poza de sedimentación	17.5	19.1	17.5	...	...	...
Agua mina Juanita	17.8	17.4	15.8	...	...	...
Agua de rebose tanque	31.1	28.5	30.07	...	...	...
Vertimiento al Río Rimac	29.88	...	...	...	91.4	92.4	92.25	...	...	...

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

CUADRO VI - VIII
CARGA TOTAL POR EMPRESA MINERA CONSIDERADA
(Kg/día)

Empresa minera	Cobre	Plomo	Cadmio	Zinc	Hierro	Manganeso	Arsénico
Compañía minera Casapalca (Americana)	4.64	5.41	0.46	1.76	8.75	7.82	720.83
Empresa minera del Centro del Perú (Casapalca)	42.02	8.57	2.08	408.18	70.26	34.67	0.71
Negociación minera Lizandro Proaño (Tamboraque)	3.45	1.37	0.34	60.65	51.83	6.01	2.53
Empresa Minera Perubar (Graciela)	0.09	0.48	0.11	0.49	0.20	***	***

Fuente: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - Dirección General de Asuntos Ambientales.

Elaboración: Tesis "Análisis Situacional de la Presencia de Metales Pesados en el Río Rimac provenientes de las Descargas Minero-Metalúrgicas".

CAPITULO COMPLEMENTARIO

CONTROL Y GESTION

1.	Técnicas de control del agua	187
	a. En minas subterráneas	187
	b. En minería de superficie	188
	c. En planta de beneficio	188
	d. En sitio de la mina	189
	e. En estanque de depósito de desecho	189
2.	Control de drenaje ácido de mina	190
	a. Mina en operación	190
	b. Mina cerrada	191
3.	Tratamiento de aguas de desecho	192
	a. Remoción de ácido libre y metales pesados	192
4.	Procedimientos para el control ambiental - Políticas y enfoques de control ambiental	193

CAPITULO COMPLEMENTARIO

CONTROL Y GESTION

Hay numerosos métodos que pueden aplicarse para el control de las diferentes fuentes de contaminación en la industria minera de metales no ferrosos. No existe una regla específica para cada caso, las restricciones impuestas por el lugar y por las condiciones del procedimiento, limitan o dictan la opción que puede ser escogida. La flexibilidad en el diseño y las prestaciones de las instalaciones de proyectos son esenciales para ejecutar controles que sean tecnológica y económicamente factibles.

Un buen control de la contaminación de agua está basado en el conocimiento de las cantidades y de las calidades de todas las aguas que puedan ser afectadas por las actividades mineras; las cantidades de agua requeridas durante la explotación y el beneficio, y la calidad del agua de proceso después de su uso para así luego de caracterizada la fuente elegir el método más adecuado para la mitigación del problema.

A menos que haya sido elaborada una concepción apropiada de un programa de gestión, es poco probable que cualquier medida de control que se tome conduzca al resultado deseado con un costo óptimo.

Un programa de gestión deberá comprender :

- La definición de los objetivos: el estudio de los datos básicos a la explotación, la evaluación de eventuales daños en curso, las predicciones de los efectos de la explotación y de las posibilidades de recirculación de agua, son medidas clásicas.
- La selección de parámetros por medir. Estos varían según la mina, y dependen de consideraciones específicas del sitio.
- La ubicación de estaciones de muestreo. Las estaciones serán de acceso fácil para un muestreo de rutina y permitirán la toma de una muestra representativa,. El número de estaciones será suficiente como para permitir la gestión de todos los lugares importantes en los que la mina puede afectar la calidad del agua.

- Los procedimientos de muestreo. La frecuencia de muestreo depende del carácter intermitente posible del flujo por mostrear. Se requiere de un equipo adecuado y personal entrenado para el muestreo.
- El análisis: Algunos parámetros requieren ser determinados en el punto de muestreo, por estar su comportamiento relacionado con un conjunto de factores dependientes del medio, así como del tiempo. De resultar necesaria la preparación de las muestras antes de su entrega al laboratorio, los procedimientos de preparación serán especificados cuidadosamente. La determinación se hará por métodos analíticos estándar ya que diferentes métodos de análisis dan con frecuencia resultados diferentes.

1. Técnicas de control del agua

El control físico de volúmenes de agua en la mina, es una tarea fundamental. El volumen de agua empleado en las instalaciones de minería y de beneficio deberá ser minimizado para prevenir la contaminación del agua no contaminada, así cualquier flujo de agua contaminada será interceptado y desviado a un lugar apropiado para su posible tratamiento. El procedimiento implementado en Tara Mines es un ejemplo de una práctica adecuada. Tara Mines combina todos los flujos en un solo punto para su tratamiento. En muchos casos es preferible segregar flujos para su tratamiento separado, ya que esto reduce la complejidad de la operación de tratamiento.

a. En Minas subterráneas

Cuando sea posible, es recomendado coleccionar toda el agua de mina en un solo punto desde donde puede ser dirigida a:

- una planta de concentración, como de agua de proceso,
- a una instalación, para su tratamiento - sabiendo que el estanque de desechos de la - planta es generalmente mejor.
- al medio ambiente, si sus características químicas lo permiten.

Las oportunidades de reducir el volumen de agua subterránea de mina son limitadas: los principales métodos son sellar y cementar viejos barrenos sondeados y reducir la penetración del agua a través de revestimientos de pozos.

b. En Minería de superficie

El control del agua en operaciones de minería de superficie depende de la topografía del sitio.

Cuando una mina a cielo abierto es desarrollada debajo de la topografía superficial, las corrientes de agua deberían ser colectadas en el punto más bajo y tratadas como se ha indicado en el apartado precedente.

Cuando las operaciones mineras superficiales son realizadas en laderas de colinas, el objetivo del control de aguas es el de limitar la cantidad de corriente de agua (de lluvia) que desciende. A menudo se emplean zanjas de intercepción. Las corrientes de agua de lluvia que caen sobre las operaciones mineras son colectadas aguas abajo en zanjas y conducidas a estanques de decantación instaladas detrás de diques de desague.

c. En Planta de beneficio

El control de los efluentes líquidos en las plantas de beneficios consiste principalmente en coleccionar cualquier derrame líquido dentro de la planta en uno o varios tanques y conducir este efluente, con los desechos, hacia el sistema de depósito de desechos.

Los tanques de acumulación y las tuberías de distribución tienen que ser diseñados en forma adecuada para prevenir todo derrame.

El almacenamiento de reactivos y las plantas de preparación deberían estar equipados con un depósito de concreto, de suficiente capacidad como para contener la cantidad total de reactivos almacenados, por lo menos para los productos altamente tóxicos tales como el cianuro, para evitar la liberación al medio ambiente en caso de derrame.

Cuando se transportan grandes cantidades de cianuro, los accidentes pueden ocasionar un desastre en el medio ambiente. Por lo tanto, se recomienda establecer un plan de emergencia para prevenir consecuencias perjudiciales.

d. En Sitio de la mina

Siempre que sea posible, las corrientes superficiales de agua de la zona de la mina serán desviadas a una zanja.

Las corrientes superficiales de agua de la zona de proceso, deberían ser colectadas para su tratamiento donde proceda; los depósitos de desechos podrán ser utilizados con este fin.

Los efluentes y los derrames de los talleres mecánicos a menudo contienen aceite, combustibles, e hidrocarburos, los que son generalmente dañinos para el proceso de flotación. Por lo tanto, deberá evitarse enviarlos a un estanque de depósito de desechos donde el agua superficial es reciclada. Estos deberían ser colectados separadamente y conducidos a unidades específicas de tratamiento.

e. En Estanque de depósito de desecho

Debería prepararse un balance de agua para cada estanque de depósito de desechos. Esto dependerá de:

- los volúmenes del agua de mina;
- las condiciones climáticas y la configuración del sitio que influenciará la lluvia y la evaporación;
- la naturaleza del mineral;
- las características geológicas de la tierra subyacente.

Las cantidades de agua implicadas en la evaporación y el reciclaje, pueden dar lugar a que no se evacúen efluentes de los estanques de desechos. Por el contrario, en algunos casos, las condiciones climáticas son tales que la lluvia es excesiva y hay que evacuar los efluentes de la instalación, ya sea continua o periódicamente. La composición y el volumen de un efluente tiene que ser tal que no vaya a ocasionar un daño en el medio ambiente, tanto a corto como a largo plazo.

Cada proyecto minero específico es un caso particular que debe estudiarse como tal.

Las corrientes superficiales de agua de la zona alrededor del estanque de desechos deberá ser desviado por dos razones principales:

- la excesiva corriente puede amujinar el dique de desechos por sumersión;
- las corrientes de aguas no contaminadas podrían ser guardadas separadamente de las aguas contaminadas.

2. Control del drenaje ácido de mina

Aunque las aguas contaminadas que resultan del drenaje ácido de mina pueden ser tratadas, se deberían tomar medidas para reducir el volumen y mejorar la calidad de las aguas contaminadas. Deberían preferirse los métodos pasivos de tratamiento, siempre que sean técnicamente factibles, por razones de costo obvias. Deberían tomarse en cuenta todas las técnicas que tratan de controlar uno o más de los elementos básicos de generación ácida - el oxígeno, el agua, las bacterias, los minerales sulfurosos.

a. Mina en operación

La prevención y el control del drenaje ácido de mina, en operación, es muy a menudo difícil debido a la evolución constante de los trabajos subterráneos o superficiales, al depósito de desechos y de desechos.

Las aguas ácidas provenientes de minas subterráneas y/o de cielo abierto, deben ser neutralizadas y sus metales removidos. Esto puede lograrse en una planta específica de tratamiento para el drenaje de mina, o más comúnmente, en el estanque de desechos. La remoción de metales de soluciones diluidas en una planta de tratamiento da como resultado la producción de lodos concentrados de metales pesados que deberán ser manejados con esmero para impedir su introducción en el medio ambiente.

Se examinará cuidadosamente las condiciones hidrogeológicas: en algunas condiciones específicas, es posible minimizar la recarga de agua subterránea y su flujo en la vecindad de la mina, de tal manera que la producción del drenaje ácido de mina pueda ser minimizado.

Las precauciones que se pueden tomar para un depósito de sólidos incluyen:

- la colocación selectiva/el cubrimiento de material generador de ácido;
- evitar o minimizar la exposición de minerales sulfurosos cuando sea posible;
- evitar el uso de materiales que tengan sulfuros para la construcción de diques, caminos u otros requerimientos de relleno;
- la colocación de desechos productores de ácidos en zonas donde las filtraciones puedan ser controladas;
- la separación del drenaje limpio del contaminado al máximo grado posible;
- el diseño y la construcción de instalaciones de control de drenaje, con criterios adecuados para la intensidad y la duración de las corrientes superficiales de lluvias;
- el diseño de instalaciones de drenaje superficial como parte integrante de un sistema de control operacional y post - operacional.

Un depósito de desechos bajo agua previene la oxidación de compuestos sulfurosos contenidos en los desechos del concentrador. Sin embargo, actualmente pocos datos son disponibles sobre el impacto a largo plazo de dicha práctica y sobre la calidad de la masa de agua empleada para el depósito. En todo caso, se recomienda la evaluación del sitio específico si se considera la construcción de ese tipo de depósito.

b. Mina cerrada

Cuando una mina ha cesado sus operaciones, se pueden tomar medidas complementarias.

La minimización del acceso de aire a los sulfuros en minas subterráneas cerradas, que es la medida más eficaz para reducir la causa de generación de ácido, puede ser efectuada por inundación y/o sellado de la mina.

Las técnicas de control post - operacional del drenaje ácido que pueden aplicarse en los depósitos de desechos y de desechos, incluyen:

- tapar los desechos con arcilla, plástico, cemento y cascajo, asfalto, etc.;
- colocar en la superficie tierra de la parte superior de suelos, y proceder a una revegetación;
- combinar los dos métodos precedentes.

La mayor desventaja de estas técnicas es un costo que puede ser prohibitivo cuando tienen que ser tratados grandes montones de desecho.

Otras técnicas de control están en investigación pero no han sido aún convalidadas. Estas incluyen el cubrimiento superficial del desecho colocando cal o piedra caliza, el uso de bactericidas para matar las bacterias responsables de la generación ácida y la neutralización in situ por adición de carbonato mezclado con el desecho.

Los estudios de sistemas de tratamiento pasivo de bajo costo, como alternativa al sistema químico convencional, han aumentado en los últimos años. Habría que considerar seriamente estos sistemas porque el tratamiento del drenaje ácido de mina puede continuar por muchos años después que las operaciones mineras hayan cesado.

3. Tratamiento de aguas de desecho

a. Remoción de ácido libre y metales pesados

El método más común de tratamiento químico del drenaje del agua ácida de mina consiste en la neutralización del ácido libre y en la precipitación de los metales como hidróxidos en condiciones alcalinas. Como el hidróxido férrico es mucho menos soluble que el hidróxido ferroso, las aguas de desecho son aireadas para oxidar el hierro ferroso que normalmente se presenta en las aguas ácidas de mina. Por razones de costo, se emplean raramente otros oxidantes químicos (ozono, peróxido de hidrógeno, cloruro, permanganatos).

El carbonato de calcio, que parecería ser el más barato, no es adecuado en la mayoría de las situaciones porque el pH que puede obtenerse es inferior a 7, un valor en el cual la mayoría de los hidróxidos metálicos no precipitan completamente.

La cal hidratada es el reactivo utilizado con mayor frecuencia. Una consecuencia del uso de cal es la posible precipitación de yeso (sulfato hidratado de calcio). La precipitación de yeso aumenta la cantidad de lodo generado por el tratamiento de aguas de desecho y forma una corteza tipo concreto que puede trabar el equipo, si no se retira adecuada y periódicamente.

La separación de hidróxidos de metal precipitados en una fase líquida, es posiblemente el aspecto más difícil del tratamiento de aguas ácidas de desechos. Los hidróxidos metálicos se precipitan como sólidos amorfos con baja velocidad de sedimentación y difícil espesamiento. Se utilizan varios métodos para mejorar el desagüe de hidróxidos precipitados. Entre éstos, del reciclaje de lodos al sistema de neutralización y al uso de floculantes polímeros. Los floculantes son reactivos onerosos y la cantidad exacta por emplear hay que determinarla con precisión en laboratorio o estudios a nivel piloto.

Los lodos de tratamiento contienen metales retirados de aguas de desecho. Generalmente, se dispone de ellos, junto con los desechos de planta, en estanques de depósito separados, enterrándolos como rellenos de tierra en el sitio y, en algunos casos, en obras mineras subterráneas y a cielo abierto. Según la situación particular, para que los lodos sean mecánicamente desagüados, ya sea antes o después de su depósito; sea cualfuere el caso, ese procedimiento de desagüe es caro.

Todos los depósitos de ese tipo de lodos o residuos representan una fuente potencial de contaminación debido al procedimiento hidrológico. Su diseño, su operación y su eventual abandono, requieren un estudio detenido.

Para reducir los costos, se han ensayado los sistemas de tratamiento pasivo que requieren bajos costos de capital y de operación y poco mantenimiento, y que todavía están en fase de investigación.

4. Procedimientos para el control ambiental - Políticas y enfoques del control ambiental

Generalmente, resolver los aspectos ambientales uno por uno no es una política eficaz en lo que al costo se refiere. Una política de control de la contaminación en un solo medio, a menudo transfiere simplemente el problema a otros sectores en donde se ejerce un impacto diferente pero igualmente dañino. Un ejemplo de esto es la extracción de los contaminantes tóxicos de aguas de desecho y el depósito en tierra de los peligrosos lodos resultantes.

Actualmente, se reconoce que la política ambiental de mejor relación costo/eficacia es:

- la integración sistemática de los aspectos ambientales en la fase de planificación del proyecto;
- la inclusión de todos los parámetros ambientales (aire, agua, suelo);
- la reducción de los desechos en su fuente en lugar de instaurar tratamientos posteriores onerosos;
- reutilizar al máximo los componentes de desecho.

Esta política depende de una movilización eficaz de los recursos técnicos y humanos.

Dos acciones que pueden ayudar a que la compañía logre tal organización son:

- una política corporativa ambiental con objetivos, responsabilidades, acciones y metas perfectamente claros.
- el establecimiento de una estructura administrativa ambiental apropiada para la implementación de la política, para una -adecuada localización de recursos y para la gestión (y la información) de los resultados.

Dicha acción debería iniciarse en los más altos niveles de la compañía. Generalmente no tiene éxito asignar responsabilidades ambientales a personal de bajo nivel sin respaldo del nivel superior.

Las asociaciones industriales pueden asistir a sus miembros mediante informes sobre aspectos ambientales, publicando directivas ambientales, proporcionando información de respaldo y organizando una labor de concientización sobre el medio ambiente así como seminarios de formación. Algunas asociaciones nacionales ya han producido políticas como una guía para sus compañías miembro.

El gobierno, por su parte, debe proporcionar una estructura reguladora que defina objetivos ambientales por lograr y las medidas de control por aplicar. Esta estructura reguladora puede ser complementada con acciones destinadas a proporcionar una infraestructura técnica, facilidades para formación y la información sobre opciones mineras de menor impacto. El control y la supervisión ambiental del gobierno puede complementar el control ambiental interno llevado a cabo por las compañías. La evaluación ambiental es una función importante de la planificación. Para la minería a pequeña escala, las cooperativas o el gobierno deben asumir papeles de administración del medio ambiente normalmente atribuidos a las empresas.

El Estado Peruano proporciona dos leyes que definen las pautas de control (Ley General de minería y Ley General de Aguas) como ya se mencionó en el Capítulo II, además regula la autorización de vertimientos por intermedio de la Dirección General de Salud Ambiental -DIGESA-. A continuación se presenta la documentación solicitada para la autorización de vertimientos¹:

Autorización sanitaria de vertimientos de aguas servidas:

- ◆ Solicitud dirigida al director general de DIGESA.
- ◆ Ficha de registro de vertimiento.
- ◆ Memoria descriptiva del proceso industrial.
- ◆ Estudio hidrológico del cuerpo receptor.
- ◆ Memoria descriptiva del tratamiento de desagües.
- ◆ Inspección, toma de muestras y análisis.

Opinión de instalación de planta concentradora de minerales y depósitos de relaves.

- ◆ Solicitud dirigida al director general de DIGESA.
- ◆ Memoria descriptiva del proceso industrial.
- ◆ Estudio hidrológico del cuerpo receptor.

¹ Fuente: Texto Unico de Procedimientos Administrativos - DIGESA

CAPITULO VII

7.0	CONCLUSIONES	
7.1	Conclusiones generales	195
7.2	Conclusiones específicas	196

CAPITULO VII

7.0 CONCLUSIONES

7.1 CONCLUSIONES GENERALES

1. El caudal del río Rimac tiene gran influencia en la concentración de los elementos, presentando en las zonas de gran caudal (zona intermedia) un marcado efecto de dilución
2. Es más representativa considerar una concentración promedio ponderada que la concentración promedio simple debido a que toma en cuenta las variaciones de caudal. La diferencia existente en el valor de ambas concentraciones es debida a la influencia que ejerce el valor de caudal en el cálculo de la concentración ponderada.
3. La carga por tomar en cuenta las variaciones de caudal será más representativa que la concentración promedio. El cálculo de la carga ha servido para no cometer el error de asumir una disminución del nivel contaminante donde no lo hay.
4. Solo es posible afirmar un aumento o disminución del nivel contaminante si disponemos de los valores de carga (Kg/día) y concentración (mg/l).

7.2 CONCLUSIONES ESPECIFICAS

1. Los elementos que presentan los mayores niveles de concentración en el río son el plomo, el fierro y manganeso. Evidenciando sus valores máximos, en la zona intermedia para el plomo 1.216 mg/l, en la zona baja para el fierro, fierro 18.313 mg/l y manganeso 1.279 mg/l en la zona alta.
2. El plomo supera el límite permisible -LMP- establecido por la Ley General de aguas para la clase III en 11 puntos monitoreados en el río, como se presenta a continuación.

Descripción de puntos	Concentración	% sobre el límite
R. Rímac después de Casapalca	0.595	495
R. Rímac antes de Tablachaca	0.509	409
R. Rímac después de Tablachaca	0.492	392
R. Rímac antes del tunel Graton	0.267	167
R. Rímac después del tunel Graton	0.206	106
R. Rímac antes de Tamboraque	1.146	1046
R. Rímac después de Tamboraque	1.212	1112
R. Rímac Bocatoma Pablo Boner	1.216	1116
R. Rímac antes de Perubar	0.503	403
R. Rímac después de Perubar	0.245	145

3. Los valores máximos de los elementos están concentrados en la zona alta e intermedia, lo que es demostrado por dos incrementos que se observan en las curvas de concentración. El primer incremento entre los puntos uno y tres correspondiente al área de Casapalca (Zona alta), y el segundo, entre los puntos siete y nueve, correspondiente a la zona de Tamboraque (zona intermedia).
4. En el área de Casapalca (zona alta) los elementos que tienen los más altos niveles de concentración son el cadmio, zinc y en el área de Tamboraque (zona intermedia) los elementos que presentan los niveles máximos son el cobre, plomo, manganeso y arsénico. En la siguiente relación se presentan los valores máximos para cada zona.

Metales pesados	Zona Alta	Zona intermedia
Cobre	0.316	0.399
Plomo	0.595	1.216
Cadmio	0.030	0.019
Zinc	57.532	2.542
Manganeso	0.814	1.279
Arsénico	0.177	0.208

5. La zona que nos representa mayor riesgo es la intermedia, comprendida entre los puntos 6 al 10.
6. A partir de la bocatoma Pablo Boner se verifica una disminución del nivel contaminante tanto en concentración como en carga.
7. El fierro presenta los más altos niveles de concentración y carga en la zona baja siendo de 18.313 mg/l y 28826.44 Kg/día.
8. En la zona baja la concentración de cobre, cadmio, zinc, manganeso y arsénico está por debajo de los límites permisibles de clase III; así por ejemplo el cobre tiene un valor máximo de concentración en esta zona de 0.144 mg/l siendo su límite 0.5 mg/l.
9. El plomo y el fierro presentan en la zona baja valores por encima de los límites de clase III. Esto sucede para el fierro a la altura del puente Ñaña (18.313 mg/l) y para el plomo en los puntos 11 y 13 . La presencia de plomo en esta zona es de riesgo debido a que tenemos a la altura de la bocatoma de la Atarjea una concentración de 0.068 mg/l la cual supera el límite permisible de clase II (0.05 mg/l).
10. La aguas a la salida del tunel Carlos Francisco, corresponden al efluente más contaminante de la Compañía Minera Casapalca. Este efluente presenta los más altos valores de concentración de metales, con excepción del plomo el cual tiene una mayor concentración en el efluente de la concentradora.

11. La mezcla de las aguas del tunel Carlos Francisco, con las aguas del río Rímac y luego con el efluente de la concentradora, origina una disminución del nivel contaminante¹. Los porcentajes de reducción que se verifican tanto para la carga como para la concentración se presentan a continuación:

Metales pesados	% Reducción carga	% Reducción concentración
Cobre	88.9	98.8
Plomo	NR	35.6
Cadmio	78.7	97.6
Zinc	83.2	98.2
Fierro	10.8	88.8
Manganeso	84.1	96.7
Arsénico	NR	62.5

1/NR : No hay reducción.

12. El efluente más significativo de la Negociación Minera Tamboraque es el drenaje de mina niveles 710, 635, 460; el cual representa la mayor contribución a la carga total para el fierro, arsénico, cadmio, zinc y cobre; siendo esta contribución del orden de 94.1, 93.7, 73.5, 65.3, 58.6 y 53.9 % respectivamente.

13. La concentración de plomo en el drenaje de mina 710, 635, 460 supera los límites de emisión y agua de riego en 6 399% y 32 395% respectivamente.

14. La mezcla de las aguas residuales procedentes de las diferentes operaciones de la Planta concentradora de Tamboraque favorece la disminución de los niveles de concentración y carga de metales. Un control de esta mezcla podría ser usado para reducir los niveles contaminantes a bajo costo.

¹ Reducción de la concentración y de la carga.

CAPITULO VIII

8.0 RECOMENDACIONES

CAPITULO VIII

8.0 RECOMENDACIONES

1. Las dificultades que se presentaron al reunir la información relevante acerca de los antecedentes, hacen notar la necesidad de crear un sistema de información ambiental temático el cual recopile los resultados obtenidos en los diferentes estudios realizados por instituciones y profesionales independientes, generando el aprovechamiento eficaz de la información.
2. El tratamiento de las aguas provenientes de las operaciones mineras, especialmente el drenaje ácido (alto contenido de metales, especialmente en solución), por ser un nuevo campo de estudio deberá generar investigaciones debida a la poca y nueva información que recientemente se está generando acerca de ello.
3. Debido a los altos niveles de metales pesados que se verifican en la zona intermedia del río Rímac, se recomienda un estudio de determinación de metales, especialmente plomo y fierro, en los cultivos de la zona.
4. Se recomienda la localización e identificación de las descargas en la zona baja de la Cuenca del río Rímac (entre los puntos 11 y 16) por ser estas las que originan un incremento en la concentración de metales en la bocatoma de la Atarjea..
5. Es aconsejable que la mezcla de los efluentes del tunel Carlos Francisco y de la Planta Concentradora de Centromin, se realice en forma controlada. Un tratamiento posterior a la mezcla sería necesario, de tal manera que se logre también separar los precipitados formados en dicha mezcla.
6. Se recomienda un mayor control y sustento tecnológico en la mezcla de los efluentes de las cochas de plomo, zinc y cobre; lo cual podría ser usada de manera más efectiva en la reducción de los niveles contaminantes en la descarga de la negociación minera Lizandro Proaño.

BIBLIOGRAFIA

1. AMAT, CARLOS; STECHER, ALFREDO; et al. **Perú: Estrategia Ambiental. Análisis y propuestas para el manejo de los recursos naturales y la conservación del ambiente.** Centro de investigación de la Universidad del Pacífico -CIUP-. Inedito. Lima, Perú. 1995. 204 pag
2. BLUCHER. **Enciclopedia de química industrial.**
3. BALVIN D., DORIS. **Agua minería y contaminación: El caso Sothern Perú.** Ilo, Perú. 1995. 346 pag.
4. BLUME B., ROBERTO. **Estudio de la contaminación y de la purificación de las aguas del río rimac.** Tesis de Grado. Lima, Perú. 1951. 145 pag.
5. CAMPOS, H. **Metales pesados: su contaminación y sus efectos tóxicos.** 1987. p 63 - 70.
6. CANEPA A., LIDIA; FREYRE B., ELSA; et al.. **Estudio de las condiciones de autopurificación del río rimac.** Tesis de Grado. Lima, Perú. 1968. 114 pag.
7. CUANTO. **Perú en números.** Anuario estadístico 1992. 1190 pag.
8. CUANTO. **Perú en números.** Anuario estadístico 1995. 1086 pag.
9. CHRISTIANS, MERYL.; LEWIS, CHARLES. **Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables.** Edit. Limusa. 1991. 534 pag.
10. DAVIS, R.D; COKER, E.G.. **Cadmium in agriculture, with special references to the utilization of sewage sludge of land.** Water Research Centre (Medmenham,Gb). 1980. 112 pag.

11. FERREIRA, M. **Impacto dos poluentes metalicos em ecosistemas aquaticos**. Brasilia, Brasil. 1990. p 17 - 23.
12. GABAO, LUIZ; COREY, GERMÁN. **Arsénico** (Serie de Vigilancia 3). Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Panamericana de la Salud. O.M.S. Metepec, Mexico. 1987. 67 pag.
13. GABAO, LUIZ; COREY, GERMÁN. **Cadmio** (Serie de Vigilancia 4). Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Panamericana de la Salud. O.M.S. Metepec, Mexico. 1987. 65 pag.
14. GABAO, LUIZ; COREY, GERMÁN. **Manganeso** (Serie de Vigilancia 6). Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Panamericana de la Salud. O.M.S. Metepec, Mexico. 1987. 63 pag.
15. GABAO, LUIZ; COREY, GERÁN. **Plomo** (Serie de Vigilancia 8). Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Panamericana de la Salud. O.M.S. Metepec, Mexico. 1989. 95 pag.
16. GOMEZ O., DOMINGO. **Evaluación de impacto ambiental**. Editorial Agrícola Española, S.A. 2da. edición. Madrid, España. 1994. 260 pag.
17. GUTIERREZ LL., SIXTO. **Manejo y tratamiento de aguas residuales en la refinación de cobre y plomo**. Tesis de Grado. Lima, Perú. 1995. 323 pag.
18. HOTTA, TAKAMOSA; NAKAMURA, AKIRA. **Estudio técnico ambiental de la contaminación minera en la cuenca del río Rímac**. Ministerio de Energía y Minas. Lima, Perú. 1987. 10 pag.
19. HOTTA, TAKAMOSA; NAKAMURA, AKIRA; et al. **Estudio técnico ambiental en el sector minero metalúrgico de la cuenca alta del río rimac**. Ministerio de Energía y Minas. Lima, Perú. 1985. 35 pag.

20. INRENA. **Estudio hídrico por los diferentes sectores productivos del Perú.** Lima, Perú. 1995. 311 pag.
21. ITURREGUI, PATRICIA. **Los problemas ambientales de Lima: La necesidad de una Agenda 21 local.** Fundación Friedrich Ebert. Inedito. Lima, Perú. 1995. 223 pag.
22. JENKINS, GLENN; LAMECH, RANJIT. **Green taxes and incentive policies. An international perspective.** Sector Study Number 11. International Center for Economic Growth/Harvard Institute for International Development. ICS Press. San Francisco - California, EE.UU. 1994. 91 pag.
23. KAKAZU H., INES; LLOSA N., NANCY. **Estudio de la contaminación y autopurificación del río rimac.** Tesis de Grado. Lima, Perú. 1968. 175 pag.
24. LAZO B., ENRIQUE; ROJAS, RICARDO; ROSASCO, OTTO. **El río rimac / estudio de su contaminación y autopurificación.** Tesis de grado. Lima, Perú. 1969. 95 pag
25. MCDOWELL, LEE; CONRAD, JOSEPH. **Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales.** 2da edición. Departamento de zootecnia / Universidad de Florida. Florida, EE.UU. 1993. 76 pag.
26. MALARIN, HECTOR; REMY, PAUL. **La contaminación de aguas superficiales en el Perú: Una aproximación económica jurídica.** Universidad del Pacífico. Centro de Investigación (CIUP). Lima, Perú. 1994. 81 pag.
27. MINISTERIO DE AGRICULTURA. **Estudio básico situacional de los recursos hídricos del Perú.** Dirección general de aguas y suelos. Lima, Perú. 1992. 335 pag.
28. MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS, INSTITUTO DE ESTUDIOS ECONÓMICOS MINEROS, G.T.Z. **Minería y medio ambiente un enfoque técnico legal de la minería en el Perú.** Lima, Perú. 1993. 181 pag.

29. MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. **Protocolo de monitoreo de calidad de agua**. Sub-Sector Minería. Dirección General de Asuntos Ambientales. Lima, Perú. 1994. 51 pag.
30. MINISTERIO DE SALUD. **Estudio de contaminación y preservación del río rimac** Resumen. Dirección General del Medio Ambiente. Dirección de Protección del Medio Ambiente. Lima, Perú. 1982. 292 pag.
31. MOORE, JAMES; RAMAMOORTHY, W; ET AL. **Heavy metals in natural waters, applied monitoring and impact assessment**. New York. 1984. 279 pag.
32. NAKAMURA, AKIRA; ARAUJO, MARIELA. **Tecnología de tratamiento de aguas de mina**. Ministerio de energía y minas. Lima, Perú. 1988. 59 pag.
33. OMS. **Cadmium. Environmental aspects**. Ginebra, Suiza. 1992. 156 pag.
34. **Componentes inorganicos que afectan la salud**. Publicación Científica. Washington D.C., EE.UU. 1987. p 55 -160.
35. ONERN / AID. **Perfil Ambiental del Perú**. Lima, Perú. 1986. 275 pag.
36. ONERN. **Los Recursos Naturales del Perú**. Lima, Perú. 1985. 326 pag.
37. PNUMA. **Aspectos ambientales en minería de metales no ferrosos (Cu, Ni, Pb, Zn, Au)**. París, Francia. 1994. 116 pag.
38. ROJAS V., RICARDO. **Contaminación del río Rimac por metales pesados de la industria minera**. Lima, Perú. 1986. 76 pag.
39. RUZA T., FELIPE (Direct. Comité Editorial). **Tratado del medio ambiente**. Rezza Editores, S.A.. 1ra. edición. 8 tomos. Guanajuato, México. 1993. 694 pag.
40. SOCIEDAD NACIONAL DE MINERÍA Y PETROLEO. **Informativo mensual**. Año IV N° 6. Lima, Perú. Julio 1995. 73 pag.

41. TIETENBERG, TOM. **Environmental and natural resource economics**. 3ra. Edición. Harper Collins Publishers Inc. New York, EE.UU. 1992. 678 pag.

42. YACHAY. **Ecología y Desarrollo Sustentable**. Almanaque ambiental. Centro de Estudios y Asesoría. Lima, Perú. 1993. 238 pag.