

## GRAN MINERIA Y MEDIO AMBIENTE

### ESTUDIO DE CASO: CONTAMINACION POR ARSENICO EN EL NORTE DE CHILE Y SU IMPACTO EN EL ECOSISTEMA Y LA SALUD HUMANA

ANA MARIA SANCHA F.<sup>1</sup>

#### INTRODUCCION

Chile es un país cuya economía se basa, principalmente, en la explotación de recursos mineros siendo el primer productor, a nivel mundial, de cobre, yodo y litio (Tabla N°1). La intensa actividad minera del país se concentra, principalmente en la zona norte, en la Región de Antofagasta, que ocupa el 16,5% del territorio nacional con una población total de, aproximadamente, 400.000 habitantes (Fig. N°1). Antofagasta, la capital regional, concentra del orden del 50% de esta población. La actividad minera de esta Región produce un volumen superior a los 2 millones de toneladas de cobre al año y ocupa alrededor de 20.000 trabajadores en forma directa y un número mucho mayor, en forma indirecta en áreas como el transporte, vestuario, gastronomía, vivienda, industrias relacionadas con la minería, etc. (1)

En esta extensa región nortina están ubicadas las minas de cobre mas importantes del país: Chuquicamata, el rajo abierto más grande del mundo y cuya explotación comenzó a mediados del siglo pasado y Escondida cuya operación se inició a fines de los 90 situándose como el mayor productor de cobre del orbe. A ellas se suman las nuevas minas Radomiro Tomic, El Abra, Michilla, Lince, Lomas Bayas, Mantos Blancos y Zaldivar. En la zona norte de Chile existen cuatro fundiciones de cobre cuyas emisiones impactan el medio ambiente (Tabla N°2).

La actividad minera compite con la población, tanto urbana como indígena del altiplano, por el uso de los recursos naturales, principalmente, el recurso hídrico escaso en una zona desértica como es el norte de Chile, generando además emisiones atmosféricas contaminantes, importantes cambios sociales y culturales y alteraciones del paisaje derivadas de las actividades a rajo abierto, disposición de gran volumen de residuos y emplazamiento de tranques de relave.

El Arsénico es el contaminante ambiental más importante de la zona ya sea por su origen natural o antropogénico, a causa de la explotación de la minería del cobre. Se estima que la masa laboral expuesta, directamente, a Arsénico se aproxima a los 3.000 trabajadores.

**Tabla N°1**  
**Reservas y Producción Minera de Chile. 1991**  
**(porcentajes respecto al total del mundo)**

Mineral	Reservas (%)	Producción (%)
Cobre	24	17
Litio	58	36
Yodo	13	30
Molibdeno	20	14
Plata	3	3
Oro	1,5	1,2

Fuente: Comisión Chilena del Cobre

---

<sup>1</sup> Profesor Asociado. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.  
Directora Proyecto: Protección de la competitividad de los productos mineros de Chile. Antecedentes y Criterios para la Regulación Ambiental del Arsénico (Proyecto FONDEF/CONICYT/U. de Chile (1994-1997)  
e-mail: amsancha@cec.uchile.cl

Las concentraciones de As en aire, agua y suelos de la Región, tanto en ambientes comunitarios como laborales, sobrepasan largamente, en algunos casos, los límites permisibles establecidos tanto nacional como internacionalmente, con los consiguientes impactos en salud de la población no laboral y laboralmente expuesta. (2) (3)

En los últimos 30 años, Chile ha iniciado distintos estudios y acciones para mitigar el problema de presencia de As en el ambiente del Norte del país, algunos de las cuales muestran resultados favorables y otras muestran que aún queda mucho por conocer y ejecutar. Una exposición multimedial (aire-agua-suelo-alimento) a un tóxico, como el arsénico, es complejo de enfrentar mas aún cuando no hay consenso sobre sus reales efectos, no se conoce el impacto de cada vía de exposición, la comunidad científica no tiene respuesta a todos los interrogantes surgidos y las fuentes de contaminación están vinculadas a la particular geología regional (volcanismo cuaternario) que se manifiesta en los recursos hídricos, mineros y energéticos existentes. Esta condición, por su origen natural, acompañó y acompañará siempre a las poblaciones y faenas mineras de la zona norte de Chile (Antofagasta y Atacama) obligando, en forma permanente, a su conocimiento, vigilancia y control.

**Tabla N°2**  
**Antecedentes de fundiciones de cobre**  
**en zona norte de Chile**

Fundición	Chuquicamata	La Negra	Potrerillos	Paipote
Propietario	CODELCO-Chile	Refinet	CODELCO-Chile	ENAMI
Ubicación (región)	Antofagasta	Antofagasta	Atacama	Atacama
Año de Instalación	1952	1993	1927	1952
Capacidad MT/Año	1.500.000	240.000	540.000	284.000
Emisiones de As Tons/día	5.4	1.3	8.2	0.3
Población expuesta				
Impacto directo	125.000	45.000	5.000	110.000
Impacto indirecto (*)	15.000	150	5.000	9.000

Fuente: Ref N°31

(\*) Población vive en radio de 30 Km de chimenea de fundición

## CONTEXTO EN QUE SE DESARROLLA LA GRAN MINERIA EN EL NORTE DE CHILE

La capital minera de Chile se ubica en la Región de Antofagasta que se extiende unos 500 Kms promedio entre los 21° y 26° de latitud sur, aproximadamente, y desde los 67° de longitud oeste hasta la línea de costa del mar chileno. Los principales centros urbanos de esta zona son Antofagasta y Calama. La población indígena se compone de unos pocos miles de personas distribuidas en pequeñas comunidades dispersas de 100 a 300 habitantes o menos. Estos asentamientos humanos se localizan alrededor de los 3000-3500 m.s.n.m. en quebradas y vegas, donde existen condiciones favorables para el desarrollo de la agricultura y ganadería de subsistencia que ellos practican. La zona de mayor importancia hidrogeológica de la región corresponde a los relieves más altos de la Cordillera de Los Andes con 4000 a 5000 m.s.n.m. donde las precipitaciones alcanzan los 50 mm anuales. La planicie litoral no presenta recursos hídricos subterráneos de interés, ni recarga hídrica por precipitaciones al ser éstas muy escasas, no superando los 5 mm anuales.

En esta zona se desarrolla minería a toda escala siendo la más importante la gran y mediana minería que aportan más del 50% del cobre que se produce en el mundo. En la gran y mediana minería, a

diferencia de lo que sucede en la pequeña y de nivel artesanal, no participan mujeres y niños, sino solo adultos que trabajan bajo normas de seguridad. Esto hace que los impactos de la actividad minera en la salud de los trabajadores no sean tan inmediatos ni de la magnitud que podría esperarse por el volumen de material procesado. Los impactos en salud se producen después de años de trabajo en la minería y se asocian, principalmente, a la exposición a emisiones gaseosas de fundiciones y polvo fino en suspensión generado por los procesos de extracción minera y de chancado del mineral siendo el arsénico el principal elemento contaminante.

La minería impacta el medio físico (remoción de material, cambio en el paisaje), emite material particulado y gases y vierte efluentes líquidos sin controlar en cursos o masas de agua, además de inducir importantes cambios sociales, económicos y culturales en la población.

La minería en el norte de Chile se desarrolla bajo un cielo sin nubes, en un clima desértico marginal de altura que se caracteriza por grandes variaciones diarias de temperatura, intensa radiación solar, humedad relativamente baja, constantes y a veces intensos vientos y escasas precipitaciones las que se distribuyen entre diciembre y marzo originadas en el fenómeno climático denominado invierno boliviano. Esta precipitaciones y el ciclo hielo-deshielo de diaria ocurrencia en las altas cumbres andinas nutren los escurrimientos superficiales de agua.

Las comunidades vegetales y animales existentes en la zona responden a estas condiciones ambientales extremas agravadas por la influencia de volcanes activos en el entorno. Esta condición sumada a su asombrosa adaptación las hace particularmente interesantes y muy importantes desde el punto de vista de la biodiversidad. Este escenario natural ha originado un delicado equilibrio ecológico muy sensible a la contaminación y a la intervención del hombre. Actualmente este equilibrio está amenazado por las necesidades de las grandes ciudades, de la industria minera y de la actividad turística.

Cerca del 90% del cobre chileno se obtiene mediante pirometalurgia. La principal faena de la gran minería de la zona, hasta la década de los noventa, ha sido Chuquicamata que explota enargita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ), especie mineralógica rica en arsénico.

Desafortunadamente la obtención de cobre por pirometalurgia es un proceso altamente contaminante, produciendo emisiones de  $\text{SO}_2$ , material particulado y Arsénico en las etapas de fusión y conversión. Estas emisiones salen al ambiente tanto por la chimenea como por diferentes fugas a lo largo del proceso, estas últimas se conocen como emisiones fugitivas y pueden resultar, en algunos casos, mayores a las que se emiten por chimenea. El problema se agudizó en Chuquicamata con el agotamiento en la década del cincuenta de los minerales oxidados que se explotaban mediante procesos hidrometalúrgicos y el comienzo de la explotación de los minerales sulfurados que se realiza por procesos pirometalúrgicos que generan gases ricos en  $\text{SO}_2$  y As.

La cantidad de As que entra al proceso de fusión no sólo está en relación con el concentrado, sino que también con la cantidad de concentrado procesado. Como la ley de cobre en el concentrado ha disminuido en forma sostenida, ha sido necesario, para cumplir el plan de expansión implantado durante la década de los 80, aumentar el tonelaje de concentrado fundido y por lo tanto ha aumentado paulatinamente, la cantidad de As enviado a fusión llegando al máximo al inicio de los 90 en que la cantidad fue cercana a los 50 ton/día.

En una fundición típica (Fig. N°2) en el horno de fusión, para una alimentación de concentrado cualquiera, entre el 50 y 70% del As se reparte en la fase gaseosa, entre 30 y 10% en la escoria y entre 30 y 20% en el eje. En los hornos de conversión entre el 60 y 80% del arsénico presente en el eje se reparte hacia la fase gaseosa, entre el 20 y 5% en la escoria y entre 20 y 15% en el blister. (4)

Chuquicamata es una actividad minera que con sus emisiones contamina directamente el aire y suelo. Los ríos por ser un recurso muy escaso no se han utilizado para descargar relaves, usándose el Salar de Talabre para esos fines. Por su emplazamiento en el desierto, los residuos sólidos de Chuquicamata se acumulan sin cobertura expuestos al sol y viento y eventuales arrastres por crecidas de cursos de agua. Las características geográficas del lugar hacen que la contaminación por depositación de residuos no tenga un área de influencia muy extensa, además que, en general, el tamaño del residuo hace que su impacto sea más local. Otras faenas de la zona norte, también de propiedad del Estado como Potrerillos han descargado por años sus relaves al río Salado que, finalmente, contaminó el mar (bahía de Chañaral) hasta que la comunidad organizada logró que la Corte Suprema de Justicia ordenara en 1988 el fin de esta acción, lo mismo ha sucedido con la fundición Paipote. (5)

También, por estas mismas causas, en la década de los ochenta (1984) Chile fue objeto de una acusación internacional de “dumping” (6). Todas estas y otras experiencias mostraron al gobierno la vulnerabilidad de la situación ambiental de la gran minería y obligaron al sector a invertir en estudios y tecnologías para proteger el medio ambiente, a consecuencia de lo cual se ha producido y producirá una mejora notable en lo que respecta a emisiones de anhídrido sulfuroso, material particulado PM-10 y arsénico.

En Chile, al igual que en muchos otros países, hasta la década del noventa se había dado poca importancia, tanto a nivel gubernamental como empresarial, a los problemas ambientales asociados a la minería y, en consecuencia, éstos se fueron acumulando, más aun en el caso de Chile en que el 75% de la capacidad productora y 90% de la capacidad fundidora están en manos del Estado. A fines de los 90, producto de nuevas políticas económicas, la producción privada representará del orden del 60% del total de cobre producido en Chile, lo que llevaría a un mejoramiento de la situación ambiental con el empleo de una mejor tecnología y gestión ambiental. (1)

La gestión moderna en la producción minera, incluirá cuidado del paisaje, rehabilitación posterior de terrenos, recirculación de agua, reforestación y minimización del riesgo de contaminación de aguas y aire. La tendencia que se dará es al aumento de producción de cobre sin aumentos importantes de capacidad de fusión.

### **3. IMPACTO EN EL ECOSISTEMA Y LA SALUD HUMANA**

Los estudios hechos en Chile muestran un alto nivel de arsénico en los distintos medios ambientales y un fuerte impacto en la población de la Región de Antofagasta. El análisis de toda la información existente requiere de un conocimiento acabado del comportamiento histórico de la contaminación con As en la Región, ya que su cuantía y duración han sido variables, según la localidad estudiada: grandes ciudades, pueblos atacameños, campamentos mineros y según el medio evaluado: agua o aire. Las Figuras N°3, 4 y 5 muestran antecedentes de estas variaciones.

#### **3.1 IMPACTO EN EL ECOSISTEMA**

##### **3.1.1 AGUA**

El régimen hídrico de la zona norte es muy particular, algunos ríos y hoyadas de la cordillera no drenan al océano, sino que son cuencas cerradas en cuya parte más baja se ubican salares y lagos andinos. El ecosistema de salares y lagunas está considerado como extremadamente frágil por la escasez de recursos hídricos. El régimen hídrico ha condicionado la existencia de humedales en sus formas de vegas y bofedades, caracterizados por una condición hídrica de saturación permanente. Los humedales han constituido desde siempre centros de gran importancia para el desarrollo de la cultura andina. (7) (8) (9)

La hoya hidrográfica más importante de la zona norte es la del río Loa, la mayor parte de esta hoya es sólo virtual, su gasto presenta poca variación estacional, aumentando sólo en la época del invierno boliviano. La composición química de las aguas de la zona es muy variada en un rango de calidad que va desde muy buena (fusión de nieve) hasta muy salobre, predominando una alta salinidad que limita su uso. A ello se agrega la presencia generalizada de arsénico y boro. (7)

La Región de Antofagasta presenta aguas superficiales con concentraciones variables de As que están relacionadas con el origen del recurso. Las mayores concentraciones se vinculan a orígenes volcánicos y geotérmicos (Tabla N°3).

**Tabla N°3**  
**Arsénico en agua de ríos del norte de Chile**

Río	Arsénico mg/l (Range)
Río Vilama	0.600-0.700
Río San Pedro	0.150-0.200
Río Silapeti	0.010-0.020
Río Toconce	0.600-0.900
Río Lequena	0.150-0.350
Río Colana	0.070-0.090
Río Inacaliri	0.080-0.090
Río Lluta	0.200-0.700
Río Lauca	0.300-0.400
Río San Pedro	0.400-0.500
Río San Salvador	2.00-2.50
Río Loa	1.50-2.50
Río Huasco	<0.005
Río Copiapó	<0.005

Fuente: Dirección General de Aguas, Chile

El crecimiento poblacional derivado de la intensa actividad minera desarrollada en el último siglo ha obligado a utilizar todos los recursos hídricos disponibles. En los inicios del siglo XX el problema fue cantidad de agua para satisfacer, en una zona desértica, las necesidades de la población y sólo a partir de 1960 surgió, dramáticamente, el cuestionamiento de su calidad, al detectarse los primeros impactos en salud por uso del agua del río Toconce con elevadísimas concentraciones de As (0.600-0.900 mg/L). No se ha evaluado, hasta el momento, el impacto de la presencia de boro.

Esta situación de contaminación de las fuentes de agua ha debido enfrentarse con la instalación de cuatro plantas de tratamiento de remoción de As del agua para entregar a la población del norte de Chile un agua para consumo con niveles de arsénico de acuerdo a las recomendaciones internacionales (10). La Fig. N°6 muestra antecedentes sobre concentración de As en el agua que se consume en las principales ciudades de Chile.

No obstante los esfuerzos que han significado la construcción, operación y mantención de las plantas de remoción de arsénico del agua, para el Norte de Chile, aún quedan algunas poblaciones, en pueblos indígenas y otros poblados dispersos, que se abastecen de aguas con elevadísimos contenidos de arsénico, para los cuales los estudios realizados muestran interesantes resultados sobre una “aparente” tolerancia al contaminante que requieren ser estudiados con mayor profundidad (11) (12).

Respecto a aguas subterráneas, los antecedentes disponibles señalan que su calidad está fuertemente influenciada por la geología de la zona predominando los salares con un alto y variado contenido de sales. Salvo, excepciones en algunas faenas mineras (extracción de litio) y pequeños poblados altiplánicos, las aguas subterráneas no se utilizan para abastecer la población de las grandes ciudades o satisfacer los requerimientos de la gran minería. Aunque se presume que la actividad minera contribuye a la contaminación del agua subterránea, no hay información confiable sobre la magnitud del impacto.

La actividad minera ha entrado en serios conflictos con las etnias atacameña y aymara en relación a derechos y usos de agua al no estar éstos debidamente reconocidos, por la legislación vigente, ni disponer los indígenas de medios para hacer sentir su voz y/o valer sus derechos. Conflictos adicionales se derivan porque no se han definido todavía los caudales ecológicos, las prioridades de uso del agua ni los estándares de calidad que los cuerpos de agua debieran mantener. Actualmente las poblaciones indígenas parecieran estar en un mejor escenario para reclamar sus derechos bajo el alero de la reciente ley indígena.

La permanente escasez de agua en el norte de Chile, uno de los desiertos más secos del mundo, y su gestión inadecuada son motivo de creciente preocupación. El aumento de producción de cobre durante la década de los 90 ha aumentado significativamente la demanda por agua. Actualmente la minería usa del orden del 35% del agua disponible. Se han conocido algunas experiencias, no completamente documentadas, en las que pequeñas comunidades rurales se han quedado sin este recurso por la instalación de faenas minera en las inmediaciones ó por nuevas asignaciones de derechos de agua.

Por otra parte, las empresas mineras han realizado importantes esfuerzos de prospección y han identificado y están explotando napas de aguas subterráneas, algunas de ellas fósiles. El impacto de la reducción de estas reservas sobre los frágiles ecosistemas del norte del país es desconocido.

### **3.1.2 AIRE**

En Chile, se encuentra As en el aire, no tan solo en la Región de Antofagasta, sino también en otras zonas, tanto por causas naturales como antrópicas. El As atmosférico se encuentra mayoritariamente en la fracción mas fina del material particulado. La Figura N°7 muestra los niveles naturales que se ha estimado corresponderían a la zona norte, centro y sur del país (13). Esta estimación ha sido considerada por las autoridades como meta a alcanzar, en el futuro, una vez que se pongan en marcha los planes de descontaminación programados para la gran minería del cobre.

Mediciones hechas en los últimos años (Tabla N°4) muestran niveles de As decreciente en el campamento minero de Chuquicamata y en la ciudad de Calama que son centros poblacionales impactados por la emisiones de la fundición. La Tabla N°5 muestra niveles de As en ciudades y pueblos atacameños de la Región de Antofagasta. (11)

**Tabla N°4**  
**Arsénico en polvo total. Promedio anual**  
**Campamento de Chuquicamata y ciudad de Calama**  
 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{día}$

Año	Campamento	Calama
1987	3.28	0.34
1988	2.08	0.31
1989	2.62	0.34
1990	2.10	0.23
1991	2.01	0.21
1992	0.79	0.11

Fuente: Ref 11

**Tabla N°5**  
**Arsénico en polvo total ( $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{día}$ )**  
**Región de Antofagasta Mayo-Junio 1992**  
**Mediciones estáticas (24 horas)**

Localidad	As en aire
Urbana	
Calama	0.114
Antofagasta	0.053
Rural	
Lasana	0.106
Chiu-Chiu	0.086
Caspana	0.033
San Pedro de Atacama	0.029

Fuente: Ref 11

Estos antecedentes puntuales obtenidos por el método de “monitoreo estático” que mide la cantidad de contaminante presente en el aire del sitio monitoreado, durante el período muestreado, no permiten emitir juicios concluyentes sobre la contaminación a que están expuestas, en forma habitual, estas localidades, especialmente, las más cercanas a la fundición de Chuquicamata como Calama, Lasana y Chiu-Chiu.

Antecedentes de As en aire en áreas de trabajo de la fundición Chuquicamata (Tabla N°6) obtenidos por el método de “seguimiento” en que la concentración medida corresponde a la contaminación presente en el aire en los distintos ambientes a que el trabajador está sometido durante su faena, señalan que la contaminación es alta y muy variable. Sin embargo, es necesario destacar a este respecto que el método de seguimiento sobredimensiona el problema al no representar la cantidad real de contaminante que ingresa al organismo del trabajador por no estar considerado el rol protector de las medidas de seguridad, que en la gran minería, en los últimos años, son de uso obligatorio.

**Tabla N°6**  
**Arsénico en polvo total en diversas áreas y sitios de trabajo de la fundición (mg/m<sup>3</sup>)**  
**Método de seguimiento**  
**Promedios Anuales (1992)**

Area y/o sitio Trabajo	n	Promedio
Horno flash		
Piso de carga	5	0.131
Piso de quemadores	5	0.078
Piso de sangría	5	0.043
Piso de operación caldera	5	0.148
Plataforma superior caldera	3	0.168
Horno reverberos		
Piso de operación	9	0.408
Plataforma de carga	3	0.090
Plataforma superior caldera	4	0.063
Piso de operación calderas	4	0.044
Convertidores	8	0.032

Fuente: Ref 11

### 3.1.3 SUELO

El recurso suelo en la zona norte, ha sido evaluado en muy contadas ocasiones por su poca potencialidad agrícola derivada de las bajas temperaturas medias del suelo que impiden la germinación y desarrollo de la mayoría de las especies cultivables y la limitada disponibilidad de agua. (14)

La mayor parte de los antecedentes disponibles (Tabla N°7 ) corresponden a suelos que los habitantes de los pueblos indígenas usan para sus cultivos. No se ha documentado la contaminación, del suelo producto de la actividad minera que, sin duda, es significativa por la disposición incontrolada de sus residuos tanto inertes como peligrosos así como por la depositación de material particulado.

La contaminación de los suelos, cualquiera sea su origen, unida a la del agua impacta la agricultura de la zona, que si bien es insignificante en volumen es de primera importancia para las comunidades indígenas, para las que constituye una importante fuente de alimentos por su lejanía de los principales centro poblados de la Región (Tabla N°8).

**Tabla N°7**  
**Concentración de As en suelos y aguas de regadío**

Lugar	Suelos µg/g	Agua mg/L
San Pedro de Atacama (Condeduque)	220.5	172
San Pedro de Atacama (Larache)	448.0	619
Toconao	93.0	19
Socaire	108.5	220
Caspana	86.0	2

Fuente: Ref. 12



**Tabla N°8**  
**Concentración de As en vegetales**

Arsénico en agua de riego $\mu\text{g/l}$	Arsénico en vegetales ( $\mu\text{g/g}$ )						
	Repollo	Rábano	Acelga	Betarraga	Papa	Ajo	Cebolla
2				0.218		0.018	0.036
172	0.054	0.207		0.282	0.040		0.106
220	0.033		0.156		0.044	0.050	
619	0.715	0.938	0.520	0.718			

Fuente: Ref. 12

### 3.1.4 VEGETACION

La vegetación existente en la zona norte responde a condiciones ambientales extremas. La mayor riqueza en especies está asociada con áreas permanentemente inundadas, mientras la menor biodiversidad se observa en áreas semidesérticas. Los habitats húmedos concentran plantas forrajeras y alimenticias y los habitats secos, plantas con propiedades terapéuticas. La composición florística varía dependiendo de la pendiente, flujo de agua y orientación. (15)

Importantes especies de larga vida, propias de las alturas, como la llareta y queñoa, se han visto fuertemente impactadas por la actividad minera. La primera de ellas, importante combustible para la sobrevivencia en altura, se agotó en los sectores altos hasta alcanzar niveles de extinción.

En la actualidad no existen estudios sobre el impacto que la actividad minera tiene en la vegetación de la zona, predominan los estudios cuantitativos y descriptivos, pero no cualitativos.

### 3.1.5 FAUNA

La fauna existente es escasa por las dificultades que plantea la vida en zonas áridas y/o en las grandes alturas. Esta condición, sumada a su asombrosa adaptación la hace particularmente interesante y muy importante desde el punto de vista de la biodiversidad. No se han investigado las relaciones tróficas entre las comunidades de vertebrados e invertebrados acuáticos, anfibios y aves. Se han observado diferencias en la abundancia, biomasa y diversidad de comunidades de interbrados acuáticos entre ambientes lóticos (fluviales) y lénticos (lacustres) (16).

Las especies mas estudiadas en la zona son los flamencos para los cuales muchos de los cuerpos de agua altiplánicos son lugares de alimentación o sitios de importancia poblacional y los camélidos, por la importancia que tienen para el hombre altiplánico y por el actual potencial económico que representan dado el alto valor de su fibra en el mercado internacional.

Al igual que en el caso de vegetación, tampoco hay estudios sobre el impacto que la actividad minera del último siglo ha tenido en la fauna.

### **3.1.6 RECURSO HUMANO: SOCIAL Y CULTURAL**

La intensa actividad minera desarrollada en la zona norte ha tenido y seguirá teniendo distintos impactos según sea la óptica considerada. A nivel macro ha significado importantes mejoramientos económicos para la población laboral, directa e indirectamente involucrada, así como para todo el país.

Una mirada más focalizada nos muestra importantes impactos negativos en algunos grupos humanos, especialmente, grupos indígenas, a los cuales no han llegado los beneficios de esta actividad. Esta población indígena se dedica, principalmente, a actividades agrícolas y ganaderas y, ocasionalmente, artesanales de subsistencia. (17)

La situación histórica de la población indígena ha sido de marginación de los grandes centros de actividad y desarrollo del país. La relativa inaccesibilidad de la precordillera y el altiplano contribuyó al aislamiento de esta población. Esta situación terminó a mediados de los cincuenta con la construcción de caminos y el auge de la actividad minera en la zona.

El creciente desarrollo ha generado un mayor contacto entre estas comunidades indígenas y los centros urbanos que se ha traducido en un intercambio socio cultural entre pueblo y ciudad. Este proceso que ya dura medio siglo ha producido un continuo despoblamiento de los poblados indígenas cuyos habitantes migran a Calama y Chuquibambilla atraídos por mejores expectativas que pronto ven frustradas, engrosando el número de personas sin trabajo estable que viven en condiciones marginales. Los fuertes movimientos migratorios se han traducido en el abandono de las formas tradicionales de uso de la tierra y una mayor presión sobre los recursos naturales. En la actualidad, en los pueblos indígenas, viven, principalmente, niños y ancianos ya que aquellos habitantes en edad productiva migran para ir a trabajar a la ciudad. Los emigrantes, sea por razones laborales o educacionales, juegan un papel importante en el proceso de cambios socioculturales ya que mantienen contactos con sus comunidades de origen.

Un impacto adicional ha sido la presión que sobre el recurso agua, muy escaso en la zona, ha ejercido el desarrollo urbano y minero el que ha obligado a recurrir a la naciente de las aguas de los ríos de buena calidad secando los cursos intermedios y vegas adyacentes y obligado a los indígenas a hacer fatigosos turnos para regar sus cultivos.

Debe recordarse que las condiciones ambientales, debidas a la altura y el prolongado aislamiento, han permitido el establecimiento de un delicado equilibrio entre el hombre y su entorno, muy sensible a la contaminación y a la intervención del hombre. Ninguno de estos aspectos está estudiado ni documentado a la fecha.

La zona norte, además ser la cuna de los indígenas atacameños y de su riqueza minera, tiene un gran potencial turístico que a futuro podría verse disminuido por la destrucción del paisaje y testimonios arqueológicos que la actividad minera produce, materia que no está debidamente documentada.

### **3.2 IMPACTO EN LA SALUD HUMANA**

Estudios ecológicos recientes del caso chileno (18, 19) han mostrado el alto riesgo de la población de la II Región de Antofagasta de morir por cánceres asociados al As, fundamentalmente, broncopulmonar, vesical y renal (Fig. N°8). Otro efecto importante que se ha evidenciado es el aumento de los abortos espontáneos y las malformaciones congénitas, así como un menor peso al nacer de los hijos de las mujeres expuestas (20).

Un estudio de casos y controles realizado el período 94-96, que consideró una estimación del nivel de exposición de cada sujeto, basado en su historia personal con control de factores confundentes conocidos, entrega nuevas evidencias que el As en el agua puede producir cánceres internos (21).

Otros estudios, también hechos en Chile, (22, 23) entregan evidencias de la asociación entre exposición laboral a As y lesiones de la piel y aparato respiratorio, también entre cáncer broncopulmonar y puestos de trabajo en faena minera lo que también había sido destacado, anteriormente, en la literatura internacional.(24, 25, 26)

Todos estos antecedentes demuestran que la población de la II Región de Antofagasta presenta alto riesgo de morir por cáncer como consecuencia de exposición a As. Sin embargo, a pesar de todas estas evidencias, es necesario poder evaluar el riesgo debido a exposición por inhalación independiente de la exposición por ingestión y ponderar el impacto real que le corresponde a la exposición laboral, para que las autoridades del gobierno puedan tomar decisiones adecuadas sobre todo si se debe considerar que la minería, una de las causas del problema, es una importante fuente de ingresos para el país.

Estudios hechos en Chile señalan que no obstante existir en la minería muchos sitios de trabajo con elevados niveles de exposición a As por inhalación, el impacto humano a nivel regional de esta exposición resulta inferior al originado por el consumo de agua con arsénico, porque el número de trabajadores que ocupan estos puestos de trabajo es pequeño y por otra parte la magnitud de la carga de arsénico ingresada al organismo por vía inhalación es comparativamente inferior a la vía ingestión de agua. Existe un estudio que muestra que el promedio de concentración de As en orina de trabajadores de las diversas áreas de la fundición de Chuquicamata es de 0,186 mg/l con un 5,4% de trabajadores con signos cutáneos moderados y/o severos de arsenismo crónico, mientras que en el poblado atacameño de Chiu Chiu en que se consume agua con un elevado nivel de As (0,75mg/l) el promedio en orina es de 0,679 mg/l con un 26% de pobladores con lesiones cutáneas, situación que se repite en otros poblados del altiplano (11).

#### **4. MEDIDAS DE MITIGACION**

La severa contaminación ambiental de la región norte del país y sus impactos en la salud de la población han obligado a las autoridades a tomar diversas medidas que en su conjunto significan una reducción importante del nivel de exposición a As de la población.

##### **4.1 AGUA**

Las primeras medidas se tomaron en la década del 70 con la puesta en operación de una planta de abatimiento de As del agua que abastecía la ciudad de Antofagasta, posteriormente en los 80, se amplió la capacidad de esta primera planta y se construyeron dos nuevas plantas para abastecer Calama y otras ciudades. También a fines de la década de los 80, la principal faena minera de la zona, Chuquicamata, construyó una planta de abatimiento de As para atender su campamento. Así el país cuenta, actualmente, con una capacidad de tratamiento de 1730 m<sup>3</sup>/seg para una población de, aproximadamente, 400.000 habitantes (Tabla N°9 ).

**Tabla N°9**  
**Plantas de Tratamiento para Remoción de Arsénico en Chile**

Planta	Capacidad	Fuentes de Agua	
		Río	Rango As (mg/L)
Complejo Salar del Carmen Planta Antigua (1970)	500	Toconce	0.600-0.900
Planta Nueva (1988)	520	Lequena	0.150-0.350
		Quinchamale	0.100-0.250
Cerro Topater (1978)	500	Siloli Polapi	<0.050
		Toconce	0.600-0.900
Chuquicamata (1989)	210	Lequena	0.150-0.350
		Quinchamale	0.100-0.250
Chuquicamata (1989)	210	Colana	0.070-0.090
		Inacaleri	0.080-0.090

Fuente: Ref. 10

La Organización Mundial de la Salud en 1993 recomendó una concentración máxima de arsénico en agua potable de 0.010 mg/L.(27) El tratamiento de remoción actualmente utilizado en las plantas chilenas de remoción de As, en base a coagulación con sales férricas, no permite alcanzar valores de As residual inferiores a 0.030-0.040 mg/L, partiendo de un agua cruda, mezcla de diferentes fuentes superficiales (ríos) con un nivel de arsénico de 0.400-0.500 mg/L.

Recientemente se han hecho estudios en Chile para evaluar el costo de reducir el As en el agua potable que abastece a la población de la zona norte de Chile a un nivel como el recomendado por OMS. La evaluación técnico-económica mostró que es posible, en el corto plazo y a muy bajo costo, reducir el arsénico residual en el agua potable a valores en el rango 0.020-0.030 mg/l lo que implicaría una reducción de 50% en la exposición de la población por esta vía. Para reducir el As en el agua potable a niveles inferiores a 0.020 mg/l será obligatorio recurrir a tecnologías de tratamiento diferentes a la coagulación, que resultan de mayor costo, lo que en definitiva se traducirá en una alza del precio del agua. Las Figuras N°9 y 10 muestran la variación en el costo de las distintas medidas de mitigación que se están estudiando para bajar el nivel actual de exposición de la población a As por ingesta de agua. (28)

#### **4.2 AIRE**

Las medidas tomadas son muy recientes, fruto de los compromisos y exigencias derivados de la participación de Chile en acuerdos internacionales y de la creciente preocupación de la ciudadanía por los temas ambientales y de calidad de vida. La principal medida que se está tomando, en la actualidad, es el traslado de la población de Chuquicamata (campamento) a la ciudad de Calama, acción que reduce significativamente la exposición a Arsénico de los trabajadores y sus familias.

Los estudios de evaluación de las opciones tecnológicas de mitigación disponibles muestran que las fundiciones tienen un amplio rango de opciones, algunas de rápida implementación y bajo costo, para reducir sus emisiones. (29, 30, 31, 32). Estas van desde mejoras en la operación y mantención de equipos, instalación de tapas y campanas, puesta en marcha de plantas de ácido sulfúrico hasta sustitución de los actuales hornos reverberos por convertidores (CT), reactores con ciclón contop u otras tecnologías más avanzadas. La Tabla N°10 muestra los rangos de reducción de emisiones de As que se esperaría de las distintas opciones tecnológicas que se pueden utilizar en las fundiciones. La Tabla N°11 muestra antecedentes sobre el nivel actual de emisiones de As a la atmósfera y los niveles esperados luego de la puesta en marcha de las medidas de descontaminación programadas.

Las soluciones futuras que se están estudiando para las fundiciones chilenas permitirían alcanzar eficiencias de captación de As del orden del 95%.

Complementando estos programas la autoridad ambiental del país, Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) dictó recientemente normas de emisión para la regulación del contaminante arsénico emitido al aire de cuya aplicación se espera, como resultado, un mejoramiento substancial de la calidad atmosférica en las zonas afectadas y una reducción de la exposición al arsénico de las personas y de los recursos naturales renovables. La norma considera el tipo de fuente, su capacidad de fusión y su ubicación geográfica y establece además plazos para la reducción de emisiones. Para el caso de la instalación de fuentes nuevas hace exigencias desde el inicio de su operación.

**Tabla N°10**  
**Rangos de reducción de emisiones de As (\*)**

Opción	Eficiencia de Captación %
Precipitadores electrosláticos	10-50
Plantas de ácido	+99
Horno Flash Inco	95
Ciclón Contop	95
Proceso Isasmelt	95
Flash Converting-Flash Smelting	+99
Mitsubishi	+99
Tostador de pisos múltiples	90
Planta de tratamiento de polvos	80-90
Campanas secundarias	94-99
Tapas canaletas de sangría	99

Fuente: Ref. 31

\* Basados en opinión experta, experiencias operacionales y estudios disponibles.

**Tabla N°11**  
**Antecedentes sobre plantas de fundición del norte de Chile**  
**Situación actual y futura**

Situación de plantas de fundición en 1996						
Fundición	Capacidad Instalada TMA	Planta de Acidos TMA	Arsénico Emitido TPD	Emisiones Fugitivas TPD	Emisión Chimenea TPD	Porcentaje abatimiento %
Chuquicamata	1.500.000	1.200.000	5.40	3.94	1.46	85
La Negra	240.500	80.500	1.26	0.51	0.75	40
Potrerillos	540.000	-	8.23	1.32	6.91	12
Paipote	284.000	88.000	0.30	0.11	0.19	52
Situación futura a mediano plazo						
Chuquicamata	1.500.000	1.200.000	4.60	3.94	0.66	87
La Negra	390.000	302.000	0.82	0.81	0.01	72
Potrerillos	340.000	330.000	1.40	1.23	0.17	72
Paipote	325.000	241.000	0.14	0.09	0.05	88

TMA: toneladas métricas anuales

TPD: toneladas por día

Fuente: Ref. 31

### **4.3 ALIMENTOS**

Afortunadamente el problema derivado de la contaminación ambiental con As de la región norte de Chile no tiene, en los alimentos consumidos por la población, un impacto de gran magnitud como sería de esperar, por lo que no se han dispuesto medidas específicas para su mitigación. Esta situación se debe a que, la agricultura desarrollada en la zona es mínima motivo por el cual los vegetales, carnes y lácteos, que se consumen, en el norte de Chile se importan desde otras regiones del país que no presentan estos elevados índices de contaminación ambiental.

### **4.4 EXPOSICION POBLACIONAL**

La principal medida adoptada, en Chile, para reducir el nivel de exposición a Arsénico de la población general ha sido el esfuerzo realizado para rebajar los niveles de este contaminante en el agua de consumo. Estos esfuerzos, en la actualidad, se están orientando a estudiar la factibilidad de usar desalinización de agua de mar, para el abastecimiento de la población, ahora que los costos de energía, por importación de gas natural desde Argentina, han experimentado una notable disminución.

La otra fuente de exposición de la población, el aire, se espera irá bajando sus niveles de concentración del contaminante cuando comiencen a hacerse efectivos los planes y programas de descontaminación llegándose a los niveles que se considera basales para la zona. (Fig. N°7)

### **4.5 EXPOSICION LABORAL**

En la década de los ochenta se inició la toma de medidas tendientes a reducir las concentraciones de arsénico en los ambientes laborales así como el registro de concentración de As en orina de los trabajadores. Todas las empresas tienen ahora Unidades de Medio Ambiente y están desarrollando o apoyando proyectos de investigación en temas ambientales.

La concentración de arsénico permitida en ambientes laborales chilenos es una modificación del valor recomendado para la minería en USA. El valor chileno se obtuvo restando un 20% al valor permisible en USA establecido para 40 horas semanales, porque en Chile se trabajan 48 horas. En rigor este equivalente matemático aplicado no tiene base científica porque no se conoce cual es el punto en que los mecanismos naturales de eliminación o de biotransformación de tóxicos se saturan, además de que los valores referenciales fueron fijados a presiones atmosféricas diferentes a la que muchos trabajadores mineros de desempeñan. (33, 34, 35)

El progresivo desarrollo de la gran minería en alturas cada vez mayores plantea nuevas y numerosas interrogantes. El buen juicio señala que el referente a considerar debiera ser la fisiología del nativo andino, apegado a su estilo de vida ancestral, que muestra óptima calidad de aclimación a la altura y no adaptaciones matemáticas de valores obtenidos bajo otras condiciones.

Actualmente la gran minería tiene un programa de salud que contempla actividades de vigilancia de la salud de sus trabajadores a través de exámenes médicos y toma de muestras de orina. El examen comprende una encuesta toxicológica que busca pesquisar antecedentes generales del trabajador, signos y síntomas relacionados con exposición a Arsénico y antecedentes mórbidos sugerentes también de exposición a dicho contaminante, además de una rinoscopia. A través de estos exámenes las intoxicaciones arsenicales diagnosticadas corresponden, principalmente a dermatitis, compromiso vascular de extremidades inferiores y perforaciones de tabique nasal. Las lesiones dérmicas encontradas han correspondido, en general, a áreas de exposición directa a polvo y zonas de roce con equipos de protección respiratoria. (11)

## **5. SUSTENTABILIDAD DE LA ACTIVIDAD MINERA**

Todos los antecedentes disponibles llevan a predecir un crecimiento sostenido de la actividad minera del país dado que la estabilidad económica y política alcanzada unida al know how y la existencia de grandes recursos mineros atraen la inversión extranjera.

Durante muchos años la tecnología del cobre no experimentó grandes cambios, pero ahora éstos se han hecho necesarios ante el clamor de la sociedad por el deterioro que la minería, en todas sus fases, desde etapa de exploración hasta cierre y abandono e incluso posteriormente, ha producido en el medio ambiente. A nivel mundial las exigencias ambientales están ya incorporadas en todas las actividades económicas y la minería chilena no será una excepción por lo que, obligatoriamente, deberá incorporar tecnología y gestión amigables con el medio ambiente. Este hecho ha comenzado a ser una realidad en el país, toda vez que la nueva legislación ambiental que incluye normas de emisión para la regulación del contaminante arsénico emitido al aire ha exigido a la gran minería ya existente programas y planes de descontaminación graduales y exige a la nueva gran minería un proyecto minero que asegure la protección del medio ambiente y la salud humana.

Chile desarrolla un intenso comercio exterior basado en la minería y requiere mantenerlo y acrecentarlo para mejorar el nivel de calidad de vida de toda su población, incluida urbana, rural e indígena, para lo cual ha firmado recientemente, numerosos acuerdos comerciales con Europa, Asia, Estados Unidos, Canadá y MERCOSUR. Casi todos ellos hacen severas exigencias ambientales que han requerido que el país tenga no tan solo un marco regulatorio, sino también una activa fiscalización, acción para la que el país no está preparado adecuadamente ya que, en la actualidad, los organismos encargados de la fiscalización no tienen la infraestructura y recursos humanos necesarios. No bastará un marco regulatorio, un fortalecimiento de la capacidad de fiscalización y monitoreo, se requerirá además la toma de conciencia de toda la sociedad chilena para alcanzar la adecuada protección de los ecosistemas potencialmente afectados por la gran minería. Solo de esta forma el proyecto minero chileno será sustentable.

## **6. IDENTIFICACION DE TEMAS DESCONOCIDOS O NO SUFICIENTEMENTE CONOCIDOS**

En relación al tema Arsénico y Minería la experiencia recogida en Chile señala que aun quedan muchos temas por investigar, algunos básicos y otros aplicados, y que el trabajo conjunto entre Universidad y Sector Minero produce mejores resultados que cuando este tema se investiga aisladamente. Arsénico y Minería requiere un enfoque multidimensional, interdisciplinario e interinstitucional.

Entre los temas que requieren investigación, en el futuro, hay algunos relacionados con muestreo, análisis, evaluación de impactos y modelación de procesos. Entre ellos destacan:

- Impacto en salud atribuible a inhalación y/o ingestión del contaminante.
- Límites de tolerancia biológica en trabajadores expuestos y población andina.
- Métodos de análisis y especiación de As en matrices biológicas y ambientales.
- Muestreo con método estático y de seguimiento de As en polvo del aire ambiental y laboral.
- Variabilidad espacial y temporal de contaminantes en ambientes laborales.
- Test de lixiviación de residuos mineros generados y depositados en escenarios diferentes al considerado en el diseño del test TCLP.
- Programas de mediciones ambientales en faenas mineras.
- Marco regulatorio de actividades mineras.
- Cierre y abandono de faenas mineras.
- Area de influencia de faenas mineras.

- Impacto en flora y fauna de faenas mineras.
- Impacto social de faenas mineras.

Estudios como éstos y muchos otros contribuirán a un mejor conocimiento del tema que, en definitiva, conducirá a una mejor calidad de vida y protección del medio ambiente, meta que debiéramos alcanzar en este milenio.

La magnitud de los problemas derivados de la actividad minera requiere esfuerzos que superan lo que investigadores, empresas o el estado pueden hacer, se requiere una acción concertada de todos los autores.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. Valenzuela I. "Chile Exporta Minería" Ed. EDITEC Ltda., Chile, 1993.
2. Sancha A.M. "Arsénico en Chile: Contenidos naturales y contaminación". Simposio Taller Impacto Ambiental de Metales Pesados en Chile: Estrategias de Solución". INIA, 1994 Chile.
3. Ministerio de Salud, Servicio de Salud de Antofagasta. Primeras Jornadas sobre Arsenicismo Laboral y Ambiental, II Región, Chile, 1990.
4. Wiertz J., Gutiérrez M. "Arsenic: a Chilean Approach". Mining Environmental Management, December, 1996.
5. Palma M., Cobo P. "Medio Ambiente. Jurisprudencia Administrativa y Judicial". Editorial Jurídica Cono Sur Ltda, 1997.
6. O'Ryan R., Ulloa A. "Amenazas al Comercio por Consideraciones Ambientales: El Caso de la Minería" en Las Nuevas Caras de Proteccionismo. Editor R. Fischer. Ediciones Dolmen S.A. Chile
7. Klohn Wulf. Hidrografía de las zonas desérticas de Chile". Ed. por Jean Burz. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Chile, 1972.
8. Castro M., Bahamondes M., Solar H., Azocar P. y Faúndez L. 1993. "Identificación y ubicación de áreas de vegas y bofedales de la I y II Región. U. de Chile/DGA/MOP, Chile.
9. Mühlhausser H. "Significado de la estructura y funcionamiento de ecosistemas acuáticos y zonas ecotonales altiplánicas para su evaluación, gestión ambiental y conservación". Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos. Universidad de Chile, Arica, 1997.
10. Sancha A.M. "Removal of Arsenic from Drinking Water Supplies: The Chile Experience" IWSA World Congress, 1998.
11. Santolaya B.R.; Corco S.L.; Santolaya C.R.; Sandoval M.M.; Alfaro T.R. "Arsénico. Impacto sobre el hombre y su entorno. II Región de Chile (Antofagasta) Programa Ambiente 02 (1992-1993) Centro de Investigaciones Ecobiológicas y Médicas de Altura (CIEMA). División Chuquicamata-CODELCO Chile.
12. Sancha A.M., Rodríguez D., Vega F., Fuentes S., Salazar A.M., Venturino H., Moreno V., Barón A.M. "Exposure to Arsenic of the Atacameño population in northern Chile". Assessing and Managing Health Risks from Drinking Water Contamination: Approaches and Applications. Proceedings of the Rome Symposium, September 1994. IAHS Publ N°233, 1995.
13. Ulriksen P., Cabello A. "Concentraciones de Arsénico en Material Particulado Atmosférico en Chile". Informe Proyecto FONDEF 2-24. FONDEF/CONICYT/U. de Chile/CIMM, 1997, Chile.
14. Luzio W. "Recursos Edaficos del Altiplano". Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos, Universidad de Chile, 1997.
15. Negrete R. "La Vegetación en el Altiplano". Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos, Universidad de Chile, 1997.
16. Raggi L. "La Fama Altiplánica". Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos, Universidad de Chile, 1997.
17. Castro M. "El Campesinado Altoandino del norte de Chile". Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos.



18. Rivara L.M., Corey O.G. "Tendencia de morir por cánceres asociados a la exposición crónica al Arsénico. II Región de Antofagasta, 1950-1993. Cuad. Med. Soc. XXXVI, 4, 1995/39-51.
19. Smith A., Goycolea M., Haqne R., Biggs M. "Marked increase in bladder and lung cancer mortality in a Region of Northern Chile due to Arsenic in drinking water". Am J. Epidemiol Vol. 147, N°7, 1998.
20. Castillo, S., Astete C., Alfaro R., Ortiz C., Araya J., Mendoza J., Cesio-Monasterio L., Sanz P. "Estudio de elementos traza en embarazadas controladas en Hospital R.H. Glover, Chuquicamata: Relaciones con pérdida reproductiva y aparición de malformaciones congénitas". Revista del Hospital Clínico Universidad de Chile, Vol. 6, N°2, 1995.
21. Ferreccio C., González C., Milosavjlevic V., Marshall G., Sancha A.M. "Lung cancer and arsenic exposure in drinking water: A case-control study in northern Chile". Cad. Saúde Publica, Río de Janeiro, 14 (Sup:3) 193-198, 1998.
22. Ferreccio C., González C., Solari J., Noder C. "Bronchopulmonary cancer in workers exposed to arsenic: a case control study". Rev. Med. Chil, 1996 Jan, 124:1, 119-123.
23. Possel M.G. "Exposición Ocupacional a Trióxido de Arsénico en un Tostador de Concentrados de Oro, Plata y Cobre en la Alta Cordillera". Asociación Chilena de Seguridad. Primeras Jornadas sobre Arsenicismo Laboral y Ambiental. II Región, Chile, Antofagasta 1990 (89-105).
24. Reucher A.C., Carter MW, Mc Kee DW. "A Retrospective Epidemiological Study of Mortality at Large Western Copper Smelter". J. Ocup. Med. 19 (II) 1977.
25. Pinto S.S.; Enterline P.E.; Henderson V.; Varner M.O. "Mortality Experience in Relation to a Measured Arsenic Trioxide Exposure". Environmental Health Perspective, Vol. 127-130, 1977.
26. Enterline P.E., Marsh G.M. "Mortality among workers exposed to arsenic and other substances in a copper smelter". Am J. Epidemiol 116: 895-910, 1982.
27. World Health Organizaton, 1993. A guidelines for drinking water quality. Second Edition Vol. 1. Recommendations.
28. Sancha A.M., O'Ryan R., Pérez O. "The removal of arsenic from drinking water and associated costs, the chilean case". Assessing and Managing Health Risks from Drinking Water Contamination: Approaches and Applications Proceedings of the Santiago Symposium, September 1998. IAHS Publ. 2000.
29. Gallo R.H. "Estimación de las Emisiones actuales y futuras de Arsénico en las Fundiciones Chilenas, Soluciones propuestas para disminuirlas, Sus inversiones y Costos de Operación y las Emisiones que se esperan". Proyecto FONDEF/U. de Chile. Mayo 1997, Santiago, Chile.
30. Wiertz J., Rozas I. "Techmological Alternatives for the reduction of Arsenic emission in Chilean copper smelter". Clean Technology for the Mining Industry. Edited by University of Concepción, Concepción, Chile 1996 (pp. 289-297).
31. O'Ryan R., Díaz M. "Costo Efectividad de Políticas para Reducir la Contaminación por Sustancias Tóxicas: Estudio de Caso para Chile". Latin American Congress of the Econometric Society 1996.
32. Pedreros Q.R. "Arsenicismo en Chuquicamata". Primeras Jornadas sobre Arsenicismo Laboral y Ambiental. II Región, Chile. Antofagasta 1990 (107-121).
33. Sandoval O.H. "Límites de Tolerancia Biológica en Trabajadores Expuestos". Primera Jornada sobre Arsenicismo Laboral y Ambiental, II Región, Chile", Antofagasta, 1990 (75-82).
34. Santolaya R., Salazar L., Sandoval M., Santolaya R., Alfaro R. "Nuestra Experiencia en Residentes Permanentes de Altura: Calidad de la Aclimatación". Actas del II Simposio Internacioal de Estudios Altiplánicos, Universidad de Chile, 1997.
35. Casanegra P., Jalil, J., Braun S., Chamorro G., Saldias F., Rodríguez D., Morales M." Capacidad de ejercicio y actividad laboral en condiciones de hipoxia hipobárica intermitente". Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos, Universidad de Chile, 1997.