



**MINISTERIO DE AGRICULTURA
SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO
II REGIÓN - ANTOFAGASTA**

INFORME CONTAMINACIÓN RÍO LOA

PERÍODO MARZO 1997 – FEBRERO 2000

ANTOFAGASTA, MAYO 2000

**UNA APROXIMACIÓN AL ESTUDIO INTEGRAL DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO LOA,
II REGIÓN, CHILE. PERÍODO MARZO 1997 – FEBRERO 2000.**

AUTORES:

- Hugo A. Román Muñoz, Ingeniero en Acuicultura, Encargado Regional Subprograma de Protección de los Recursos Naturales Renovables, Servicio Agrícola y Ganadero II Región, Coquimbo # 842, Antofagasta. E – mail: hroman@sag.minagri.gob.cl
- Carlos Valdovinos Jeldes, Médico Veterinario, Jefe Subdepartamento de Gestión Ambiental, Encargado Nacional Proyecto Control de la Contaminación de Recursos Naturales Renovables, Departamento de Protección de los Recursos Naturales Renovables (DEPROREN) Servicio Agrícola y Ganadero, Av. Bulnes # 140, Santiago.

I. INTRODUCCIÓN

I.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

Para comprender de mejor manera el siguiente informe, y las particulares características del río Loa, primero es necesario hacer una breve descripción de la cuenca hidrográfica del río Loa, de su ecosistema, y de las actividades agropecuarias e industriales que se desarrollan en su entorno inmediato, para de esta manera tener una visión espacial y temporal que ayude a comprender mejor los alcances y conclusiones a las que se ha llegado.

La cuenca del río Loa cubre una superficie total de 29.700 km² aproximadamente, y se desarrolla entre los 21° 01' y 23° 50' de Latitud Sur, limita por el Oriente con las cuencas de los Salares de Carcote y Ascotán, y con Bolivia; por el Sur limita con las cuencas del Salar de Atacama y de la quebrada de Caracoles; al Norte limita con la Pampa del Tamarugal y con la cordillera de la Costa por el Oeste (Espejo, 1999).

La precipitación media de la cuenca varía debido a su gran extensión. En el sector bajo (más cercano a su desembocadura) es prácticamente nula hasta la altura de Quillagüa. Hacia el interior se observa un aumento llegando a 300 mm anuales en las partes altas, con una concentración de las precipitaciones entre los meses de Enero a Marzo en lo que se denomina "Invierno Altiplánico" o "Invierno Boliviano". Hay una tendencia creciente de las precipitaciones en el sentido oeste - este.

La temperatura media en la zona baja es del orden de 18 °C, que decrece hacia la zona alta alcanzando valores de 12, 9 y 2 °C en las estaciones de Calama, Caspana, y Linzor respectivamente. La variación de la temperatura presenta máximas de 21 °C en Coya Sur y 6 °C en Inacaliri, y mínimas de invierno de 14 °C y - 3 °C respectivamente.

La evaporación media en el sector del litoral es de 6 mm/día, aumentando hacia el interior observándose amplitudes mayores a la altura de Calama (10 mm/día), Conchi (5 mm/día) y San Pedro (7 mm/día). Hacia la parte más alta se observa un descenso de la evaporación (Espejo, 1999).

Además, se puede mencionar que el río Loa es el de mayor longitud del país, abarcando una distancia de más de 400 Km desde su nacimiento en la cordillera de los Andes en las vegas que rodean las faldas del Volcán Miño (Demetrio L., 1989), hasta llegar a su desembocadura en el Océano Pacífico, y cuyo tramo final posterior a Quillagüa demarca naturalmente el límite entre la II y la I Región.

En su largo recorrido, el río Loa recibe el aporte de aguas tanto superficiales como subterráneas. Los afluentes superficiales de mayor importancia comenzando desde la parte superior del río hacia aguas abajo son: el río San Pedro de Inacaliri que actualmente no alimenta al río Loa ya que su caudal es captado íntegramente antes de que llegue por CODELCO - Chuquicamata; posteriormente luego de pasar por el poblado de Chiu - Chiu se incorpora el río Salado que como su nombre sugiere posee características físico - químicas particulares debido a su origen geotermal en el campo geotérmico de El Tatio y otras fuentes termales; finalmente hacia el curso medio - inferior se incorpora el río San Salvador el cual también posee características singulares y que se origina subterráneamente en las cercanías de la autopista que une la ciudad de Calama con el complejo minero de Chuquicamata, este río desde su origen corre en forma paralela al río Loa hasta que se encuentran en el sector de Chacance o Coya Sur.

Con respecto a los aportes subterráneos, éstos se estiman de importancia debido principalmente a que a pesar de que las precipitaciones se manifiestan solo durante 3 meses en el año, el río Loa aunque con marcadas diferencias estacionales en su caudal presenta una corriente permanente que fluye durante todo el año debido a que la capa de agua pasa por zonas donde la superficie freática aflora. Al respecto CORFO-U. de Chile (1973), señala que los aportes subterráneos a lo largo de la cuenca del río Loa demuestran la enorme importancia de la regulación subterránea de la cuenca correspondiente, este es un hecho de marcada importancia como se verá más adelante. Limnológicamente, el río Loa podría ser considerado como un sistema léntico subterráneamente abastecido, ya que su escorrentía es lenta la mayor parte del año.

Con respecto a sus características ecosistémicas, se puede considerar que el río Loa es un verdadero corredor energético que atraviesa un ecosistema de desierto, donde la energía contenida en cada uno de los componentes del ecosistema fluye en forma cíclica desde los niveles inferiores hacia los niveles superiores de la cadena trófica. Este río sustenta una variada flora y fauna silvestre que utiliza a este curso de agua, que atraviesa uno de los desiertos más áridos del mundo, como hábitat de relevancia para sus actividades de reproducción y alimentación. Muchas de las especies de flora y fauna silvestres que habitan la cuenca del río Loa y su entorno se encuentran incluidas dentro de las especies que presentan problemas de conservación, a saber: La especie de cactácea *Copiapoa tocopillana* (**en peligro de extinción**), Algarrobo, Llaretá, Queñoa (**vulnerables**), Vicuña, Guanaco, Chinchilla, Vizcacha, Gato Colo - Colo, Puma, Bandurria de la puna, Sapo (**en peligro de extinción**), Halcón peregrino, Cóndor, Sapo espinoso (**vulnerables**), Pato gargantillo, Garza cuca, Gato montés andino, Lagartija de Walker, Lagartija de Paulina (**raras**), Zorro culpeo, Zorro chilla, Ratón chinchilla de cola corta, Ratón de la puna, Aguilucho de la puna (**inadecuadamente conocidas**) (CONAF, 1989 y 1996; Demetrio, 1989; D.S. N° 05/98). Además de las especies animales mencionadas anteriormente, se encuentran muchas otras que si bien no presentan problemas de conservación se encuentran protegidas por Ley debido a que presentan densidades poblacionales reducidas, a su importancia en la mantención del equilibrio del ecosistema y por ser beneficiosas para la actividad agropecuaria.

Demetrio (1989) hace una descripción de la biodiversidad asociada al río Loa entre los sectores de Yalquincha y “La Cascada” (entorno de la ciudad de Calama), señalando, con respecto a los recursos hidrobiológicos, que entre los peces que habitan el río Loa se encuentran: el Pejerrey chileno de agua dulce (*Basilichtys*), la trucha café y la trucha arco iris, estas dos últimas especies son introducidos, y las cuales según Demetrio se encuentran en Peligro de Extinción. Dentro de las especies de peces presentes en el río Loa también se puede encontrar al llamado “pez mosquito” (*Gambusia sp.*), la cual es una especie que fue introducida con el fin de controlar a los mosquitos. Una de las especies de invertebrados presentes en el río Loa que puede ser considerada de importancia comercial es el crustáceo *Cryphiops caementarius* (camarón de río), que según CONAMA (1997) puede ser encontrada en el tramo comprendido entre Quillagüa y la desembocadura donde existe uno de los mayores criaderos naturales para esta especie y que constituye una reserva genética fundamental de importancia para la futura implementación de cultivos. Con relación a la proporción que ocupan los distintos taxa en la comunidad sub acuática, Demetrio (1989) citando a Rojas (1980) señala que se puede decir que los invertebrados Crustáceos (familia Talitridae) ocupan un 80 % de la comunidad sub acuática y los Moluscos un 15 %, los vertebrados Anfibios ocupan un 3 % y los Peces un 2 %. Citando a Peña (1986) Demetrio señala que dentro de la clase Insectos se pueden apreciar los siguientes órdenes: Ortópteros, Odonatos, Himenópteros, Coleópteros, Lepidópteros, Hemípteros y Dípteros. En la gran variedad de especies se destacan los órdenes: Coleópteros, Himenópteros como abejas, avispas y abejorros, señalado además que la mayor cantidad de individuos por especies está en el Orden Dípteros, ya que en los atardeceres se pueden apreciar nubes de moscas y mosquitos. El mismo autor también señala que el total de aves clasificadas en el área estudiada por él fue de 69 especies, que corresponde al 15,72 % de las 439 especies de aves clasificadas a través del territorio nacional según Araya y Millie (1986).

La zona de la desembocadura del río Loa en el Océano Pacífico es una área de reclutamiento de diversas especies juveniles de vertebrados e invertebrados acuáticos, entre las cuales se encuentran peces pelágicos de importancia comercial en el sector marino y camarones de río en la zona estuarina. Al respecto, CONAMA (1997) señala que el sector marino de la desembocadura del río Loa es una de las principales áreas de desove de la zona norte de especies tales como anchovetas, sardina y al menos otras 20 especies de peces litorales tales como corvinas, lizas, pejerrey, sargo, corvinilla, pichilingue, etc. Aproximadamente a 10 km al norte de la desembocadura se encuentra la caleta de pescadores de Chipana.

El río Loa y sus afluentes a través de su largo curso también sustenta una serie de actividades agropecuarias en distintos puntos de su recorrido, es así como en la parte superior se encuentran los poblados de Lasana y Chiu - Chiu que principalmente se dedican al cultivo del maíz y tubérculos tales como zanahorias, betarragas, ajos y crianza de ganado bovino y camélidos domésticos como la Llama. A su vez el río Salado sustenta cierta actividad agropecuaria en el poblado de Ayquina donde se cultiva maíz y alfalfa.

Posteriormente en sector oriente, sur-oriente y sur-poniente de la ciudad de Calama las aguas del río Loa son utilizadas principalmente para el cultivo de plantas forrajeras como la alfalfa y vegetales para el consumo humano como el maíz, en tanto la actividad pecuaria se ve centrada en la crianza de ganado ovino, caprino, bovino y porcino. En la misma zona del oasis de Calama pero en el sector nor-poniente, el nacimiento del río San Salvador sustenta principalmente cultivos de maíz para el consumo humano y cultivos de plantas forrajeras como la alfalfa, además de alguna crianza de ganado ovino. Finalmente, aguas abajo a más de 200 Km de distancia desde Calama, el río Loa sustenta la actividad agropecuaria del poblado de Quillagüa en el cual se cultivan plantas forrajeras principalmente (alfalfa), algunos cultivos de maíz y crianza de ganado porcino, caprino, ovino y camélidos domésticos. Los productos agrícolas provenientes de estas localidades tienen distribución en el mercado regional, por lo que éstos se pueden encontrar en ferias y locales de venta de Antofagasta y Calama principalmente y demás ciudades de la II Región. Cabe señalar que si bien la importancia que representa para la economía regional la actividad agropecuaria que se desarrolla en el río Loa es baja, ésta actividad se encuentra estrechamente asociada al sistema de vida de comunidades indígenas ancestrales, que sin el recurso hídrico que les aporta el río Loa no podrían continuar subsistiendo como lo han hecho hasta ahora.

Además, a lo largo de la extensa cuenca del río Loa y en sus cercanías se ubican una serie de actividades industriales, principalmente relacionadas con la gran actividad minera metálica y no metálica que se desarrolla en la Región, las cuales en sentido este-oeste se enumeran a continuación: Minera El Abra, Minera Radomiro Tomic, Complejo Minero CODELCO-Chuquicamata, Planta de Abatimiento de Arsénico de ESSAN Cerro Topater Calama, Planta ENAEX de Calama, Planta Coya Sur de SOQUIMICH (SQM), Planta María Elena de SOQUIMICH (SQM). La mayoría de estas actividades utilizan las aguas del río para el beneficio de los minerales que ellas extraen a través de aducciones en distintos puntos del río Loa y sus afluentes, además algunas de estas actividades históricamente han vertido en forma directa residuos industriales al río Loa y otras lo estarían haciendo en forma indirecta, todas las cuales se detallarán más adelante.

Con respecto a las obras civiles de mayor envergadura construidas en el río Loa, se encuentra el puente Conchi de 104 m de altura con un largo de 204 m, el que sería según Demetrio L. (1989) el puente más alto de Chile, y además del embalse de mismo nombre en el mismo sector, el cual sirve para regular las aguas destinadas para riego y que da origen a un alargado espejo de agua. Aguas abajo, se encuentran los Tranques Santa Teresa, Santa Fe y el Tranque Sloman, éste último formado por un murallón de 35 metros de alto de piedra canteada y 47 m de coronamiento, que cierra el cajón del río Loa embalsando sus aguas, éste fue construido entre 1905 y 1911 por Henry B. Sloman para dotar de energía eléctrica a empresas salitreras de su propiedad. Con respecto al Tranque Sloman CONAMA (1997), señala que mediciones efectuadas en el mes de Abril de 1997 permitieron establecer en torno a la sección media del muro del tranque, una columna de agua de 6 metros, a partir de la cual se disponía un nivel continuo de lógamo, barro o lodo, indicando que la presencia de este material se debe a que la estructura no posee un dispositivo de

evacuación de fondo, dando como resultado la acumulación de material sedimentario fino que debe ser entendido como la sumatoria acumulada durante los 86 años de operación continua del tranque.

I.2. DESCRIPCIÓN DE LOS EVENTOS DE CONTAMINACIÓN Y LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL RÍO LOA

A fines del mes de enero y principios del mes de febrero del presente año 2000 se presentó un fenómeno en el río Loa de particulares características, el cual fue muy similar a la situación ocurrida en el mes de marzo de 1997 en el mismo cuerpo de agua y en el mismo sector amagado. Este fenómeno que se vio gatillado por las fuertes precipitaciones estivales del llamado “Invierno Altiplánico” que ocurren en el sector alto de la cuenca del Loa y en el sector altiplánico en general, se caracterizó por un aumento considerable del caudal del río y además presentar manifestaciones visuales y organolépticas muy notorias como el olor dulzón y penetrante de las aguas que en algunos sectores (Tranques Santa Fe y Sloman) se funde con olor a putrefacción, la coloración extremadamente oscura de las aguas (similar a té o coca-cola) y la presencia de espuma persistente y en gran cantidad sobre todo en los sectores en que el río presenta mayor agitación. Dicho fenómeno en esta última oportunidad (31 de enero - 01 de febrero de 2000) se comenzó a apreciar notoriamente algunos kilómetros aguas abajo de la junta de los ríos Loa y San Salvador (sector Chacance o Balneario Coya Sur), en el sector denominado “Balneario María Elena”, extendiéndose desde este sector por más de 150 kilómetros hasta la desembocadura del río Loa en el Océano Pacífico, e inclusive penetrando mar adentro. Una diferencia que marcó lo ocurrido en esta última oportunidad y el fenómeno de marzo de 1997, es que en esa oportunidad (1997), se pudo apreciar la muerte de gran cantidad de peces e invertebrados en el río, situación que este año no se evidenció. Es importante señalar además que en el mes de febrero de 1999 también se registró una crecida importante en el río Loa producto de las precipitaciones estivales, pero sin embargo en esa oportunidad no se apreciaron las manifestaciones visuales y organolépticas notorias en los sectores anteriormente descritos, pudiendo éstas apreciarse en el sector de Calama pero en menor magnitud.

Una de las principales zonas afectadas por este problema es el poblado de Quillagüa, ya que además de los contaminantes que puede traer consigo la crecida misma del río hay que añadir los contaminantes que se encuentran asentados en los sedimentos de los Tranques Santa Fe y Sloman, los cuales son removidos por la crecida y arrastrados aguas abajo hacia Quillagüa donde los habitantes de dicha localidad ocupan las aguas del río Loa para desarrollar la actividad agropecuaria que los mantiene, la cual se basa principalmente en el cultivo de plantas forrajeras y la crianza de ganado porcino, caprino, ovino y camélidos domésticos. Otra de las zonas afectadas es el sector de la desembocadura y el entorno del litoral del Océano Pacífico afectado por la mancha contaminante, donde se encuentran algunas caletas pesqueras dedicadas a la extracción de recursos hidrobiológicos para consumo humano, especialmente las ubicadas hacia el norte de la desembocadura ya que las corrientes marinas principales se dirigen hacia el norte transportando la contaminación en esa dirección, por lo que el problema afectaría directamente a la I y II Regiones del País. La zona de la desembocadura del río Loa además es una área de reclutamiento de especímenes juveniles de peces pelágicos de

importancia comercial e invertebrados como los camarones de río de la especie *Cryphiops caementarius*, por lo que la contaminación estaría afectando a la actividad económica pesquera artesanal e industrial que se beneficia con la extracción de estos recursos.

Las acciones que ha desarrollado el Servicio Agrícola y Ganadero II Región (SAG) para hacer frente a este problema han sido la inspección a los sectores amagados, la toma de muestras de aguas y sus posteriores análisis cuyos resultados forman parte del presente informe, y el monitoreo de algunos parámetros en terreno como pH, temperatura y Conductividad Eléctrica, lo que ha permitido tomar algunas acciones inmediatas de manera coordinada con la Secretaría Regional Ministerial de Agricultura II Región, tendentes a evitar que en el poblado de Quillagüa se utilice el agua contaminada para el consumo animal o para riego, e indirectamente para el consumo humano.

Es importante señalar que en cada una de las oportunidades que ha ocurrido la manifestación visual y organoléptica de la contaminación no se han encontrado pruebas visuales del vertido directo de sustancias contaminantes al río Loa, ya sea mediante una tubería que descargue al río o por otro medio visualmente detectable. La única tubería de descarga de residuos cercana a la zona amagada es la proveniente de las aguas servidas de la ciudad de Calama que descarga en la Quebrada de Quetena, que llega al río San Salvador y que a su vez alimenta al río Loa, pero a la cual no se le puede atribuir toda la responsabilidad de la contaminación debido a la magnitud que se evidencia en estos fenómenos. Frente a este escenario, se ha originado en cada una de las oportunidades que ha ocurrido la contaminación y desde que ésta se manifestó visualmente en marzo de 1997 una discusión sobre el origen de este fenómeno, al cual algunos grupos le han achacado un origen eminentemente natural y otros le confieren un origen antropogénico (acción directa o indirecta del Hombre). Al respecto, Camus y Hajek (1998) en su libro "Historia Ambiental de Chile" realizan un análisis de las circunstancias que rodearon al evento de contaminación ocurrido en el río Loa el año 1997, y en el cual describen la serie de opiniones que emitieron en dicha oportunidad las distintas autoridades, instituciones y empresas involucradas.

Según los antecedentes históricos este fenómeno con las características mencionadas, se habría comenzado a evidenciar solo a partir de los años 1977 y 1986, registrándose anteriormente a esta fecha grandes crecidas en el río Loa producto del "invierno altiplánico", pero sin presentar las características visuales y organolépticas detectadas. Antecedentes similares entregan los lugareños del sector de Quillagüa, los cuales indican que anterior al año 1997 las crecidas naturales de las aguas por el invierno boliviano inundaban grandes proporciones de terreno y removían sedimentos con furia, pero no se había visto algo de las características mencionadas (Camus y Hajek, 1998).

La hipótesis del origen natural de la contaminación (Arroyo et al. 1999), esta basada en el supuesto de que uno de los afluentes superficiales del río Loa, el río Salado, que tiene un origen geotermal, es la principal causa del problema debido a que sus aguas presentan altas concentraciones de metales pesados y también sería la fuente de la materia orgánica

que provocaría la eutrofización del sistema. Además, señala que debido a los nutrientes presentes en el río Loa se produciría un aumento de la productividad primaria del río, la que posteriormente sustentaría la producción secundaria saturando el sistema de materia orgánica natural y nutrientes, lo que causaría el rápido agotamiento del oxígeno disponible para la biota acuática del río en los eventos de crecida.

Por otro lado, la hipótesis de la contaminación debido a fuentes antropogénicas (origen debido a la actividad industrial realizada por el ser humano), se basa en pruebas analíticas del evento ocurrido en marzo de 1997, que revelaron la presencia de compuestos orgánicos xenobióticos (sustancias de síntesis producidas artificialmente por el Hombre), y el aumento considerable en las concentraciones de algunos metales pesados que fueron detectadas en el curso del río Loa, aguas abajo de Calama. Estas sustancias xenobióticas corresponden a xantatos y detergentes, cuyas concentraciones más altas se encontraron en muestras de agua provenientes de los Tranques Santa Fe y Sloman. El origen de los detergentes puede ser la actividad humana doméstica e industrial (minería metálica y no-metálica), en cambio el origen del xantato solo puede ser adjudicado a la actividad metalúrgica industrial, específicamente a la minería del cobre y del molibdeno. Sin embargo, a pesar de estas evidencias analíticas, no se ha podido detectar una fuente superficial, lo que sugiere que la vía de la contaminación sea probablemente difusa y sub-superficial, lo que se ve sustentado por el hecho de que el río Loa a lo largo de su recorrido recibe importantes aportes de origen subterráneo, los que podrían de alguna manera estar captando y arrastrando estos contaminantes desde sus lugares originales de depósito. Con respecto a esto, se debe señalar que la cuenca del río Loa en algunos sectores se encuentra rodeada de una serie de actividades industriales de gran envergadura, algunas de muy antigua data, aunque también se encuentran algunas actividades más recientes, lo que llevó a pensar que estas actividades podrían tener cierta responsabilidad en la contaminación sufrida por el río Loa.

Respecto a lo anterior, a continuación se entrega un listado de las fuentes usuarias y potencialmente contaminantes del río Loa identificadas por el SAG y que se encuentran en la cuenca del río Loa, cercanas a ella o que utilizan el río de alguna forma. Estas son informadas de acuerdo a su ubicación relativa en la cuenca del río Loa desde la parte superior hacia aguas abajo. Además, se informa para cada una de ellas su situación con respecto al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (S.E.I.A.) establecido por la Ley N° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente y el D.S. N° 30/1997 Reglamento del S.E.I.A.:

Minera El Abra: Es una Compañía Minera que explota a rajo abierto un mineral pórfido cuprífero (mineral oxidado) y que produce cátodos electrolíticos de cobre. El yacimiento fue puesto en marcha el año 1995-96 y se sometió voluntariamente al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental a través de la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental, por lo que presentaría sus residuos industriales manejados en sistemas ambientalmente evaluados y debidamente controlados por

todas las autoridades competentes. Sin embargo, el 15 de diciembre de 1996 presentó un derrame de ácido sulfúrico que llegó al río Loa debido al colapso de una pila de lixiviación. En esta oportunidad habrían escurrido 13.000 litros de solución de ácido sulfúrico y cobre disuelto que cayeron al río Loa en las cercanías del embalse Conchi (Camus y Hajek, 1998). Además, debido al consumo de las aguas contaminadas del río Loa, se produjo la mortalidad de 15 ejemplares de ganado bovino en el sector de Lasana, que murieron entre el 16 de diciembre de 1996 y el 07 de enero de 1997, encontrándose en muestras de tejido y fecas de estos animales elevadas concentraciones de sulfato y cobre (SAG, 1997).

Minera Radomiro Tomic: Compañía Minera que al igual que la anterior explota a rajo abierto un mineral oxidado produciendo cátodos electrolíticos de cobre. El yacimiento funciona desde el año 1998 y se sometió al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental a través de la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental, por lo que presenta sus residuos industriales manejados en sistemas ambientalmente evaluados y debidamente controlados por todas las autoridades competentes. El mineral de Radomiro Tomic es abastecido de agua a través de su empresa matriz CODELCO-Chuquicamata, la cual obtiene el recurso hídrico desde el río San Pedro de Inacaliri, que es uno de los afluentes superficiales del río Loa.

Complejo Minero Chuquicamata, de CODELCO: Compañía Minera que explota dos minas a rajo abierto, la Mina Sur donde se obtiene mineral oxidado, y la Mina Chuqui de donde se extrae mineral sulfurado. Este complejo minero produce concentrado de cobre, cátodos electrolíticos de cobre, ánodos electrolíticos de cobre o "blister", metal doré el cual contiene 98 % de plata y 1 % de oro, sulfuro de molibdeno, trióxido de molibdeno, además de elementos más exóticos como renio. Por otra parte, sabido es que la matriz de los minerales de cobre chilenos contienen una pequeña fracción de elementos radiactivos. El yacimiento se explota desde muy antigua data, incluso desde antes de la dominación Inca, pero desde el año 1915 bajo la responsabilidad de sus antiguos dueños, una empresa norteamericana, que implementó la producción de barras de cobre fino es que se da inicio a la explotación industrial del yacimiento, sin embargo desde el año 1971 debido a la nacionalización del cobre, este complejo minero pasa a ser completamente propiedad del Estado Chileno y es explotado bajo la responsabilidad de la empresa estatal CODELCO. En términos de volumen, la División Chuquicamata de CODELCO produce anualmente sobre 600.000 toneladas de cobre fino y subproductos como el molibdeno y metal doré. Debido a su antigüedad, ninguna de las actividades de explotación y procesos que se llevan a cabo en este complejo minero se ha sometido al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental establecido por la Ley N° 19.300 de 1994 y el D.S. N° 30/97 Reglamento del S.E.I.A. (solamente el lugar de disposición de residuos sólidos arsenicales denominado "Montecristio" fue en su oportunidad evaluado ambientalmente por parte del SAG debido al permiso de cambio de Uso de Suelo que este proyecto requería, pero tampoco se sometió al S.E.I.A. ya que data de antes del año 1994), por lo que el manejo y disposición de sus residuos industriales

líquidos no ha sido ambientalmente evaluado y debidamente controlado por todas las autoridades competentes. Al respecto, estos residuos industriales líquidos históricamente han sido y son actualmente dispuestos en dos tranques de relaves de grandes dimensiones, el **Tranque de Relaves de Talabre** y el **Tranque de El Indio**, los cuales originalmente eran lechos de salares naturales y que no corresponden a infraestructuras especialmente diseñadas y acondicionadas para dicho efecto de acuerdo a las consideraciones ambientales que actualmente se le exige a este tipo de depósitos con el fin de evitar y monitorear la contaminación de acuíferos subterráneos. Se tienen antecedentes de que el Tranque de Relaves de Talabre fue aprobado por el Servicio Nacional de Salud el año 1981 y por SERNAGEOMIN el año 1987 (CONAMA, 1997). Además, se debe mencionar las emanaciones gaseosas de SO_x , NO_x , As_2O_3 , etc., y de Material Particulado Sedimentable provenientes de las fuentes fijas de esta actividad minera, que permiten asumir el impacto de lluvia, nieve y niebla ácidas, fenómenos reconocidos globalmente en las áreas de influencia primaria y secundarias de los ecosistemas industriales mineros. El mineral de Chuquicamata obtiene el recurso hídrico necesario desde dos afluentes superficiales del río Loa, los cuales son el río San Pedro de Inacaliri y uno de los afluentes del río Salado.

Planta de Abatimiento de Arsénico de ESSAN S.A. de Cerro Topater, Calama:

Esta es una planta de tratamiento de agua potable para la ciudad de Calama, que obtiene el recurso hídrico necesario desde tres aducciones provenientes de la parte superior del río Loa y una aducción proveniente del mismo río Loa pero del sector "puente negro". Esta planta durante aproximadamente 19 años (1978-1997) vertió directamente en el río Loa, en caudales aproximados de $1044 \text{ m}^3/\text{día}$, lodos con una altísima concentración de arsénico de $21,7 \text{ g/m}^3$, provenientes del proceso de floculación del arsénico presente en el agua tratada con cloruro férrico. Estos lodos arsenicados además presentan concentraciones elevadas de hidróxido de hierro, arsénico (V) y arsénico (III) (Illanes, 1996). En la actualidad no existe claridad respecto de la efectividad de las obras realizadas por ESSAN con el fin de evitar esta situación, incluso en enero de este año SAG II Región cursó un Acta de Denuncia y Citación a esta empresa debido a la eliminación de efluentes al río Loa con altísimas concentraciones de Hierro, situación que aún se encuentra en proceso. Debido a su antigüedad ninguno de los procesos actualmente en funcionamiento se ha sometido al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Vertidos provenientes de los desechos líquidos domiciliarios (Aguas servidas) de la ciudad de Calama, en el sector de la Quebrada de Quetena, la cual desemboca en el Río San Salvador, afluente del Río Loa:

En este lugar son descargadas aguas servidas del orden de 270 l/s , no se tiene el dato exacto desde que año se encuentra operando en estas condiciones, pero lo más probable es que sea desde hace mucho tiempo. No se ha sometido al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Planta de Explosivos de ENAEX, ubicada a la salida de Calama hacia Antofagasta, sector Dupont: Esta planta se encuentra muy cercana al río Loa, pero se desconocen mayores antecedentes de ella así como su situación con respecto al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Planta de Boratos abandonada ubicada en el sector de Coya Sur - Crucero, cercana al Río Loa: Se desconocen mayores antecedentes de ella, solo que es de antigua data y que actualmente se encuentra abandonada, y por lo tanto no se ha sometido al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Plantas de Producción de Salitre Potásico de María Elena y Coya Sur de SOQUIMICH (SQM): Se encuentran ubicadas a aproximadamente 11 km del río Loa hacia el Oeste, y en una cota superior al río. Estas plantas se encuentran operando en forma industrial desde hace mucho tiempo, desde el año 1926 la planta de María Elena y desde 1954 la planta de Coya Sur, bajo la responsabilidad de sus antiguos dueños, una empresa norteamericana, y desde el año 1965 este complejo minero no-metálico pasa a ser propiedad de la empresa Sociedad Química y Minera de Chile, SOQUIMICH, por lo que actualmente es explotado bajo la responsabilidad de esta empresa, actualmente llamada SQM. Debido a su antigüedad, no todas las actividades de explotación y procesos que se llevan a cabo en este complejo minero se han sometido al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental establecido por la Ley N° 19.300 de 1994 y el D.S. N° 30/97 Reglamento del S.E.I.A., por lo que el manejo y disposición de sus residuos industriales líquidos no fue ambientalmente evaluado en su oportunidad y actualmente no existe claridad de que sean debidamente controlados por todas las autoridades competentes. Este complejo minero no-metálico obtiene el recurso hídrico necesario para sus procesos desde el río Loa, en las aducciones que posee en los sectores de Chacance y Balneario María Elena.

Laguna de disposición de desechos líquidos industriales (hidrocarburos), provenientes de la Planta de SOQUIMICH (SQM) de Coya Sur: Esta laguna se forma mediante un canal con residuos industriales líquidos, que provienen desde la Planta Industrial de producción de salitre potásico de Coya Sur de SQM y que se acumulan en el suelo desnudo formando una laguna de una extensión considerable. Se encuentra ubicada a aproximadamente 5 a 8 km del río Loa, en dirección hacia María Elena desde la ruta 5 y en una cota superior al río. Se desconocen mayor información acerca de su antigüedad así como tampoco existen antecedentes de que se haya sometido al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, siendo incluso ilegal (Resolución Servicio de Salud Antofagasta N° 5552 de 21.12.99), por lo que no fue ambientalmente evaluada ni construida con las especificaciones que actualmente se consideran para evitar la contaminación del suelo y de la napa freática. El SAG detectó su presencia en febrero del 2000, sin embargo por sus grandes dimensiones parece tener cierta antigüedad.

II. METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL ESTUDIO

Como ya se señaló anteriormente, el SAG desde marzo del año 1997 se abocó a la tarea de tomar muestras para así realizar los análisis químicos que fuesen necesarios para poder determinar el origen de la contaminación del río Loa. Dicha toma de muestras en un principio se dirigió solo hacia aquellos lugares donde las características visuales y organolépticas de la contaminación se manifestaban más dramáticamente. Posteriormente, se ideó un diseño experimental para la toma de muestras a través de un esquema de toda la cuenca del río Loa en el cual se consideraban las potenciales fuentes contaminantes del río, y así se determinó científicamente las estaciones de monitoreo que se debían mantener para la toma de muestras por lo menos tres veces al año en las distintas estaciones (verano, invierno y primavera), y de esta forma obtener una aproximación a la variabilidad físico-química espacio-temporal que presenta el río Loa anualmente, y su relación con respecto a las potenciales fuentes contaminantes.

Si la contaminación obedece a un fenómeno natural se esperaría encontrar una cierta reproducibilidad en los niveles de concentración de los analitos y parámetros relacionados con la composición menor y traza del agua del río, y la ausencia de compuestos xenobióticos en todas las estaciones de monitoreo, en cambio si esta obedece a la intervención antropogénica se esperaría encontrar una alteración de los analitos de la composición menor y traza del agua del río y la presencia de compuestos xenobióticos en aquellas estaciones de monitoreo que podrían estar recibiendo la influencia del impacto industrial. Debe tenerse presente que las áreas de impacto la conforman sitios primarios en el área inmediata de influencia de la actividad industrial, y sitios secundarios los cuales pueden encontrarse alejados a varios kilómetros de distancia desde el sitio primario. Si la vía de surgimiento o transporte de los contaminantes es sub-superficial, los sitios secundarios son de especial relevancia.

Las claves que se indican a continuación describen la ubicación de las estaciones de monitoreo en la cuenca hidrográfica del río Loa, río Salado, río San Salvador y algunos sectores aledaños (ver ubicación en mapa adjunto). Además, dicha ubicación fue georreferenciada mediante un Geoposisionador Satelital (GPS) marca GARMIN para gran parte de las estaciones de monitoreo, lo que permitió obtener las coordenadas UTM o geográficas y la altitud en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), información que se incluye en las tablas de resultados que se adjuntan.

RLL: Río Loa en Lasana, antes de la junta de los ríos Loa y Salado. Este punto sirve de control con respecto a la influencia que ejerce el río Salado aguas abajo.

RS: Río Salado, antes de la junta con el río Loa.

RLS: Río Loa después de la junta con el río Salado

Estos 3 puntos RLL, RS y RLS dentro de este diseño experimental, sirven como controles con respecto a la influencia del impacto industrial, que de existir debería reflejarse sobre las estaciones de monitoreo ubicadas aguas abajo de estos puntos.

VRL: Vertientes subterráneas que desembocan en el Río Loa frente al Tranque de Relaves de Talabre.

TT: Tranque de Talabre, relaves de CODELCO-Chuquicamata.

TIN 1: Tanque Salar El Indio, vertidos históricos y actuales de CODELCO-Chuquicamata. Muestras tomadas en laguna que se forma con canal que proviene desde Chuquicamata, probablemente con aguas servidas.

TIN 2: Tranque Salar El Indio. Muestras tomadas en lagunas ubicadas en el sector poniente del Salar, donde se encuentran vertidos históricos de CODELCO-Chuquicamata.

RLYA: Río Loa en sector de Yalquincha arriba

RLYB: Río Loa en sector de Yalquincha abajo, frente a la Planta de Tratamiento de Agua Potable de ESSAN, Cerro Topater - Calama.

RSSI: Inicio del Río San Salvador, antes de la junta con la Quebrada de Quetena.

ASQQ: Aguas Servidas de la Quebrada de Quetena, Calama, al llegar al río San Salvador.

RSSC: Río San Salvador en el sector de Coya Sur, antes de la junta con el río Loa.

RLC: Río Loa en Coya Sur, antes de la junta con el río San Salvador.

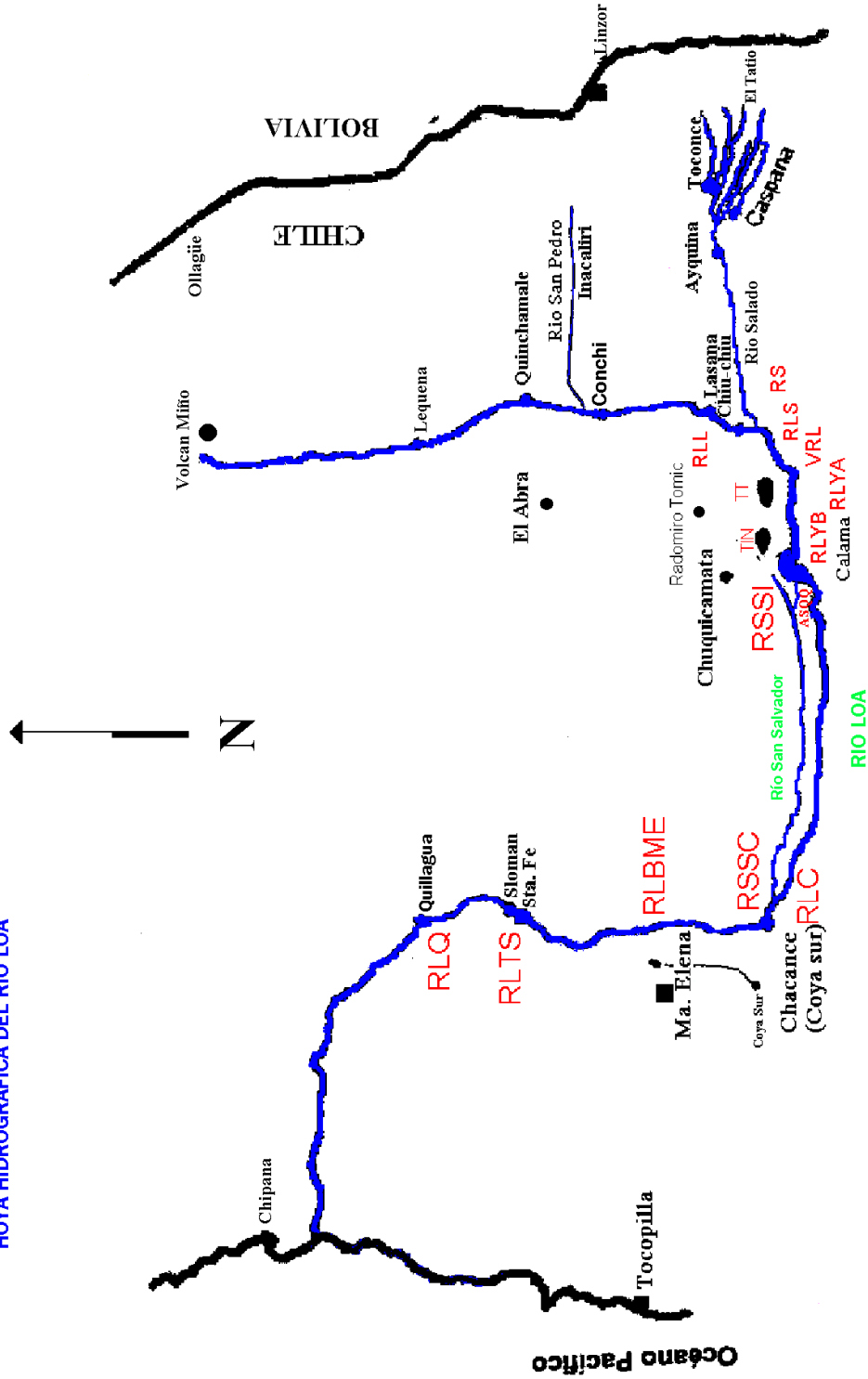
RLBME: Río Loa en el Balneario de María Elena.

RLTS: Río Loa en el Tranque Sloman.

RLQ: Río Loa en Quillagüa.

En la página 17 siguiente se muestra una figura de la cuenca del Río Loa con la ubicación relativa de las Estaciones de monitoreo anteriormente descritas. La ubicación exacta de estas estaciones de monitoreo en coordenadas UTM se señala en las tablas de resultados

HOYA HIDROGRAFICA DEL RIO LOA



La toma de muestras, su pretratamiento de preservación y sus análisis, para aquellos parámetros que corresponde, se realizaron de acuerdo a la metodología recomendada por la EPA (Environmental Protection Agency) y Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WPCF, 1985, 1992, para cada uno de los parámetros analizados. Las muestras siempre fueron colectadas empleando materiales apropiados y debidamente tratados, que contenían en aquellos casos en que los analitos y parámetros lo ameritaban, los reactivos de fijación recomendados según los procedimientos de la química analítica ambiental (Smith, 1995).

Los laboratorios que han participado en la realización de los análisis químicos de las muestras de aguas monitoreadas son los siguientes:

Laboratorio Aqua Calidad del Agua Ltda., Santiago.

MR Laboratorios Ltda. (MR-LAB), Servicios Químicos Generales, Santiago.

Laboratorio de Toxicología Ambiental perteneciente al Depto. de Laboratorios y Estación Cuarentenaria del Servicio Agrícola y Ganadero, Lo Aguirre-Santiago.

Laboratorio de Química Inorgánica, Bio-Inorgánica y Analítica Ambiental del Depto. de Química de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad de Antofagasta, Antofagasta.

La mayor parte de las muestras han sido analizadas por el laboratorio de la Universidad de Antofagasta debido a la existencia de un Convenio de trabajo entre SAG y esta Institución. Además, la capacidad de este laboratorio y su cercanía con los lugares donde se toman las muestras permite que los errores por manipulación e inadecuada preservación de las muestras sean mínimos.

Se debe tener presente que para los análisis químicos realizados a las muestras provenientes del monitoreo de Febrero del 2000, dadas las características de las aguas y antecedentes anteriores del evento ocurrido en marzo de 1997 y posteriores monitoreos, es claro que con el fin de obtener resultados ambientalmente representativos, los análisis deben realizarse sin micro-filtrar las muestras, a menos que se quiera tener sólo antecedentes de los analitos en la fracción disuelta, o que analíticamente sea estrictamente necesario de acuerdo al comportamiento en el medio del analito o representatividad del parámetro químico ambiental del caso.

TÉCNICAS Y METODOLOGÍAS ANALÍTICAS APLICADAS

Laboratorio de Química Inorgánica, Bio-Inorgánica y Analítica Ambiental del Depto. de Química de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad de Antofagasta, Antofagasta:

Na, K, Mg, Ca: Espectrofotometría de absorción atómica.

Conductividad: Conductimetría.

pH, Bicarbonato y Carbonato: Potenciometría indirecta con electrodo combinado de membrana de vidrio. Evaluación de Gran. Según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WPCF, 1985; 1992.

Oxígeno disuelto (potenciometría con electrodo selectivo); **Cloruro** (volumetría por precipitación); **Sulfato** (gravimetría); **Sólidos suspendidos** (gravimetría) y **Sólidos sedimentables** (sedimentación en cono de Imhof); **Sólidos volátiles; Aceites y grasas; Hidrocarburos; P reactivo; SAAM**, medidos según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WPCF, 1985; 1992.

N-Nitrito; N-Nitrato; N-Amoníaco; N-orgánico; N-total; Sulfuro; Cianuro, medidos según técnicas DR-4000 de Hach compatibles con EPA.

DBO₅: Potenciometría con electrodo selectivo e incubación de acuerdo a Standard Methods por 5 días.

DQO; Scavengers (Depuradores) de Oxígeno; COD; Tanino + Lignina; C. Fenólicos; CAC; Fosfonatos, medidos según técnicas DR-4000 de Hach compatibles con técnicas EPA.

Xantatos: Medidos de acuerdo a Xu, Y., Lay, J.P. and Korte, F., 1988. Fate and effects of xanthates in laboratory freshwater systems. Bull. Environmental Contamination Toxicology 41: 683-689. Se consideran optimizaciones realizadas en el laboratorio.

SAP, SAT, SCT: Medidos mediante potenciometría indirecta empleando como electrodo de trabajo un electrodo selectivo especial Orión 93-42.

Previo a aplicar las metodologías y técnicas de determinación de las concentraciones totales de metales y metaloides con comportamiento de metales pesados, las muestras fueron digestionadas por vía húmeda (ácido nítrico de calidad Omni Trace de EM Science) y a presión en bombas de Teflón, mediante un programa de temperatura implementado en un horno especialmente diseñado para dicho efecto.

Li: Espectrometría de emisión atómica con llama aire/acetileno.

Be, Sr, Ba, B, Si total y Si reactivo (en este último caso luego de pre-tratamiento según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WPCF, 1985; 1992): Espectrofotometría de absorción atómica con nebulización hidráulica de alta presión (HHPNAAS), con llama de óxido nitroso/acetileno.

Cr (VI): Espectrofotometría VIS, según técnica DR-4000 de Hach compatible con EPA.

Cr total, Mn, Fe, Co, Ni: Espectrofotometría de absorción atómica con nebulización hidráulica de alta presión (HHPNAAS) y navecilla atrapa átomos, con llama de aire/acetileno.

Cu, Zn: Espectrofotometría de absorción atómica con nebulización hidráulica de alta presión (HHPNAAS). Llama aire/acetileno.

Mo: Pre-concentración selectiva con APDC/MIBK y posterior medición mediante espectrofotometría de absorción atómica con nebulización hidráulica de alta presión (HHPNAAS), con llama de óxido nitroso/acetileno.

Cd, Pb: Espectrofotometría de absorción atómica con nebulización hidráulica de alta presión (HHPNAAS) y navecilla atrapa átomos, con llama de aire/acetileno.

Hg: Espectrofotometría de absorción atómica en el modo de generación de vapor frío (CVAAS).

Al: Pre-concentración selectiva con 8-hidroxiquinolina/MIBK y posterior medición mediante espectrofotometría de absorción atómica con nebulización hidráulica de alta presión (HHPNAAS), con llama óxido nitroso/acetileno.

As, Se, Sb: Espectrofotometría de absorción atómica en el modo de generación de hidruros continua (HGAAS) con Atomización electrotermal. Para **As** criterio de especiación de acuerdo a Stoeppler and Apel (Fresenius Z. Anal. Chem. 317: 226-227, 1984; Stoeppler et al. Mar. Chem. 18: 321-334, 1986; Abdullah et al. Mar. Pollut. Bull. 31:116-126, 1995).

Bi: Espectrofotometría de absorción atómica con nebulización hidráulica de alta presión (HHPNAAS) y navecilla atrapa átomos, con llama de aire/acetileno.

En los controles de la trazabilidad analítica este laboratorio empleó materiales de referencia proporcionados por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas del Canada, a saber, las matrices acuosas CASS-3; NASS-4; SLRS-3. En aquellos casos en que la matriz no posee concentración certificada o informada para el analito, se prepararon patrones secundarios con la matriz muestra correspondiente recurriendo a la metodología del estándar interno. En el caso de las determinaciones de metales pesados se aplicó la metodología de la adición múltiple de patrón. Según el caso, los blancos se prepararon con agua desionizada, agua de mar libre de elementos traza, y en otros se recurrió al denominado blanco doble adición.

MR Laboratorios Ltda. (MR-LAB), Servicios Químicos Generales, Santiago.

Compuestos orgánicos (Hidrocarburos, Isopropanol): Cromatografía líquida (HPLC), Cromatografía de gases y detector selectivo de masas, y resonancia magnética nuclear (NMR).

Arsénico, Hierro: Medidos según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, 1995, APHA, AWWA, WEF.

Laboratorio Aqua Calidad del Agua Ltda., Santiago.

DBO₅, DQO, Sólidos disueltos, Sólidos sedimentables, Sulfatos, Sulfuros, Cobre y Hierro: Medidos según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, 1995, APHA, AWWA, WEF.

Laboratorio de Toxicología Ambiental perteneciente al Depto. de Laboratorios y Estación Cuarentenaria del Servicio Agrícola y Ganadero, Lo Aguirre-Santiago.

Cu, Mn, Fe, Na, K, Ca, Mg: Espectrofotometría de absorción atómica.

Pb, Cd, Mo: Espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito.

Sulfatos: Turbidimetría.

III. RESULTADOS

En las tablas que se adjuntan se pueden apreciar los resultados de los análisis químicos obtenidos para cada una de las Estaciones de Monitoreo según la fecha de monitoreo y su comparación con la Norma Chilena 1333 de Bebida para Animales, Norma Chilena 1333 de Agua para Riego (INN-Chile, 1987) y la Norma Suiza de Criterios de Calidad de Agua de Corrientes Superficiales y Embalsadas de Ríos. Los valores señalados en color rojo para las tablas y los gráficos, representan la excedencia sobre cualquiera de las dos Normas Chilenas Oficiales citadas y que aplican para el caso en que las aguas del río Loa y sus afluentes son utilizadas como abrevaderos de animales, para el riego de cultivos agrícolas y para la vida acuática. La Norma Suiza se utiliza solo como una referencia internacional con la cual comparar los valores de los parámetros encontrados. Además, en cada una de las tablas se entrega la ubicación para cada estación de monitoreo en coordenadas UTM o en coordenadas geográficas y la altitud en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), la que puede ser complementada con el mapa que se adjunta.

Cabe hacer notar que los resultados ahora presentados son una completa recopilación y evaluación de todos los análisis químicos de las muestras de aguas tomadas en los monitoreos efectuados por el SAG II Región desde Marzo de 1997 a Febrero del 2000, lo que nos permite entregar un análisis acabado del problema, con énfasis en el último episodio ocurrido el verano recién pasado, y de las causas y efectos que este tiene y podría tener sobre los componentes del ecosistema que resultan afectados, además de hacerse extensivo a los efectos sobre la calidad de vida de los grupos humanos directamente afectados por la contaminación.

Si no se indica lo contrario debe entenderse que los análisis fueron realizados por el Laboratorio de Química Inorgánica, Bio-Inorgánica y Analítica Ambiental del Depto. de Química de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad de Antofagasta.

Referencias a parámetros indicados en las tablas:

C.E. = Conductividad Eléctrica

SDT = Sólidos Disueltos Totales

RAS = Razón de Adsorción de Sodio

DBO₅ = Demanda Bioquímica de Oxígeno.

DQO = Demanda Química de Oxígeno. Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO entre 1 a 5 ppm de consumo de oxígeno, las aguas con valores mayores a 10 ppm pueden considerarse como con algún grado de contaminación.

Depuradores de O₂: Informado como mg de DEHA consumidos por litro de agua. DEHA = dietilhidroxilamina es un depurador de oxígeno estándar.

Tanino + Lignina: Compuestos hidroxilados aromáticos totales informados como tanino y lignina, expresados como mg/l de ácido tánico.

C. Fenólicos: Compuestos fenólicos simples meta y orto sustituidos expresados como mg/l de fenol.

Aceites y Grasas: Aceites y grasas de origen animal y vegetal.

COD = Carbono Orgánico Disuelto

CAC = Compuestos de Amonio Cuaternario, expresados como mg/l equivalentes en bromuro de cetil-trimetilamonio.

Fosfonatos: Compuestos orgánicos de fósforo en que el P está directamente enlazado a un átomo de C del esqueleto carbonado, expresado como mg/l equivalentes en fosfato.

Xantatos: Isopropilxantato como estándar.

SAAM = Surfactantes Aniónicos Activos al Azul de Metileno

SAP = Surfactantes Aniónicos con esqueleto de Poliacrilato

SAT = Surfactantes Aniónicos Totales, no activos frente al azul de metileno y sin estructura de poliacrilato.

SCT = Surfactantes Catiónicos Totales

Se incluyen además gráficos de algunos de los parámetros medidos, correspondientes a los monitoreos realizados en el período Diciembre 1998 - Diciembre 1999 y el monitoreo realizado con ocasión de la contaminación ocurrida en Febrero 2000. Se debe señalar que en el período Diciembre 1998 - Diciembre 1999 no se presentó ningún evento de contaminación de la magnitud detectada en Marzo de 1997 y Febrero de 2000, a pesar de que en Febrero de 1999 se registró una crecida importante del río Loa, ésta no presentó las características visuales y organolépticas de las magnitudes detectadas el '97 y el 2000, por lo que este período se podría considerar como una situación "normal" del río.

En esta página van las tablas de resultados y los gráficos, archivos Excel: RIOL2.xls, GRAFRNR.xls y GRAFHUGO.xls.

[RIOL2.xls](#)

[GRAFRNR.xls](#)

[GRAFHUGO.xls](#)

IV. DISCUSIÓN

IV. 1. De la Presencia de Contaminantes en los Cuerpos de Agua:

Los valores obtenidos de las concentraciones de varios de los parámetros analizados en el período Diciembre 1998 - Diciembre 1999, revelan un aumento progresivo desde las estaciones ubicadas en el curso superior del río Loa (RLL y RLS) hacia las estaciones de monitoreo ubicadas en el curso inferior. La fuerza iónica del agua revelada por el parámetro **Conductividad Eléctrica (C.E.)** y que está determinada fundamentalmente por la composición mayor del cuerpo de agua, presenta un incremento sistemático entre las estaciones de monitoreo RLL y RLYA, manteniéndose relativamente constante hasta la estación RLYB, para después presentar un brusco incremento en la estación RLQ. Este padrón es recurrente entre diciembre de 1998 y diciembre de 1999, período en que no se registró un evento de la magnitud y las características de Marzo de 1997 y Febrero del 2000. Un comportamiento de este tipo no es normal para la composición mayor en agua de ríos, la cual debería presentar un comportamiento conservativo, ya que no se trata de substancias con comportamiento tipo nutriente ni de la composición menor ni traza. Por lo tanto, puede inferirse que estas alteraciones obedecen a fuentes de suministro que hacen que la composición mayor aparezca como no conservativa. Dichas fuentes de suministro como se puede observar en el gráfico de Conductividad Eléctrica, en un primer análisis podrían ser atribuidas a la influencia de los ríos Salado (RS) y San Salvador (RSSI), sin embargo para el caso del río Salado se puede ver claramente que la C.E. continúa incrementándose después del ingreso de este afluente al río Loa, situación que es parecida para el caso del río San Salvador.

Una situación similar se puede observar para algunos de los metales pesados y metaloides monitoreados en este período (diciembre 98 - diciembre 99), específicamente para el caso del **Arsénico, Molibdeno y Estroncio**, los cuales forman parte de la composición menor y traza del cuerpo de agua. El Arsénico y el Estroncio presentan incrementos importantes a partir de la estación RLS, lo que puede ser atribuido a la influencia del río Salado, pero en RLYA y RLYB se pueden observar nuevos incrementos en la concentración de estos analitos, para después disminuir un poco en RLQ para el caso del Arsénico y aumentar en RLQ en para el caso del Estroncio. Este aumento en los niveles de los parámetros anteriormente señalados podría ser un indicador de que otro afluente estaría ejerciendo su influencia sobre el río Loa, sin embargo entre las estaciones de monitoreo RLS y RLYB no existe ningún afluente superficial, por lo que solo cabría la posibilidad de que un afluente sub-superficial con una composición química diferente estaría alimentando al río Loa entre estas estaciones de monitoreo. Efectivamente, algunos kilómetros aguas abajo de RLS existen unas vertientes de origen subterráneo que desembocan en la ribera occidental del río Loa en un punto paralelo al Tranque de Relaves de Talabre de CODELCO-Chuquicamata, las cuales presentan un caudal de importancia y niveles de Conductividad Eléctrica superiores a los niveles que tiene el río Loa. Al respecto Niemayer,

1967 (En CORFO-U.de Chile, 1973), señala que el deterioro que presenta el río loa se debe a las recuperaciones que recibe el río en su recorrido, indicando que éstas recuperaciones corresponden a vertientes, casi siempre termales y/o de origen volcánico o a filtraciones no localizadas a través de estratos permeables al nivel del lecho actual. Continúa señalando que la más intensa y peligrosa contaminación de las aguas del Loa se encuentra entre la desembocadura del río Salado y Angostura, y entre Escorial y Terraza Municipal, donde los índices estudiados (C.E., Cloruros, Sodio, Boro y Arsénico) alcanzan cifras extremas. Además señala que el efecto del Río Salado no es de vital importancia en la contaminación frente a la contaminación que ocurre aguas abajo, indicando que en el sector de Calama se originan grandes contaminaciones que se estima provienen de los aportes subterráneos.

Otros metaloides que revelaron características de interés en el período diciembre 1998 - diciembre 1999 fueron el **Selenio y el Boro**. El selenio en este período reveló niveles relativamente homogéneos espacial y temporalmente, presentándose solamente en el monitoreo de diciembre de 1998 valores bastante altos para todos los puntos de monitoreo, sobrepasando incluso las normas. Sin embargo, en monitoreos realizados en junio y octubre de 1997 en el río San Salvador (RSSI) este elemento presenta valores extremadamente altos, llegando incluso a 1220 ppb en junio de 1997 sobrepasando ampliamente las normativas. En general para este elemento las concentraciones más elevadas se encuentran en el río San Salvador. Para el caso del Boro no se puede obtener una visión completa de su variabilidad espacio-temporal en el período diciembre 1998 - diciembre 1999 debido a que no se incluyó en todos los monitoreos, sin embargo en los monitoreos en que este analito fue incluido se pueden apreciar concentraciones bastante elevadas en Octubre de 1997 y Marzo de 1999 para el río San Salvador (RSSI y RSSC) y que sobrepasan ampliamente la norma.

Para el caso del **Arsénico y el Molibdeno**, los niveles de estos analitos se encuentran sobre las normas para prácticamente todas las estaciones de monitoreo, salvo en dos oportunidades para el Molibdeno. Para el **Estroncio** no existen normativas oficiales en Chile y tampoco se pudo encontrar normativas de referencia internacionales, pero se pueden considerar valores de referencia con los cuales se puede comparar las concentraciones encontradas. Al respecto, se pudo encontrar en una publicación española referencias que señalan concentraciones para Estroncio en agua de río del orden de 2,3 y 3,0 ppm o mg/l (MOPT-Ciemat-UNESA), por lo que de acuerdo a estas referencias los niveles encontrados estarían bastante elevados. También es importante señalar que una proporción de las concentraciones totales de estroncio medidas en este estudio podría presentarse en su forma radiactiva, por lo que debería profundizarse en el estudio de este parámetro.

Posteriormente para el evento de Febrero del 2000 con el fin de detectar otras sustancias contaminantes que pudieran estar siendo transportadas hacia el curso inferior del río Loa, se incluyó una serie de parámetros adicionales entre los cuales se encuentran varios metales pesados y metaloides, detectándose que los siguientes se encontraban en niveles bastante elevados y que sobrepasaban las normas y valores de referencia:

Manganeso en RLBME y RLQ; **Hierro** en RLC, RLBME y RLQ; **Litio** en RSSC y RLQ; **Cromo VI** en RLC, RLBME y RLQ; **Cobre, Bario, Cobalto, Cromo Total, Mercurio, Cadmio, Estroncio, Molibdeno, Arsénico y Boro** en RSSC, RLC, RLBME y RLQ.

El caso del **Manganeso, Hierro, Cobre y Mercurio** es interesante, ya que estos metales en el período Diciembre 1998 – Diciembre 1999 se encontraron, en mayor o menor medida, en concentraciones relativamente bajas, sin embargo en el monitoreo de Febrero 2000 sus concentraciones se elevaron considerablemente. En esta última oportunidad, el **Manganeso** aparece muy elevado en el sector de Quillagüa (RLQ), sobrepasando ampliamente las normas. El **Hierro** aparece elevado por el río Loa (RLC), no así por el San Salvador, alcanzando la concentración más elevada en Quillagüa (RLQ) donde sobrepasa la normativa para bebida de animales, sin embargo esta última no alcanza los niveles registradas en Marzo de 1997, donde llegó a 1,62 ppm. El **Cobre** si bien aparece sobre la norma de riego en todas las estaciones de monitoreo, sus niveles no son significativamente altos. El caso del **Mercurio** es particularmente especial, ya que en todos los monitoreos realizados con anterioridad a Febrero del 2000 había presentado valores muy bajos y con una cierta homogeneidad espacial y temporal, sin embargo en el monitoreo de Febrero de 2000 presentó concentraciones elevadísimas que sobrepasan cientos de veces las normas (1 ppb), llegando a valores extremos en Quillagüa (RLQ) donde se registraron 430 ppb.

Por otro lado, los metales y metaloides detectados con niveles altos en el período diciembre 1998 - diciembre 1999 **Estroncio, Molibdeno, Arsénico y Boro** también se encontraron en esta última oportunidad en concentraciones bastante elevadas sobre las normas y valores de referencia en todas las estaciones de monitoreo.

Los contaminantes de origen orgánico no fueron monitoreados durante el período diciembre 1998 - diciembre 1999, sin embargo debido a que durante el evento de marzo de 1997 se pudo detectar la presencia de Xantatos en el Tranque Sloman (RLTS), se decidió incluirlos en el monitoreo realizado al evento de Febrero del 2000, además de incluir otros orgánicos xenobióticos como los Hidrocarburos, Fosfonatos, SAAM, SAP, SAT, SCT, CAC, C. Fenólicos y el Isopropanol que es un compuesto de la degradación del xantato.

Los resultados arrojaron la presencia de **Xantatos** en el río San Salvador (RSSC) y en el río Loa (RLC) en concentraciones de 0,61 ppm y 0,52 ppm respectivamente, para después no ser detectado en las estaciones siguientes (RLBME y RLQ), sin embargo se pudo detectar **Isopropanol** en Quillagüa (RLQ) en una concentración de 0,8 ppm. Este compuesto (Isopropanol) también se pudo detectar en el Tranque de Relaves de Talabre (TT) y en el Tranque de Relaves de El Indio (TIN 2). Los **Fosfonatos** se pudieron detectar en todas las estaciones de monitoreo en que se analizó dicho contaminante y en concentraciones bastante elevadas, salvo para RSSC en que se detectó 0,8 ppm, en las demás estaciones las concentraciones de este contaminante aparecen bastante altas, alcanzando el máximo en Quillagüa con 29,1 ppm.

Con respecto a los **surfactantes xenobióticos (SAP, SAT, SCT)**, se pudo detectar su presencia en todas las estaciones de monitoreo y en niveles bastante elevados. Como se puede apreciar en las tablas, para todos estos contaminantes orgánicos no existen normas de calidad ambiental conocidas.

Con respecto a los **Surfactantes Activos al Azul de Metileno (SAAM)**, en el monitoreo realizado en diciembre de 1998 al efluente de las aguas servidas de Calama en el punto en que se encuentra con el río San Salvador (ASQQ), se pudo detectar su presencia en concentraciones bastante altas que superaban la normativa de bebida para animales, sin embargo en el monitoreo de febrero de 2000 solo pudo ser detectado en Quillagüa (RLQ) y en concentraciones por debajo de dicha normativa. Los detergentes, aunque de manera general, también fueron detectados en el evento de marzo de 1997 en el Tranque Sloman (RLTS).

Los **Hidrocarburos** revelan una presencia constante en todas las estaciones de monitoreo, la cual se mantiene relativamente homogénea hasta RLBME para posteriormente elevarse a 2,5 ppm en Quillagüa (RLQ). También se pudo detectar Hidrocarburos, aunque no cuantitativamente, en el Tranque Sloman (RLTS), en las vertientes que desembocan en el río Loa frente al Tranque de relaves de Talabre (VRL), en este mismo Tranque (TT) y en el Tranque de Relaves de El Indio (TIN 2). Con respecto a este tipo de sustancia la normativa nacional no es específica cuantitativamente. La normativa Suiza utilizada como referencia señala un máximo de 0,05 ppm, por lo que los niveles de hidrocarburos detectados se encuentran sobre esta norma en todas las estaciones cuantitativamente monitoreadas.

Los **Compuestos de Amonio Cuaternario (CAC)** aunque en concentraciones muy bajas fueron detectados en el río San Salvador (RSSC) y no se encontraron en RLC, sin embargo posteriormente presentan un enriquecimiento hacia las estaciones de monitoreo RLBME y RLQ. Para este tipo de sustancias no existe normativa nacional y tampoco se pudo encontrar normativas internacionales de referencia.

Con respecto a los **Compuestos Fenólicos**, se debe señalar que estos son compuestos orgánicos que pueden tener un origen natural debido a la descomposición de la materia orgánica, y un origen antropogénico, por lo que en este estudio los **compuestos fenólicos naturales están expresados como Taninos + ligninas**, y los **Compuestos Fenólicos de origen antropogénico se expresan como C. Fenólicos**. En el monitoreo realizado en diciembre de 1998 al efluente de las aguas servidas de Calama en el punto en que se encuentra con el río San Salvador (ASQQ), se pudo detectar la presencia de **Compuestos Fenólicos** en concentraciones bastante elevadas y que superaban ampliamente la normativa de bebida para animales, posteriormente en el monitoreo de febrero de 2000 estos compuestos pudieron ser detectados en las estaciones de monitoreo RLC y RLBME en concentraciones que superaban levemente la normativa de bebida para animales, para después experimentar un incremento sustancial en Quillagüa (RLQ)

superando ampliamente la norma anteriormente indicada.

Para el **Amoniac**, se puede observar que presenta un comportamiento similar a los SAAM, ya que en el monitoreo realizado en diciembre de 1998 al efluente de las aguas servidas de Calama en el punto en que se encuentra con el río San Salvador (ASQQ), se pudo detectar su presencia en concentraciones que superaban la normativa de bebida para animales. Sin embargo en el monitoreo de diciembre de 1998 en el río San Salvador (RSSI) se detectaron concentraciones por debajo de esta normativa al igual que en el monitoreo de febrero de 2000, oportunidad en que solamente en Quillagüa (RLQ) se detectaron concentraciones que superaban la norma.

IV. 2 Del Origen de los Contaminantes Detectados:

Con respecto al origen de los metales y metaloides que se detectaron en niveles elevados en todo el período de estudio Marzo 1997 - Febrero 2000, salvo para el **Cromo VI** que se detectó elevado solamente desde el río Loa, y el **Litio** que se detecta elevado solamente desde el río San Salvador, los demás metales y metaloides (**Estroncio, Molibdeno, Arsénico, Boro, Selenio, Manganeso, Hierro, Cobre, Bario, Cobalto, Cromo Total, Mercurio y Cadmio**) aunque con variaciones en las distintas fechas de monitoreo, se encuentran enriquecidos desde el río Loa y desde el río San Salvador. Al respecto, CORFO-U. de Chile (1973) señala que el río Loa presenta un empeoramiento progresivo de su calidad química, a lo largo de su recorrido, señalando que este deterioro estaría asociado directamente a la calidad de los aportes subterráneos y superficiales y no a la naturaleza de los materiales del lecho del río. Este supuesto nos llevaría a considerar, como ya se señaló anteriormente, la importancia de los aportes subterráneos, los cuales debido a las características hidrogeoquímicas de la zona podrían encontrarse enriquecidos naturalmente en algunos de los metales y metaloides detectados. Sin embargo estos aportes subterráneos también se podrían encontrar enriquecidos debido al contacto de estas fuentes con los sitios de depósitos de desechos presentes en la cuenca del río Loa. Bedient et al. (1994), realiza una categorización de las principales fuentes de contaminación de las aguas subterráneas, y en la cual incluye a la percolación sub-superficial proveniente de sumideros de aguas usadas (tranques de relaves) dentro de la Categoría I (Fuentes diseñadas para la descarga de sustancias), asimismo incluye a los confinamientos de superficie y las "colas" (relaves) de desechos dentro de la Categoría II (Fuentes diseñadas para almacenar, tratar y/o disponer sustancias), y al drenaje de las mineras dentro de la Categoría IV (Fuentes descargando como consecuencia de otras actividades planeadas). Con respecto a los contaminantes que serían susceptibles de ser transportados desde estas fuentes hacia las aguas subterráneas, el mismo autor señala a compuestos orgánicos e inorgánicos. Dentro de los inorgánicos señala a metales trazas como el Aluminio, **Arsénico, Bario, Berilio, Boro, Cadmio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Selenio, Estroncio** y Zinc, entre otros. Estos metales y metaloides se encuentran presentes en las matrices de los minerales que son tratados por la industria minera, y son susceptibles de encontrarse en elevadas

concentraciones en los residuos sólidos y líquidos que estas industrias depositan en los tranques de relaves (escorias y aguas de relaves). Estas concentraciones dependerán de la proporción en que estos metales se encuentren en las matrices minerales explotadas.

Además, se debe considerar como una fuente de contaminación para metales y metaloides, a los lodos arsenicados que desde 1978 a 1997 fueron evacuados, sin ningún tipo de tratamiento, al cauce del río Loa por la Planta de Abatimiento de Arsénico de ESSAN de Cerro Topater (CONAMA, 1997). Estos lodos presentan altas concentraciones de **Hidróxido de Hierro, Arsénico Total, Arsénico V y Arsénico III** (Illanes, 1996), estas dos últimas formas corresponden a **Arsénico Inorgánico**, considerado de elevada toxicidad. Al respecto, CONAMA (1997) señala que la carga contaminante de estos lodos, junto con el contenido natural de arsénico en el río, es transportada aguas abajo, depositándose y acumulándose en las zonas de remanso del río, donde el tiempo de retención es suficiente como para que se produzca la decantación y sedimentación de esta carga arsenical, verificándose esta situación principalmente en los embalses Santa Teresa, Santa Fe y Sloman. Con relación a esto, y como ya se había señalado anteriormente, en el mes de Enero de 2000 SAG tomó muestras de un efluente que descargaba esta Planta al río Loa y en cual se encontraron elevadas concentraciones de Hierro, situación que a la fecha aún no se encuentra completamente aclarada, por lo que no existe la seguridad de que la planta de ESSAN Cerro Topater desde el año 1997 haya implementado las medidas para evitar verter residuos al río Loa de manera definitiva, por lo que se sospecha que aún esté vertiéndolos en forma ocasional. En todo el período de monitoreo que abarcó este estudio, se puede observar una tendencia en que las concentración de Hierro más elevadas, y sobre las normas, principalmente se presentan en las estaciones de monitoreo del río Loa ubicadas al frente y aguas abajo de la Planta de ESSAN, además en el monitoreo de febrero 2000 se puede observar claramente que el Hierro en altas concentraciones ingresa desde el río Loa (RLC), en cambio en el río San Salvador se encuentra en niveles bajos. En la especiación realizada a las concentraciones de Arsénico en el monitoreo de Febrero del 2000, también se encontró Arsénico inorgánico en el río Loa (RLC), sin embargo éste también se presenta en una proporción importante en el río San Salvador (RSSC).

Con respecto a los contaminantes orgánicos, Hissner et al. (1999) señala a los **Alquil-xantatos y Fosfonatos** utilizados como colectores orgánicos en la flotación de metales desde los minerales crudos, como una fuente de contaminación medioambiental debido a la lixiviación o percolación de estas sustancias desde los depósitos de desechos hacia los ríos y las aguas subterráneas. El mismo autor señala además que los **Alquil-Xantatos**, categoría en que están incluidos los **etil, hexil e isopropil xantatos**, son especialmente utilizados para la flotación de minerales sulfurados, y que después de su utilización los materiales de deshecho incluyen grandes cantidades de estos colectores orgánicos que son depositados en tranques de relaves. Por su parte el **Isopropanol** es un compuesto proveniente de la degradación de los Xantatos.

Los **hidrocarburos** son utilizados como combustibles, lubricantes, solventes, extractantes, limpiadores y desengrasantes en las actividades industriales del más diverso tipo, los cuales si no se almacenan o disponen después de su uso debidamente infiltran fácilmente y llegan a las aguas subterráneas formando emulsiones. Al respecto Bedient et al. (1994) señala al grupo de los hidrocarburos aromáticos asociados a los combustibles de petróleo y lubricantes, dentro de los compuestos orgánicos más comúnmente encontrados en sitios de disposición de desechos en los Estados Unidos, y que debido a las infiltraciones que presentan se encuentran dentro de los más abundantes compuestos orgánicos encontrados en aguas subterráneas. En base a este análisis, y tomando en cuenta las altas concentraciones de hidrocarburos encontradas en el curso del río Loa especialmente en Quillagüa, no puede dejar de ignorarse el canal con residuos líquidos industriales que proviene de la Planta de SQM de Coya Sur y que cerca del camino hacia María Elena da forma a una laguna de aguas oleosas y sumamente viscosas, que es de una superficie considerable y que carece completamente de sistemas impermeabilizantes, siendo incluso ilegal (Resolución Servicio de Salud Antofagasta N° 5552 de 21.12.99). Bedient et al. (1994), refiriéndose a este tipo de lagunas de desechos que no cuentan con sistemas impermeabilizantes, señala que se ha encontrado que muchas de estas lagunas presentan infiltraciones y crean grandes zonas contaminadas en la sub-superficie. El mismo autor citando como ejemplo de la magnitud de la contaminación que puede provocar este tipo de fuentes, señala el caso de un Arsenal en las Montañas Rocosas cerca de Denver, E.E.U.U., en el cual se descargó gas nervioso y pesticidas dentro de una laguna de evaporación no impermeabilizada desde 1942 hasta 1956, y cuya contaminación fue recién detectada a principios de los años cincuenta cuando las cosechas irrigadas murieron y la contaminación de las aguas subterráneas se extendía sobre una región de 8 millas, estimando que la limpieza del suelo contaminado y las aguas subterráneas en esta área costará finalmente más de 1 billón de dólares.

Las sustancias surfactantes xenobióticas (**SAP, SAT, SCT**) son de amplia utilización en la industria minera ya sea como **espumantes**, dispersantes, floculantes o aglomerantes, y como se señaló anteriormente fueron encontradas en altas concentraciones en todas las estaciones de monitoreo de Febrero 2000, por lo no puede dejarse de notar la relación que existiría con la presencia de espuma, que al igual que estos compuestos fue observada, en mayor o menor grado, en todas las estaciones de monitoreo.

Con respecto a los surfactantes **SAAM**, estos son principalmente componentes de los detergentes de uso doméstico, lo que concuerda con los resultados que arrojan las mediciones realizadas en el efluente de aguas servidas de la ciudad de Calama, en que se encontraron niveles altos de estas sustancias. Sin embargo, a la luz de los resultados obtenidos en el monitoreo de Febrero de 2000 para este contaminante, el impacto que produciría esta fuente no sería significativo, ya que aguas abajo de ella en las estaciones RSSC, RLC y RLBME no fue posible detectarlo, apareciendo posteriormente en RLQ pero en concentraciones muy por debajo de la norma, lo que indicaría que la capacidad de dilución de los cuerpos de agua involucrados sería suficiente como para mantener este contaminante en concentraciones bajas.

Los **Compuestos fenólicos** también son ampliamente utilizados en la industria minera, bajo la forma de fenoles simples y complejos como los cresoles y taninos, los cuales pueden ser utilizados como surfactantes. Bedient et al. (1994), señala que la presencia de estos compuestos en las aguas subterráneas se debe principalmente a los desechos industriales o a los biocidas, indicando además que los fenoles son un contaminante común de las aguas subterráneas debido a sus variados usos industriales pero que también pueden presentarse naturalmente debido a la descomposición de la materia orgánica. Sin embargo, como se señaló anteriormente, en el presente estudio se tuvo el cuidado de analizar los compuestos fenólicos naturales, los cuales se expresan como Taninos + ligninas, expresándose los de origen antropogénico como C.Fenólicos. Estas sustancias, al igual que los SAAM, también se encontraron en niveles altos en el efluente de aguas servidas de la ciudad de Calama para posteriormente, aguas abajo y en el monitoreo de Febrero de 2000 (RSSC), encontrarse en concentraciones bajo la normativa, lo que sugiere que el impacto que produciría esta fuente, para este compuesto, no sería significativo. Sin embargo, en el mismo monitoreo en las estaciones correspondientes al río Loa (RLC, RLBME y RLQ), se puede observar un enriquecimiento de estos compuestos sobre la normativa, el que se hace progresivo hasta alcanzar las concentraciones más altas en Quillagüa.

Los **CAC** pueden provenir de la descomposición de sustancias llamadas poliacrilamidas como de la degradación de los surfactantes catiónicos (SCT), que como ya vimos anteriormente son ampliamente utilizados en la minería metálica como no metálica.

Del análisis anteriormente realizado, se puede observar que los contaminantes al entrar en contacto con el medio acuático son capaces de ser transportados y sufrir degradaciones que dan origen a otros compuestos. Vega (1985), señala que el contaminante que es incorporado al ambiente se dispersa en el medio correspondiente e interacciona con los elementos pertenecientes a él, se transporta a ciertas distancias dentro de ese medio y se transfiere hacia otros, indicando además, que en cualquiera de estos pasos el contaminante se puede transformar y degradar.

Como se puede ver, a pesar de que el SAG no ha tenido acceso a estudios hidrogeológicos, existen antecedentes suficientes como para pensar en la posibilidad real de que los grandes tranques de relaves del sector de Chuquicamata y la laguna de hidrocarburos del sector de Coya Sur estén infiltrando grandes cantidades de los residuos líquidos que en ellos se depositan y su carga contaminante hacia las aguas subterráneas, y que subsecuentemente estén llegando a las aguas del río Loa y a las aguas del río San Salvador. Esta situación se ve confirmada por las evidencias analíticas que revelan la presencia de compuestos orgánicos xenobióticos utilizados en las actividades industriales de la minería metálica y no-metálica (Hidrocarburos, Xantatos, Fosfonatos, SAP, SAT, SCT, CAC, C. Fenólicos) y sus compuestos de degradación (Isopropanol) en los cuerpos de agua estudiados.

También se debe señalar que los tranques de relaves presentan pérdidas de agua, y las tres causas por las cuales ocurren dichas pérdidas de agua son por Atrapamiento, Evaporación e Infiltración, es decir cualquier estructura de este tipo que no se encuentre debida y completamente impermeabilizada, va a presentar infiltraciones de los residuos industriales líquidos que contiene hacia la napa freática, y si estas napas alimentan cuerpos de agua superficiales como es el caso del río Loa y el río San Salvador, indudablemente transportarán la carga contaminante captada hacia los ríos. Al respecto CORFO-U. de Chile (1973), señala que las características y altas concentraciones químicas de río San Salvador en su nacimiento confirmarían la **existencia de significativos aportes subterráneos exógenos al sector de Calama**. Señala además que en la confluencia con el Loa en el sector de Chacance, este río aporta al Loa un gasto de 485 l/s sin variación estacional de importancia, aguas de calidad muy similar a las registradas en Quillagüa. Como ya se señaló anteriormente, el nacimiento del río San Salvador se ubica en las cercanías de la autopista que une la ciudad de Calama con el complejo minero de Chuquicamata, y hacia el este de la autopista y a algunos metros de ella se ubica el Tranque de Relaves de El Indio, el cual está emplazado en lo que originalmente era un Salar natural, en el cual durante décadas el complejo minero de Chuquicamata vertió diariamente grandes cantidades de residuos industriales hasta el año 1996 supuestamente (actualmente la totalidad o gran parte de los relaves estarían siendo depositados en el Tranque Talabre). En inspecciones realizadas por personal del SAG al Tranque de relaves de El Indio se ha podido observar que su estructura está formada por cuatro gigantescos pretilles que contienen salmueras de coloraciones que varían en tonalidad desde el amarillo al verde fosforescente y que contienen varias lagunas, una de las cuales se forma con un canal que proviene desde Chuquicamata y que probablemente trae aguas servidas. Además, se ha podido detectar escurrimientos superficiales desde este tranque en el sentido de la pendiente y que a pesar de los pretilles de contención con que se ha intentado detenerlos, llegan a escasos metros de la autopista que une Calama con Chuquicamata. Asimismo, en las tablas de resultados (TIN 1 y TIN 2), en que se monitorearon algunos parámetros solamente, se puede apreciar que las aguas contenidas en las lagunas de este tranque presentan altísimos niveles y concentraciones de **Conductividad Eléctrica, Sulfatos, Sodio, Potasio, Magnesio, Calcio, Manganeso, Molibdeno, Arsénico, Boro, Hierro, Cobre, Zinc, Selenio**, además de detectarse **Hidrocarburos e Isopropanol**, este último un compuesto proveniente de la degradación del xantato.

Por último, también es necesario considerar el impacto que provocan las fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos ubicadas en Chuquicamata sobre la cuenca superior del río Loa. Dentro de estas fuentes se incluye a las emisiones fumígenas de Anhídrido Sulfuroso (SO₂); Material Particulado Sedimentable; Arsénico y Azufre, provenientes de la fundición del complejo minero de Chuquicamata, y al material particulado sedimentable que es susceptible de ser levantado por el viento desde de los bordes secos del Tranque de Relaves de Talabre y de esta manera ser transportado hasta las riberas del río Loa. Al respecto Demetrio (1989), señala que los compuestos azufrados y arseniosos,

que salen en principio de los hornos de concentrado de cobre, por las chimeneas de Chuquicamata, se trasladan en espesas nubes de humo hasta llegar a la cortina cordillerana, donde están los nacimientos del río Loa y las tomas de agua potable. Señala además que este “humo viajero” llegaría incluso hasta Argentina, Bolivia y Brasil, y en parte se queda formando, componiendo y contaminando las nieves del cordón cordillerano de los Andes, para luego deslizarse desde las cumbres al licuarse y derretirse las nieves que componen dicho cordón y luego tomar rumbo al Océano Pacífico, a través de los torrentes del río Loa. En general, estos contaminantes fumígenos son depositados en el suelo y en los vegetales siendo absorbidos por estos últimos, y los compuestos azufrados al entrar en contacto con la humedad ambiental en sus diversas formas (niebla, rocío, lluvia, nieve, humedad de los organismos vivos, etc.), forma soluciones ácidas que provocan daños muy característicos en los vegetales que llegan a ser crónicos en los ambientes expuestos por largos períodos de tiempo. Además la hidrólisis ácida que ocurre a nivel celular en los vegetales producto de esta lluvia ácida provoca la liberación de metabolitos al ambiente. Con respecto a los metales contenidos en las emisiones atmosféricas, Vega (1985) señala que éstos en la atmósfera se transportan, movilizan y finalmente se depositan sobre el agua, los suelos y la biota terrestre. En estudios realizados por Eisenreich y Strachan (1992; En Chang, 1996) y Chang y Page (1996; En Chang, 1996), se ha demostrado el ingreso de metales pesados tales como el Plomo, Mercurio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Níquel, y Zinc por depositación atmosférica en cuerpos de agua marinos y continentales, llegando incluso a representar tanto como el 50 % de los niveles totales encontrados.

Para obtener una aproximación del impacto generado por estas fuentes, se puede señalar los volúmenes de emisión de contaminantes informados por CODELCO – Chuquicamata en los Informes de Abril de 2000 con respecto a los D.S. N° 165/99 de emisiones de Arsénico y D.S. N° 132, de emisiones de Azufre, los cuales indican una emisión mensual de Arsénico del orden de 20 toneladas (según balance metalúrgico) y 55 toneladas (según factores de emisión), y una emisión mensual de Azufre de 8.473 toneladas y una emisión acumulada anual de azufre de 34.239 toneladas (según balance metalúrgico). El SAG además realiza un monitoreo de Material Particulado Sedimentable en la zona agrícola de Lasana, y en el cual, de los parámetros analizados, se puede encontrar una importante proporción de Azufre, Arsénico y Cobre principalmente. A la luz de estos antecedentes, se puede concluir que incluso las estaciones de monitoreo utilizadas como control en este estudio (RLL, RS y RLS) tendrían cierto nivel de impacto de origen antropogénico, ya que las concentraciones de algunos de los parámetros monitoreados (metales pesados y metaloides principalmente) se encontrarían en parte enriquecidas con los contaminantes provenientes de estas fuentes de contaminación atmosféricas, sin embargo se requiere realizar estudios más exhaustivos para cuantificar su incidencia de manera precisa.

Las crecidas que experimenta el río Loa en los meses de verano producto de las lluvias estivales del “Invierno Altiplánico”, no harían más que gatillar la manifestación visual y organoléptica de la contaminación, la que para el caso de algunos de los metales y metaloides sería constante a lo largo del año aunque con claras diferencias de magnitud en

las concentraciones durante las crecidas. En el ámbito mundial también existen casos en que las lluvias han provocado efectos similares, Fernícola (1983; En Vega, 1985) cita el caso de Love Canal, Nueva York, Estados Unidos, en que una compañía electroquímica obtuvo, en 1942, permiso para depositar sus desechos en el canal y enterró en él una cantidad de desechos superior a 21.000 toneladas. Veinticinco años más tarde, el agua proveniente de la lluvia y de la nieve fundida penetró en ese depósito y dispersó las sustancias químicas que contenía. Se observó entonces que un líquido negro, de aspecto oleoso y olor aromático salía de ese lugar e invadía las casas que habían sido construidas en las zonas adyacentes. Los residentes atribuyeron a ese líquido enfermedades y muertes.

Los resultados encontrados permitirían descartar definitivamente la hipótesis del origen natural de la contaminación (Arroyo et al., 1999). Ya que si bien, durante las crecidas del río Loa se deben haber arrastrado ciertos niveles de materia orgánica de origen natural y sedimentos depositados en el lecho del río Loa y sus afluentes, esta hipótesis no entrega evidencias cuantificables que confirmen que la descomposición de estos materiales sea capaz de provocar los efectos observados. Además, los procesos descritos en dicha hipótesis como causantes de la contaminación son procesos naturales que ocurren en cualquier sistema acuático que sustente vida, y carece de las evidencias analíticas que demuestren la incidencia del río Salado en el aumento de las concentraciones de metales pesados, nutrientes y materia orgánica natural sobre el río Loa. Además, dicha hipótesis se basa principalmente en una revisión bibliográfica en que se compara el fenómeno ocurrido en el río Loa con la descomposición bacteriana que ocurre en las “aguas negras” que producen las grandes ciudades, es decir fundamenta la tesis de un origen natural al deducir similitudes entre lo ocurrido en el Loa y los procesos que ocurren en aguas en las que evidentemente el origen de su contaminación es antropogénico como es el caso de los residuos líquidos domiciliarios o “aguas negras”. Esta hipótesis además no considera en lo absoluto la utilización del río Loa y sus afluentes por parte de las actividades industriales presentes en la cuenca del río Loa, que como se ha señalado histórica y actualmente lo han utilizado como fuente de recursos hídricos así como para depositar residuos industriales y domiciliarios. Por otro lado, en el presente estudio, y particularmente en el monitoreo de Febrero de 2000, se confirma la presencia de compuestos orgánicos xenobióticos en distintos puntos del curso del río Loa, y además se confirma la marcada alteración de los analitos pertenecientes a la composición menor y traza (metales trazas) y también la alteración de la composición mayor, incluso en los períodos considerados “normales” a lo largo de todo el curso del río.

IV. 3. Del Efecto de los Contaminantes Detectados sobre el Ecosistema y la Calidad de Vida de los Grupos Humanos Afectados:

En este capítulo, de acuerdo a los contaminantes encontrados y a las características visuales y organolépticas observadas durante los eventos de contaminación estival, se tratara de dar una explicación a los impactos detectados sobre la biota acuática y una aproximación acerca de la magnitud del daño causado. Asimismo, teniendo presente la utilización de las aguas contaminadas del río Loa por la actividad agropecuaria y el ingreso de estas aguas al Océano Pacífico, se entrega un análisis de los efectos que podrían presentar los distintos contaminantes encontrados sobre los componentes de estos ecosistemas y sobre los grupos humanos involucrados.

Con respecto a la biodegradabilidad de los contaminantes presentes en el curso del río Loa, se debe tener presente la razón entre los valores de DBO_5 y la DQO, ya que esa relación nos entregará un índice de la biodegradabilidad de las materias contaminantes. Un valor de $DBO_5/DQO < 0,20$ se interpreta como correspondiente a aguas residuales que contienen principalmente desechos inorgánicos y/o orgánicos difícilmente biodegradables, y si es $>$ que 0,6 se considera como una masa de agua contaminada con desechos predominantemente orgánicos biodegradables (Rigola, 1989), por lo que un índice DBO_5/DQO con valores entre 0,2 y 0,6 correspondería a una mezcla de estos dos tipos de desechos. De acuerdo a las orientaciones que entrega este índice, la contaminación que afecta al río Loa correspondería a una provocada principalmente por desechos inorgánicos y orgánicos difícilmente biodegradables, ya que salvo algunos valores de este índice entre 0,2 – 0,6 en el río San Salvador (Dic-99 RSSI y Feb-00 RSSC), superiores a 0,6 en el mismo río pero después del ingreso del efluente de las aguas servidas de la ciudad de Calama (Mar-97 RSSC), y cercano a 0,6 en un punto del río Loa (Feb-00 en RLBME), en prácticamente todas las estaciones de monitoreo para todas las fechas de muestreo los valores que alcanza este índice son muy bajos ($<$ a 0,20). Estos contaminantes inorgánicos y orgánicos difícilmente biodegradables corresponderían a los metales pesados y a los compuestos orgánicos xenobióticos detectados.

Para el caso de los metales y metaloides encontrados en altas concentraciones, solo se discutirán los más relevantes desde el punto de vista ecotoxicológico sobre los cuales se ha encontrado información, y aquellos que están presentes en el ecosistema acuático del Loa en concentraciones significativas sobre las normas y valores de referencia. Pero en general, se puede decir que los metales disueltos en el medio acuoso son fácilmente absorbidos por la biota acuática, es decir tienen una alta biodisponibilidad en este medio (Vega, 1985), por lo que su ingreso en las cadenas tróficas resulta en una bioacumulación de estos contaminantes y una biomagnificación en los componentes superiores de las tramas alimentarias, pudiendo posteriormente monitorear su presencia en los tejidos biológicos de los organismos vivos expuestos a la contaminación. Chang y Page (1996; En Chang, 1996), a través de expresiones matemáticas demuestran la relación existente entre el suelo y la salud Humana, que relacionan los elementos trazas presentes en el suelo a la contaminación presente en los vegetales que posteriormente son consumidos por el ser

humano, señalando que si los suelos cultivados están contaminados con metales, la ingesta en la dieta humana de los elementos traza se incrementará. Por estas razones es que es muy importante la calidad del agua con que se riegan los cultivos agrícolas destinados para consumo animal (forraje) y consumo humano, ya que entendiendo al ser humano como el último eslabón en esa cadena alimentaria, este será el depositario final de las sustancias contaminantes. Esto último es de particular relevancia para el caso motivo de este estudio, ya que se deben considerar los distintos sectores agrícolas que son irrigados con las aguas del río Loa y el enriquecimiento en varios metales y metaloides que estos sectores estarían presentando a lo largo de todo el año.

Para analizar el efecto que pueden tener los distintos metales y metaloides, que el presente estudio ha encontrado en elevadas concentraciones, sobre los diversos componentes del ecosistema, primero se debe considerar que algunos de ellos resultan esenciales para la vida vegetal y animal como es el caso del **Hierro, Cobre, Molibdeno, Selenio, Manganeso, Cobalto y Cromo (Cromo III)**. Sin embargo en concentraciones excesivas como las encontradas en este estudio constituyen una amenaza para la salud del medio ambiente y del ser humano pasando a ser considerados como contaminantes, por lo que su incorporación en el cuerpo de agua y luego a los alimentos y a las cadenas tróficas que culminan en el consumo humano, reviste una peligrosidad importante de considerar en los grupos humanos que consumen los productos agropecuarios y recursos hidrobiológicos impactados por las aguas contaminadas del río Loa.

El resto de los metales y metaloides que se encontraron enriquecidos **Estroncio, Arsénico, Boro, Bario, Litio, Cromo VI y Mercurio**, no poseen ningún rol esencial conocido a la fecha (la esenciabilidad está determinada por las metaloproteínas de un organismo), por lo que su presencia en el medio ambiente aunque en niveles considerados bajos resulta perjudicial para los componentes del ecosistema, llegando algunos incluso a presentar una alta toxicidad.

Con respecto al **Cadmio**, también encontrado en altos niveles, su rol esencial es discutible, sin embargo Gerhardsson y Skerfving (1996; En Chang, 1996) señalan que es un elemento esencial ya que está bien establecido que une los grupos sulfhidrilos de las proteínas, no obstante el exceso debido a la ingesta de alimentos o agua conteniendo altas cantidades de Cadmio (mg) puede causar agudos desordenes abdominales, siendo el riñón un órgano crítico a exposiciones prolongadas de Cadmio. Además produce efectos genotóxicos en una variedad de tipos de células eucariotas, incluyendo las humanas. En humanos es considerado carcinogénico. Por su parte, Vega (1985) señala que algunos alimentos pueden acumular cadmio, por ejemplo, granos como trigo y arroz, vísceras como hígado y riñón, y mariscos.

La exposición al **Manganeso** provoca el desarrollo de síntomas neurológicos, cambios de conducta, un estado de debilidad general y problemas respiratorios. Vega (1985), señala que la sintomatología de la intoxicación crónica severa por manganeso se puede dividir en manifestaciones psicológicas y cambios neurológicos, presentándose en

los últimos estados de la intoxicación un síndrome similar a la enfermedad de Parkinson.

Con respecto al **Arsénico**, se puede señalar que exposiciones sub-letales y crónicas afectan el tracto digestivo, sistema circulatorio, piel, hígado, riñones, sistema nervioso y el corazón. También se han probado experimentalmente efectos teratogénicos. Estudios recientes sugieren que el **Arsénico inorgánico**, también encontrado en altas concentraciones en el presente estudio, puede inducir la amplificación de los genes en células de mamíferos y puede posiblemente afectar las etapas tardías de la carcinogénesis. Estudios realizados en humanos en Taiwan, Sudamérica, India y México reportan una asociación entre la ingesta de arsénico en el agua y el desarrollo de cáncer a la piel, además de desordenes relacionados (Fan, 1996; En Chang, 1996).

Gerhardsson y Skerfving (1996; En Chang, 1996), señalan que la “degasificación” de la corteza terrestre es una de las principales fuentes naturales de la contaminación ambiental con **Mercurio**. Sin embargo, también indican que la contaminación con mercurio metálico también es producida por las operaciones mineras, la combustión de combustibles fósiles y la refinería del oro. En los ambientes acuáticos el mercurio inorgánico es metilado a través de la acción microbiana o reacciones nonenzimáticas dentro del monometilmercurio, el cual luego se enriquece en la cadena trófica marina, por esta razón las exposiciones medioambientales al metilmercurio se originan del consumo de pescado y otros alimentos de origen marino provenientes de aguas contaminadas con mercurio. El sistema nervioso es un órgano crítico después de la exposición a metilmercurio, alterándose las funciones cerebrales que regulan los sentidos sobreviniendo estados de coma e incluso la muerte. El metilmercurio ha sido clasificado como un carcinógeno animal.

El **Cromo VI** (Cromo Hexavalente), puede causar irritaciones de las membranas mucosas y la piel, úlceras a la piel, perforaciones nasales y bronquitis crónica. También puede causar cáncer al pulmón (Gerhardsson y Skerfving, 1996; En Chang, 1996).

Con respecto al **Estroncio**, existen antecedentes que indican que se acumularía en los huesos debido a que reemplaza al calcio. Además, se debe considerar que el Estroncio medido en este estudio corresponde a las concentraciones totales, pudiendo una proporción de estas concentraciones corresponder a Estroncio en sus formas radiactivas.

A diferencia de lo ocurrido en el evento de marzo de 1997 en que se detectó gran cantidad de peces e invertebrados muertos, llegando a cuantificarse la muerte de aproximadamente 50.000 truchas salmonídeas en el Tranque Sloman (Camus y Hajek, 1998), en el evento de febrero del 2000 no se registró esta situación, lo que se puede explicar debido a que la población de estas especies acuáticas afectadas durante el año 1997 aún no se habría alcanzado a recuperar lo suficiente al año 2000 para hacer que este impacto fuese notorio, ya que debido a las bajísimas concentraciones de oxígeno disuelto detectadas en las estaciones de monitoreo RLBME y RLQ (0,2 y 0,23 ppm respectivamente) durante febrero del 2000 estas especies de haber existido no habrían sido capaces de sobrevivir, la norma indica un mínimo de 5 ppm para sustentar la vida

acuática. Al respecto, los lugareños del poblado de Quillagüa señalan que desde la contaminación del año 1997 no se han observado los camarones de río que eran tan característicos de ese lugar, y solo se pueden observar pequeños peces (*Gambusias*).

Esta disminución drástica en los niveles de oxígeno disuelto se correlaciona directamente con los compuestos orgánicos xenobióticos encontrados (Hidrocarburos, Xantatos, Fosfonatos, SAP, SAT, SCT), los cuales le confieren al agua un elevado carácter reductor. Estos compuestos al ser oxidados mediante los mecanismos bioquímicos en el seno del cuerpo de agua, requieren elevadas cantidades de oxígeno, por lo cual estos procesos recurrirán al oxígeno que se encuentra biodisponible en el agua y de esta manera el nivel de oxígeno desciende dando lugar a consecuencias muy adversas para la vida acuática que habita el cuerpo de agua. Por otra parte, estos compuestos orgánicos extraños para el ecosistema, pueden no experimentar biodegradación, o experimentarla parcialmente hasta agotar el oxígeno disponible, luego de lo cual se pueden generar artefactos químicos gaseosos, en disolución, poco solubles, e incluso formación de espumas, lo que explicaría el extraño olor y la presencia de gran cantidad de espuma detectados. Dichos compuestos disueltos o en suspensión también le conferirían la extraña coloración que se pudo observar en el agua de la zona amagada.

Los xantatos también se fijan a la celulosa de los vegetales (fitoplancton, macroalgas, herbáceos, etc.), produciendo la descomposición de la clorofila en pheo-pigmentos, los cuales también constituirían un factor responsable de la coloración característica del agua contaminada.

Las Fichas de Datos de Seguridad de los compuestos orgánicos xenobióticos detectados, revelan un desconocimiento preocupante con respecto a la información que entregan acerca del comportamiento de estas sustancias en el medio ambiente. Con respecto al Xantato se señala que no existe información disponible con respecto a su degradabilidad y bioacumulación, señalando además que son productos muy estables e insolubles en agua, entregando solamente resultados de ensayos de toxicidad aguda para especies acuáticas como peces, zooplancton y fitoplancton. Según estas fichas de seguridad, los Fosfonatos son utilizados como colectores en la flotación de minerales sulfurados de cobre, plata, plomo, etc., pudiendo ser empleados comúnmente en conjunto con los Xantatos, señalando además que debido a su corrosividad se recomienda su almacenamiento en tanques de acero recubiertos con membranas. Con respecto a los surfactantes, las fichas de seguridad señalan que no son fácilmente biodegradables, presentando algunos efectos sobre el ser humano ante exposiciones prolongadas.

También se debe considerar el impacto que causa la lluvia y neblina ácidas formadas producto de las emanaciones gaseosas del sector de Chuquicamata, que provocarían la hidrólisis ácida de los vegetales del curso superior del río Loa, los cuales durante las crecidas serían arrastrados hacia el curso inferior y producto de la hidrólisis liberarían metabolitos que actuarían como surfactantes naturales, los cuales sumados a la acción de los surfactantes xenobióticos encontrados serían la causa de la gran cantidad de

espuma que se puede observar.

La actividad de los microorganismos se modifica ante las sobrecargas minerales que se vierten en las aguas, apareciendo como en este caso fenómenos de eutroficación y disminución del oxígeno disuelto. Cada vez que se vierte a un curso de agua sales minerales (nitratos, nitritos, fosfatos, etc.) o materia orgánica (que correspondería al presente caso), pueden ocurrir dos cosas: que los ecosistemas asimilen el vertido, lo que se traducirá en un simple enriquecimiento de las biocenosis (comunidades), o que el vertido sea superior a la capacidad de asimilación de los ecosistemas, apareciendo entonces perturbaciones de todo tipo, sobre todo fenómenos de eutroficación, pues disminuye la fotosíntesis y la producción de oxígeno así como el aprovechamiento por los organismos del río de las sales vertidas. Por las características, perturbaciones y las evidencias analíticas encontradas en la contaminación del río Loa, indudablemente que en este caso estaría ocurriendo lo segundo, es decir los vertidos que se están incorporando subterráneamente al río Loa y los que se incorporaron superficialmente, excederían la capacidad que posee el ecosistema para asimilarlos. Las alteraciones más inmediatas que se pueden vislumbrar ante esta contaminación en el ecosistema acuático del Loa es un cambio en la biocenosis en el sentido de limitar el número de especies (biodiversidad) de todo tipo, incluso en lo que se refiere a las poblaciones de protistas. Otro de los impactos que se pueden inferir de esta contaminación con materia orgánica xenobiótica es que debido a la turbidez que se genera se facilitaría por una parte la protección de los gérmenes patógenos y por otra su multiplicación debido a que se rompe la barrera ecológica que impone la superficie del agua y que inicialmente servía de escudo a todo proceso de reproducción patógena. Además, se debe considerar que parte de estas sustancias no son descompuestos e hidrolizados por los organismos acuáticos, acumulándose en fondos y riberas, por lo que los tranques Santa Fe y Sloman serían importantes sitios de acumulación de este tipo de contaminación, que ante las crecidas del río se volvería a suspender para luego ser arrastrada aguas abajo. Esto explicaría el hecho de que las concentraciones más altas encontradas para la gran mayoría de los contaminantes se encuentran en la estación de monitoreo correspondiente a Quillagüa (RLQ).

Los compuestos fenólicos en general tienen agudos efectos toxicológicos en el sistema nervioso central y pueden resultar en muerte después de una corta exposición (Bedient et al., 1994).

En general, para cuantificar los efectos que los contaminantes encontrados estarían produciendo sobre las distintas especies de fauna silvestres que utilizan la cuenca del río Loa como hábitat de relevancia para sus actividades reproductivas y alimenticias, más que observar los efectos inmediatos sobre ellas se debe realizar una mayor cantidad de estudios tendientes a determinar como están respondiendo las poblaciones silvestres ante la contaminación en términos de largo plazo. Moriarty (1985), señala que los efectos de los polucionantes sobre las especies de vida silvestre deben ser considerados en términos ecológicos, de dinámica de poblaciones y de genética, mientras que las apreciaciones toxicológicas se toman algunas veces como medida adecuada final de los efectos.

V. CONCLUSIONES

La cuenca del río Loa se encuentra antropogénica y significativamente intervenida por una serie de actividades industriales que la utiliza de diversa forma.

De acuerdo a las sustancias contaminantes orgánicas xenobióticas encontradas en distintos puntos del curso del río Loa y a sus concentraciones, se puede concluir que el fenómeno obedece a una contaminación de origen antropogénico. La cual en su manifestación visual y organoléptica es gatillada por un fenómeno natural como lo es la crecida del río originada por las lluvias estivales del “Invierno Altiplánico”.

El deterioro progresivo del río desde su parte superior hacia aguas abajo es constante a lo largo del año, es decir no existen diferencias entre las crecidas y los periodos normales salvo en la magnitud de las concentraciones de los contaminantes inorgánicos, los que se elevan significativamente en los períodos de crecida.

Si bien el río Salado provoca una alteración en la composición química del río Loa, este no es la causa de la contaminación, ya que aguas más abajo de la junta de estos dos cuerpos de agua existen aportes subterráneos que hacen que la contaminación se manifieste claramente, alterando nuevamente la composición química del río Loa de manera significativa.

La estación de monitoreo RLQ, que representa a la localidad de Quillagüa, es la que presenta la peor calidad química tanto en períodos normales como en períodos de crecida, por lo que las aguas del río Loa en esa localidad no debieran utilizarse ni para bebida de animales ni para riego, pues se alejan demasiado de las normativas existentes para estos fines.

Es necesario realizar estudios científicos tendentes a determinar la bioacumulación, biomagnificación y los efectos sub-letales que podrían estar experimentando los vegetales y animales de las zonas amagadas por la contaminación, así como la población humana que por años se ha abastecido de agua y de los recursos agropecuarios que sustenta el río Loa.

De no tomar las acciones necesarias para frenar el continuo aporte de contaminantes hacia el río Loa y río San Salvador, se puede esperar que las manifestaciones visuales y organolépticas de la contaminación se sigan presentando cada cierto tiempo durante las crecidas estivales, así como la contaminación misma continuará su aporte constante a lo largo de todo el año.

Una de las acciones que se deberían tomar para tratar de resolver el problema del río Loa es realizar un manejo integrado de la cuenca, que incorpore a todas las

empresas involucradas que actualmente están utilizando la cuenca de alguna manera y a los organismos del Estado competentes bajo la orientación de especialistas en la materia.

Es necesario que todas las empresas involucradas entreguen la mayor cantidad de información acerca de la composición y los volúmenes de desechos que han dispuesto histórica y actualmente en los tranques de relaves y otros lugares de disposición de desechos que se encuentren cercanos o en la cuenca del río Loa.

Existe una serie de actividades industriales de gran envergadura insertas en la cuenca del río Loa, que debido a su antigüedad u otras razones no se han sometido al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, y en consecuencia no fueron ambientalmente evaluadas de la manera adecuada antes de ser ejecutadas y por ende no fueron construidas tomando en cuenta las consideraciones que actualmente se exige a este tipo de proyectos con el fin de evitar, controlar y monitorear la contaminación que son susceptibles de provocar sobre los acuíferos subterráneos y cuerpos de agua en general, lo que incide además en que actualmente no estén sujetas a un control adecuado de parte de todos los organismos del estado competentes en la materia. Además, algunas de estas actividades industriales utilizan el río Loa y sus afluentes de alguna forma, ya que por un lado algunas empresas histórica y actualmente extraen recursos hídricos en volúmenes considerables y otras han utilizado y utilizan la cuenca del río Loa como sitio de depósitos de residuos industriales y domiciliarios.

Los tranques Santa Fe y Sloman serían los receptores y acumuladores de toda la contaminación orgánica e inorgánica que constantemente está llegando al río Loa, lo que explicaría los altísimos valores que se registran en la localidad de Quillagüa para prácticamente todos los contaminantes que transporta el río desde su parte media.

VI. REFERENCIAS

APHA, AWWA, WPCF, 1992. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Ediciones Díaz de Santos S.A. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WPCF, 1985, 1992.

Araya, B. y Millie, G., 1986. "Guía de Campo de las Aves de Chile". Editorial Universitaria, Santiago - Chile.

Arroyo A., Alonso H., Vera L. y Ortega P., 1999. "Análisis de los Eventos Ocurridos en Río Loa Marzo de 1997", En: XIII Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS Chile, Antofagasta, Octubre de 1999.

Bedient Ph., Rifai H. & Newell Ch., 1994. "Ground Water Contamination. Transport and Remediation", Prentice Hall PTR. Chapter 4: Sources and Types of Ground Water Contamination.

Camus, P. y Hajek, E. R., 1998. Historia Ambiental de Chile. Depto. de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Chang, L. W. (Editor), 1996. Toxicology of Metals. Lewis Publishers, CRC Press, Inc.

CODELCO, División Chuquicamata. Informe Emisiones de Azufre de Abril de 2000, D.S. N° 132, Oficio DDGA N° 162/00.

CODELCO, División Chuquicamata. Informe Emisiones de Arsénico de Abril de 2000, D.S. N° 165/99, Oficio DDGA N° 160/00.

CONAF, 1989. Red Book of Chilean Terrestrial Flora (Part One). Ivan Benoit C. Editor.

CONAF, 1996. Libro Rojo de los Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica en Chile. Muñoz M., Núñez H., Yáñez J. Editores.

CONAMA, 1997. "Informe Episodio de Contaminación Río Loa Marzo 1997". Equipo multisectorial convocado por CONAMA para discutir y analizar los informes sectoriales relacionados con el episodio de contaminación ocurrido en el Río Loa en el mes de Marzo de 1997. Redacción y Edición: Sacha A.M., U. de Chile; Grass N. y Cordero E., CCHEN; y Cáceres M., CONAMA.

CONAMA. Normas de la Confederación Suiza para su Utilización dentro del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

CORFO-Universidad de Chile, 1973. "Estudio de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Loa", Depto. de Obras Civiles Universidad de Chile por Convenio con el Depto. de Recursos Hidráulicos Corporación de Fomento de la Producción.

Decreto Supremo N° 05 de Enero de 1998 del Ministerio de Agricultura, Reglamento de la Ley de Caza N° 19.473.

Demetrio L., 1989. "Estado Actual de las Aves Observadas en la Zona de Calama y Sectores Adyacentes del Río Loa", documento no publicado que se puede encontrar en la Biblioteca de la Unión de Ornitólogos de Chile (UNORCH).

Espejo R., 1999. Apuntes Curso "Ambiente y Naturaleza", Diplomado en "Gestión y Evaluación de Impacto Ambiental", Versión 1999, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Católica del Norte - Antofagasta.

Fichas de Datos de Seguridad SF-323 Isopropil Etil Tionocarbamato (Xantatos); AERO 6682 promotor Tionocarbamato (Xantatos); AERO 404, 407, 412 aqueous promotor (Fosfonatos); Espumantes para Flotación (Surfactantes).

Hissner F., Daus B., Mattusch J. y Heinig K., 1999. "Determination of flotation reagents used in tin-mining by capillary electrophoresis", En: Journal of Chromatography A, 853 (1999) 497-502. Elsevier Science B.V.

Illanes J., 1996. "Disposición Final de los Lodos Arsenicados Generados por las Plantas de Filtros Salar del Carmen y Cerro Topater", Tesis para optar al título de Ingeniero de Ejecución en Procesos Químicos, Depto. de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Católica del Norte - Antofagasta.

Instituto Nacional de Normalización INN-Chile, 1987. Norma Chilena Oficial 1333. Of 78 Modificada en 1987, "Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos".

Ley N° 19.300 de 1994 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, y D.S. N° 30 de 1997 Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Ministerio secretaría General de la Presidencia de La República.

MOPT (Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente) - Ciemat - UNESA. "Medida de Contaminantes Químicos Ambientales: Contaminantes Inorgánicos". Serie Ponencias.

Moriarty, F., 1985. Ecotoxicología, El Estudio de Contaminantes en Ecosistemas. Editorial Academia, S. L. León – España.

Rigola, M., 1989. "Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de proceso e industriales". Colección Productiva. Marcombo, Barcelona, España.

Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), 1997. Informe Relativo al Monitoreo del Área de Influencia de la Fuente Emisora: "Minera El Abra".

Servicio de Salud Antofagasta, Depto. de Programas sobre el Ambiente, 1999. Resolución N° 5552 de 21 de diciembre de 1999.

Smith, R.- K., 1995. Handbook of Environmental Analysis, 2nd Edition. Genius Publishing.

Vega, S., 1985. Evaluación Epidemiológica de Riesgos Causados por Agentes Químicos Ambientales. Vol. 2: Toxicología I "Cinética y Efectos de los Contaminantes Tóxicos del Ambiente"; Vol. 6: Toxicología III "Aspectos Específicos de la Toxicología de Algunos Contaminantes". Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud.

Xu Y., Lay J.P. and Korte F., 1988. Fate and effects of xanthates in laboratory freshwater systems. Bull. Environmental Contamination Toxicology 41: 683-689.