



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

**DOCUMENTO PRESENTADO AL III “ENCUENTRO DE LAS
AGUAS”, SANTIAGO, CHILE. 24-26 OCTUBRE 2001.**

REALIZADO POR:

**HUGO ROMÁN M.
CARLOS VALDOVINOS J.**

**DIRECCION GENERAL DE AGUAS
Centro de Información Recursos Hídricos
Área de Documentación**

2001

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

Hugo. Román M.* & Carlos Valdovinos J.**

*Subprograma de Protección de los Recursos Naturales Renovables, Servicio Agrícola y Ganadero II Región, Coquimbo # 842, Antofagasta. E – mail: hroman@sag.minagri.gob.cl;

**Subdepartamento de Gestión Ambiental, Departamento de Protección de los Recursos Naturales Renovables (DEPROREN) Servicio Agrícola y Ganadero, Av. Bulnes # 140, Santiago.

RESUMEN

En cuenca del río Loa, se desarrolla una variada flora y fauna, además, en su desembocadura existen condiciones ambientales que favorecen el desove de especies marinas de importancia comercial. Por otra parte, sustenta una amplia variedad de actividades agropecuarias e industriales. Desde el punto de vista ambiental, el río Loa ha sido afectado por episodios de contaminación que han alterado la calidad de sus aguas, poniendo en riesgo la sustentabilidad ambiental de este ecosistema y afectando las diversas actividades que se desarrollan en su cuenca. Con el objetivo de establecer la causa de estos episodios contaminación, el Servicio Agrícola Ganadero ha realizado durante y después de éstos, un monitoreo de las aguas del río Loa. De acuerdo a las agentes químicos encontrados en distintos puntos del curso del río Loa y a sus concentraciones, indican que el fenómeno correspondería a una contaminación de origen antropogénico. La cual es potenciada por un fenómeno natural como lo es la crecida del río originada por las lluvias estivales del invierno altiplánico.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Loa cubre una superficie total de 29.700 km² 01' y 23' aproximadamente, y se desarrolla entre los 21° 50' de Latitud Sur. El río Loa es el de mayor longitud del país, 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. En la cuenca del río Loa se desarrolla una variada flora y fauna silvestre. Muchas de las especies que habitan la cuenca del río Loa y su entorno se encuentran con problemas de conservación (i.e. , *Copiapoa tocopillana* (**en peligro de extinción**), Llareta, Queñoa (**vulnerables**), Vicuña, Guanaco, Chinchilla, Sapo (**en peligro de extinción**), Halcón peregrino, Cóndor, Sapo espinoso (**vulnerables**) (CONAF, 1989 y 1996; Demetrio, 1989; D.S. N°05/98). La fauna ictica está representada por el Pejerrey chileno de agua dulce (*Basilichtys*), la trucha café, la trucha arco iris y el pez mosquito (*Gambusia sp.*). Una de las especies en el río Loa considerada de importancia comercial es el crustáceo *Cryphiops caementarius* (camarón de río), que se encuentra 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 CONAMA (1997) . En relación a la avifauna, el 15,72 % de las 439 especies de aves clasificadas a través del territorio nacional se encuentran representadas en la cuenca del río Loa.

Especial relevancia, tiene la zona de la desembocadura del río Loa, la cual se caracteriza por ser un 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. 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 CONAMA (1997).

Por otra parte, en la cuenca del río Loa se desarrollan diversas actividades agropecuarias dedicadas al cultivo del maíz y tubérculos tales como zanahorias, betarragas, ajos y crianza de ganado bovino y camélidos domésticos como la Llama. Los productos agrícolas provenientes de las diferentes localidades ubicadas en la cuenca tienen distribución en el mercado regional. Esta actividad se encuentra estrechamente asociada al sistema de vida de comunidades indígenas. La principal actividad industrial de la cuenca es la minera. La mayoría de éstas utilizan las aguas del río Loa en sus procesos y algunas industrias descargan sus residuos líquidos directa e indirectamente al río Loa.

Existen diversos embalses en el curso del río Loa , entre los que destaca el embalse Chonchi, el cual regula las aguas destinadas para riego en la zona. Además, 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. 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 légamo, 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.

Desde el punto de vista ambiental, el río Loa ha sido afectado por episodios de contaminación que han alterado las características fisicoquímicas de sus aguas (Arroyo et al , 1999). Estos episodios ocurrieron en Marzo de 1997 y febrero del 2000. El fenómeno coincidió con el llamado invierno Altiplánico y se caracterizó por un aumento considerable del caudal del río. El episodio del año 2000, se comenzó a observar notoriamente algunos kilómetros aguas abajo de la junta de los ríos Loa y San Salvador, 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. A diferencia del fenómeno de 1997, en año 2000, no se registró muerte de peces e invertebrados en el río. Estos fenómenos afectaron significativamente las actividades agropecuarias que se desarrollan en la cuenca del río Loa, anteriormente descritas. También fue afectada la zona costera adyacente a la

desembocadura del río Loa, en la que se desarrolla una importante extracción de recursos marinos gran parte destinado al consumo humano.

Hasta la fecha no se establecido una relación directa entre estos episodios y el vertido directo de elementos contaminantes al río Loa. Entre las hipótesis que se postulan que explicarían éstos fenómenos es que se trataría de episodios de origen natural y otra le confieren un origen antropogénico. Según los antecedentes históricos este fenómeno con las características mencionadas, se habría comenzado a evidenciar sólo 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 alterar las características naturales de sus aguas. Antecedentes similares entregan los lugareños del sector de Quillagüa (Camus y Hajek, 1998). La hipótesis del origen natural de la contaminación (Arroyo et al. 1999), esta basada en 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 de origen humano, se basa a que en el evento ocurrido en marzo de 1997, revelaron la presencia de compuestos orgánicos xenobióticos (sustancias de síntesis producidas artificialmente), 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 sólo puede ser adjudicado a la actividad metalúrgica industrial, específicamente a la minería del cobre y del molibdeno. Sin embargo, a pesar de estas evidencias, no se ha detectado la fuente de contaminación superficial, sugiriéndose que contaminación es de tipo difusa y sub-superficial, al respecto 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.

Dada a la importancia de este ecosistema del río Loa, a la gran variedad de actividades agropecuarias e industriales que se desarrollan en su cuenca y a los episodios de contaminación de las aguas del río Loa que ponen en riesgo la sustentabilidad ambiental de este ecosistema, se propuso como objetivos de este estudio, determinar el origen de la contaminación del río Loa ocurridos en 1997 y 2000, y determinar las variaciones espaciales y temporales de dicha contaminación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el estudio, se establecieron estaciones de muestreos en diferentes sectores del río Loa y sus afluentes principales tomando en consideración las diferentes actividades que se desarrollan en su cuenca. Los muestreos fueron estacionales (verano, invierno y primavera). En la figura 1, se indican las estaciones de muestreo en la cuenca del río Loa. En cada estación se midieron los siguientes parámetros físico-químicos: pH, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, sólidos volátiles, aceites y grasas, hidrocarburos, SAAM, DBO, DQO, COD, Na, K, Mg, Ca, bicarbonato, carbonato, cloruros, N-Nitrito; N-Nitrato; N-Amoníaco; N-orgánico; N-total; Sulfuro; Cianuro, Tanino + Lignina; C. Fenólicos; CAC; Fosfonatos, SAP, SAT, SCT, Li, Be, Sr, Ba, B, Si total y Si reactivo, Cr (VI): Cr total, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Pb, Hg, Al, As, Se, Sb, Bi. La toma de muestras y los procedimientos analíticos se realizaron de acuerdo a las normas propuestas 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. Los análisis fueron realizados en los siguientes laboratorios: 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.

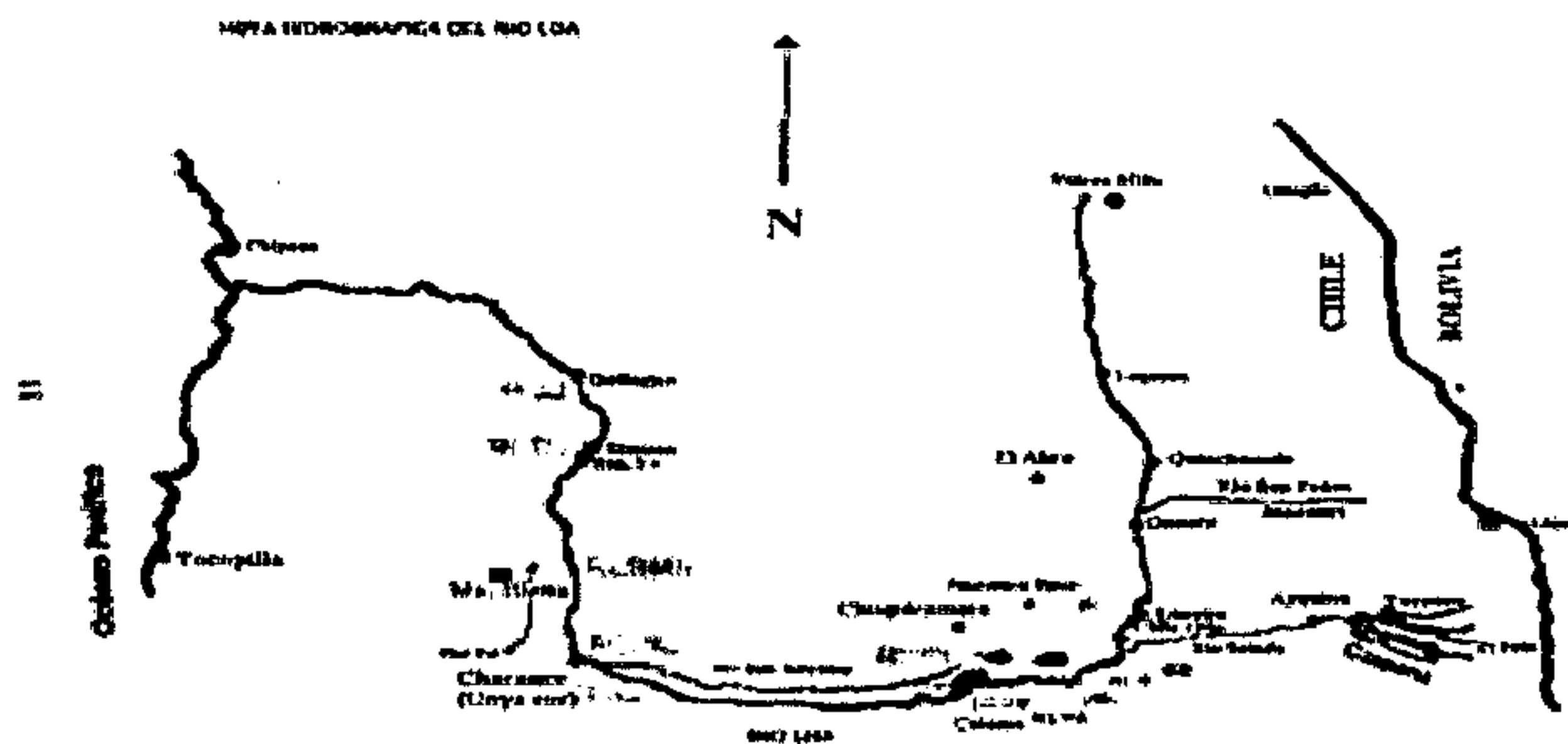


Fig. 1.- Area de estudio y ubicación estaciones de muestreo

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.;LQ: Río Loa en Quillagüa.

RESULTADOS

Las concentraciones de los agentes químicos determinados en el período (dic. 1998-dic. 1999) mostraron un incremento en las estaciones ubicadas en el curso inferior respecto a las estaciones del sector medio y alto del río Loa. Este patrón fue observado en el caso del arsénico, molibdeno y estroncio (Fig. 3,4,5,7). El arsénico y el estroncio presentan incrementos importantes a partir de la estación RLS. Para el caso del arsénico y el molibdeno, las concentraciones determinadas se estuvieron sobre las normas para prácticamente todas las estaciones de monitoreo, salvo en dos oportunidades para el molibdeno. El caso del hierro y mercurio es interesante, ya que estos metales en el período Diciembre 1998 – Diciembre 1999 se encontraron en concentraciones relativamente bajas, sin embargo en el monitoreo de Febrero 2000 sus concentraciones se elevaron considerablemente (Fig. 2, 6). En esta última oportunidad, el manganeso aparece muy elevado en el sector de Quillagüa (RLQ), sobrepasando ampliamente las normas. El hierro (Fig. 6) aparece elevado en el río Loa (RLC), no así por el San Salvador, alcanzando la concentración más altas 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 estuvo sobre la norma de riego en todas las estaciones de monitoreo,. 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 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** también se encontraron en esta última oportunidad en concentraciones altas respecto a las normas y valores de referencia en todas las estaciones de monitoreo.

Los resultados detectó 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 detectó

isopropanol en Quillagüa (RLQ) en una concentración de 0,8 ppm (Fig. 10). Este compuesto (Isopropanol) también se detectó en el Tranque de Relaves de Talabre (TT) y en el Tranque de Relaves de El Indio (TIN 2). Los fosfonatos se detectaron en todas las estaciones de monitoreo en donde se analizó dicho contaminante y en concentraciones altas, excepto para RSSC en donde se detectó 0,8 ppm, en las otras estaciones las concentraciones de este contaminante fueron altas, alcanzando el máximo en Quillagüa con 29,1 ppm.

Con respecto a los surfactantes xenobióticos (SAP, SAT), en febrero del 2000 se detectó su presencia en todas las estaciones de monitoreo (Fig. 8,9) . 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 donde se encuentra con el río San Salvador (ASQQ), se detectó su presencia en concentraciones altas que superaban la normativa de bebida para animales, sin embargo en el monitoreo de febrero de 2000 sólo se detectó en Quillagüa (RLQ) y en concentraciones que no excedían la normativa (Fig. 11) .

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 (Fig. 5), 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

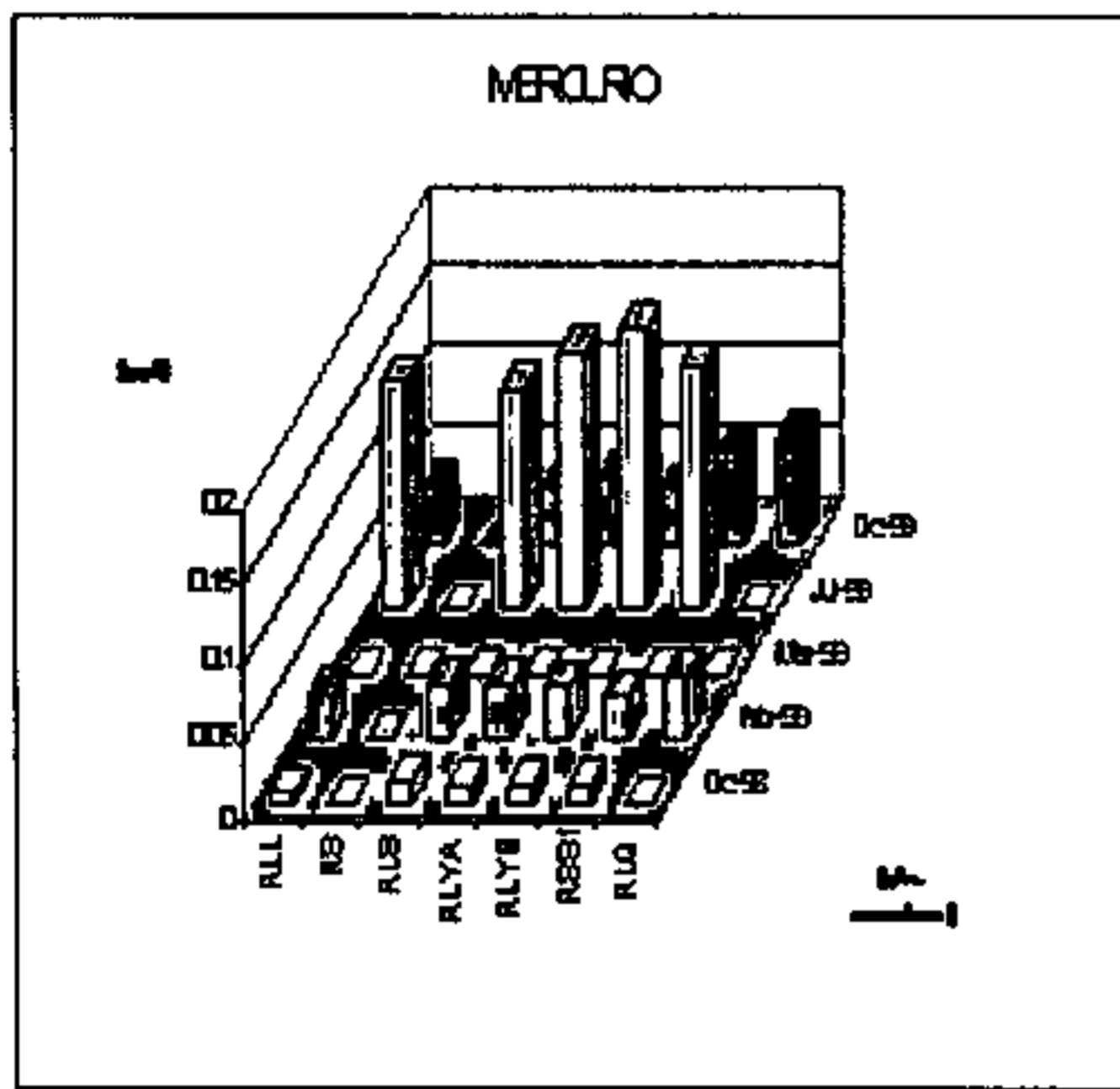


Fig. 2.- Variación espacial y temporal de las concentraciones de Hg en aguas del río Loa.

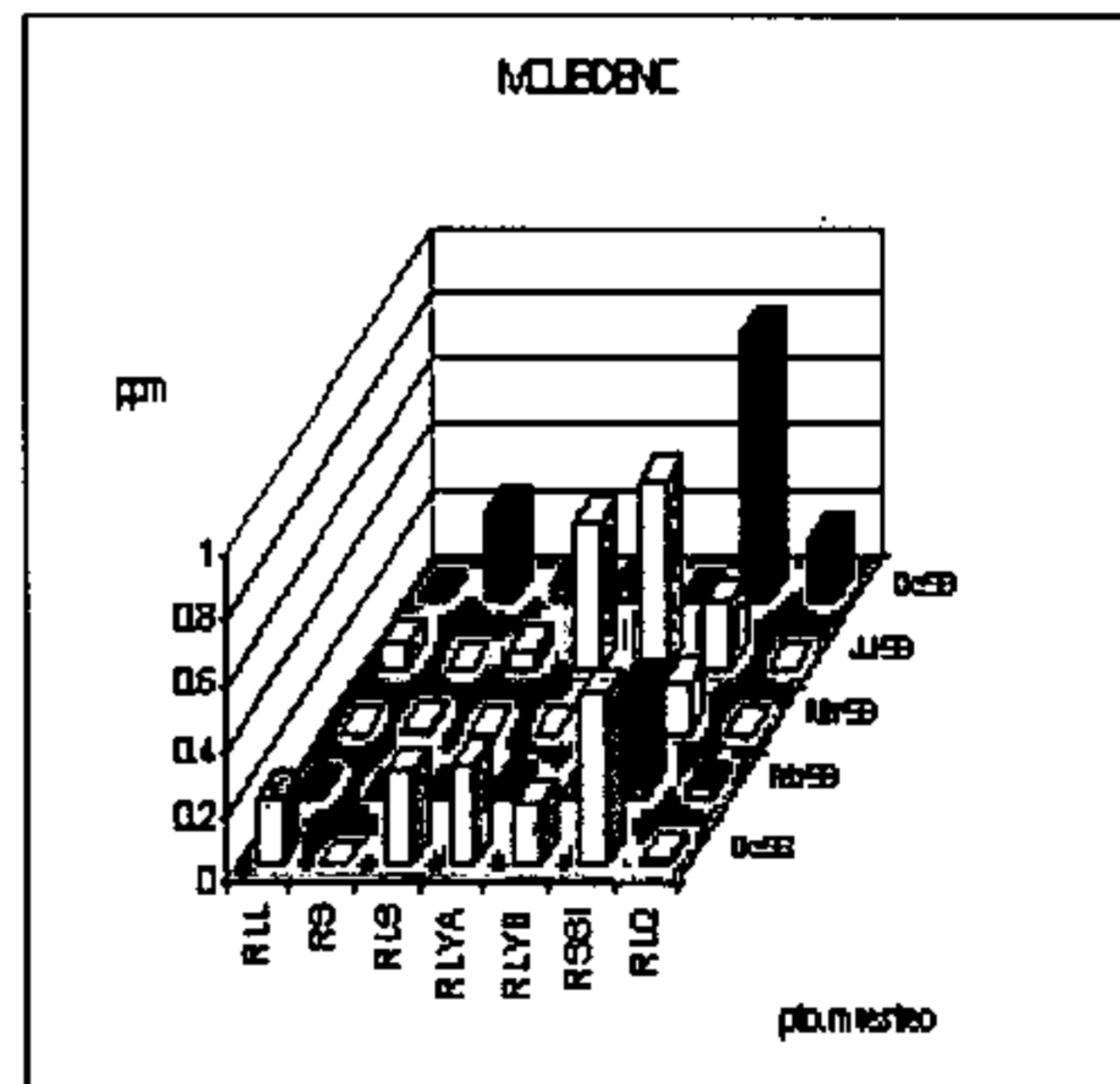


Fig.3.- Variación espacial y temporal de las concentraciones de Mo en aguas del río Loa.

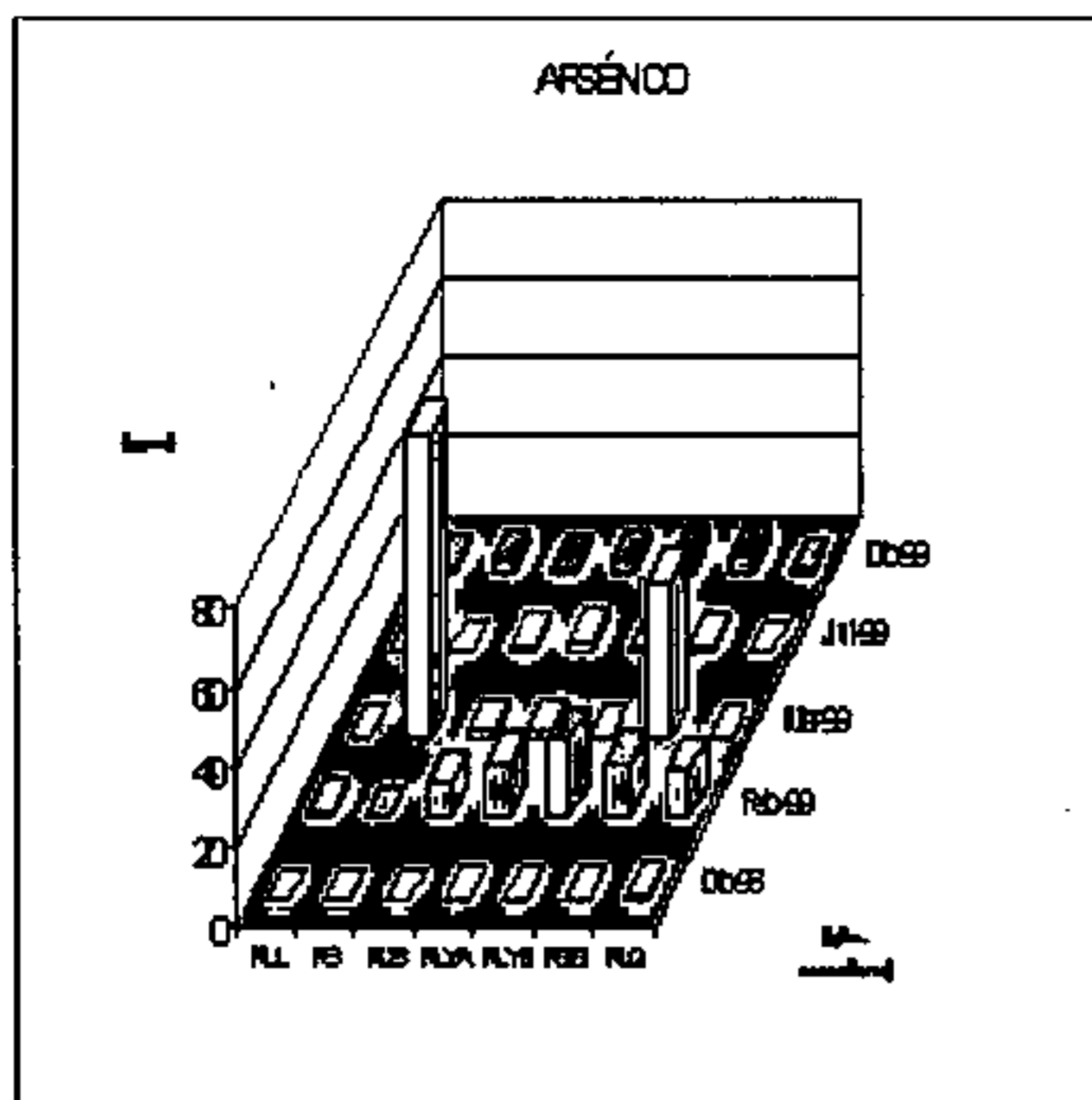


Fig. 4.- Variación espacial y temporal de las concentraciones de arsénico en las diferentes estaciones muestreadas en el río Loa.

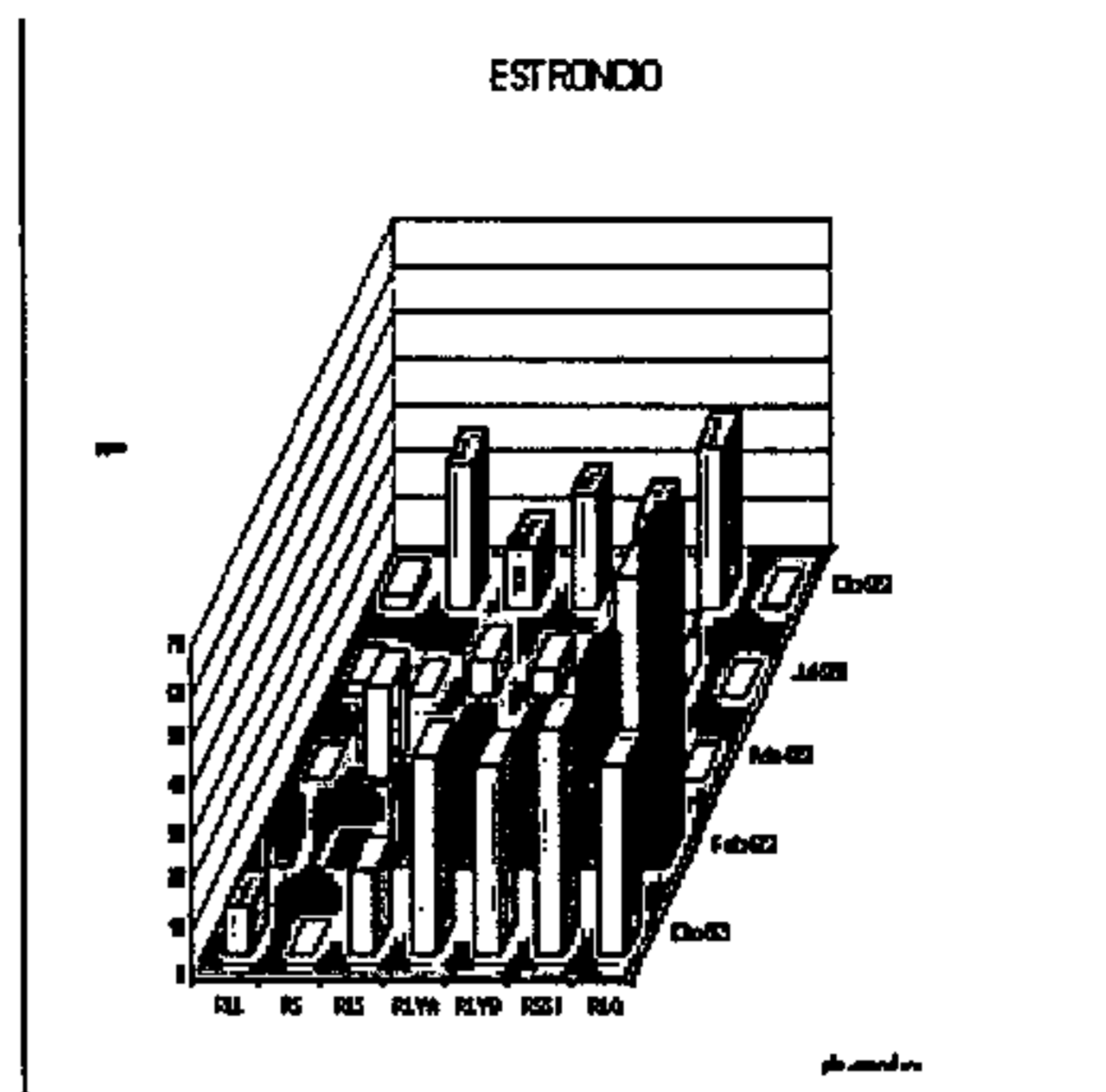


Fig. 5.- Variación espacial y temporal de las concentraciones de estroncio en las diferentes estaciones muestreadas en el río Loa.

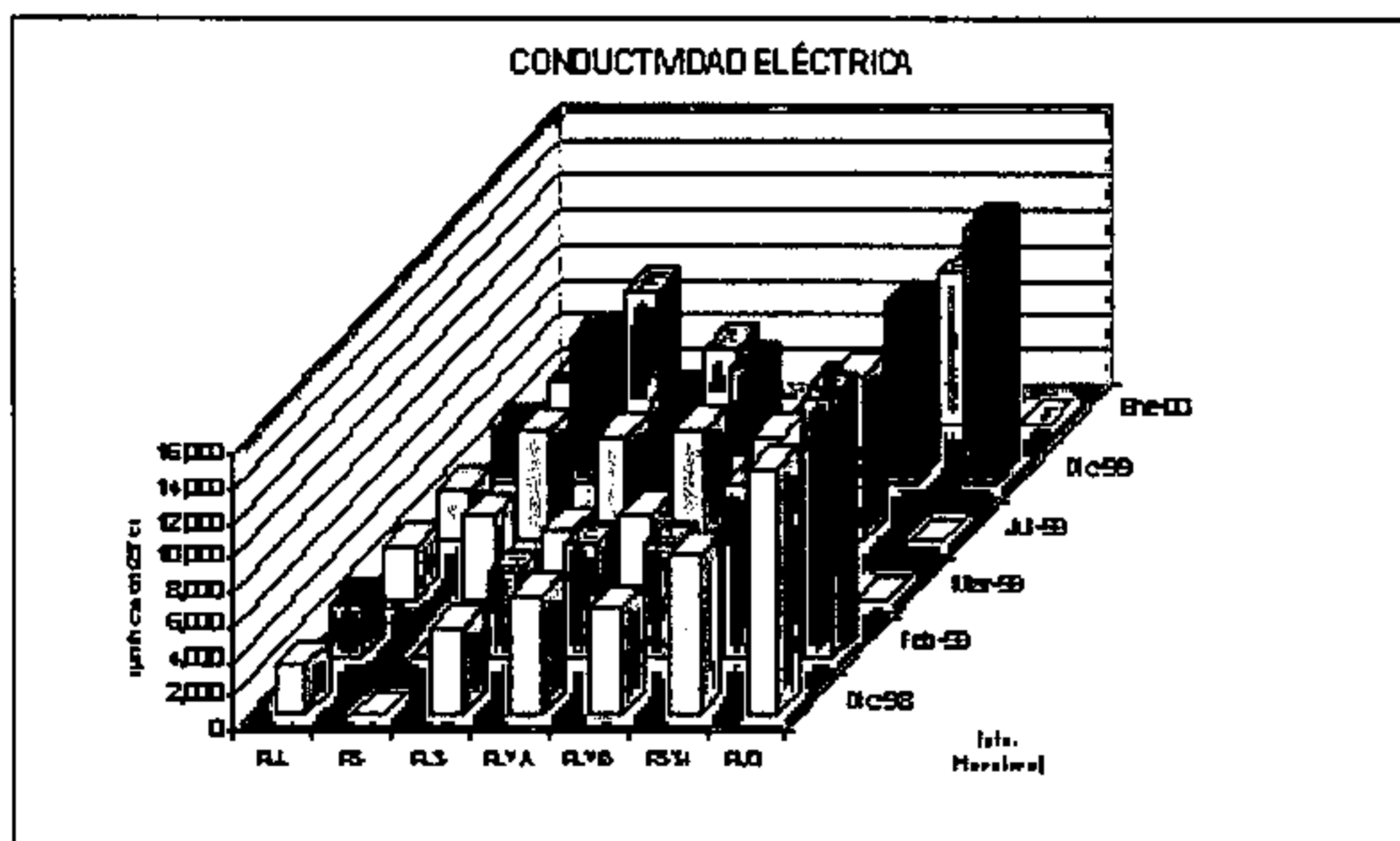


Fig. 5.- Variación espacial y temporal de la conductividad eléctrica en las diferentes estaciones muestreadas en el río Loa.

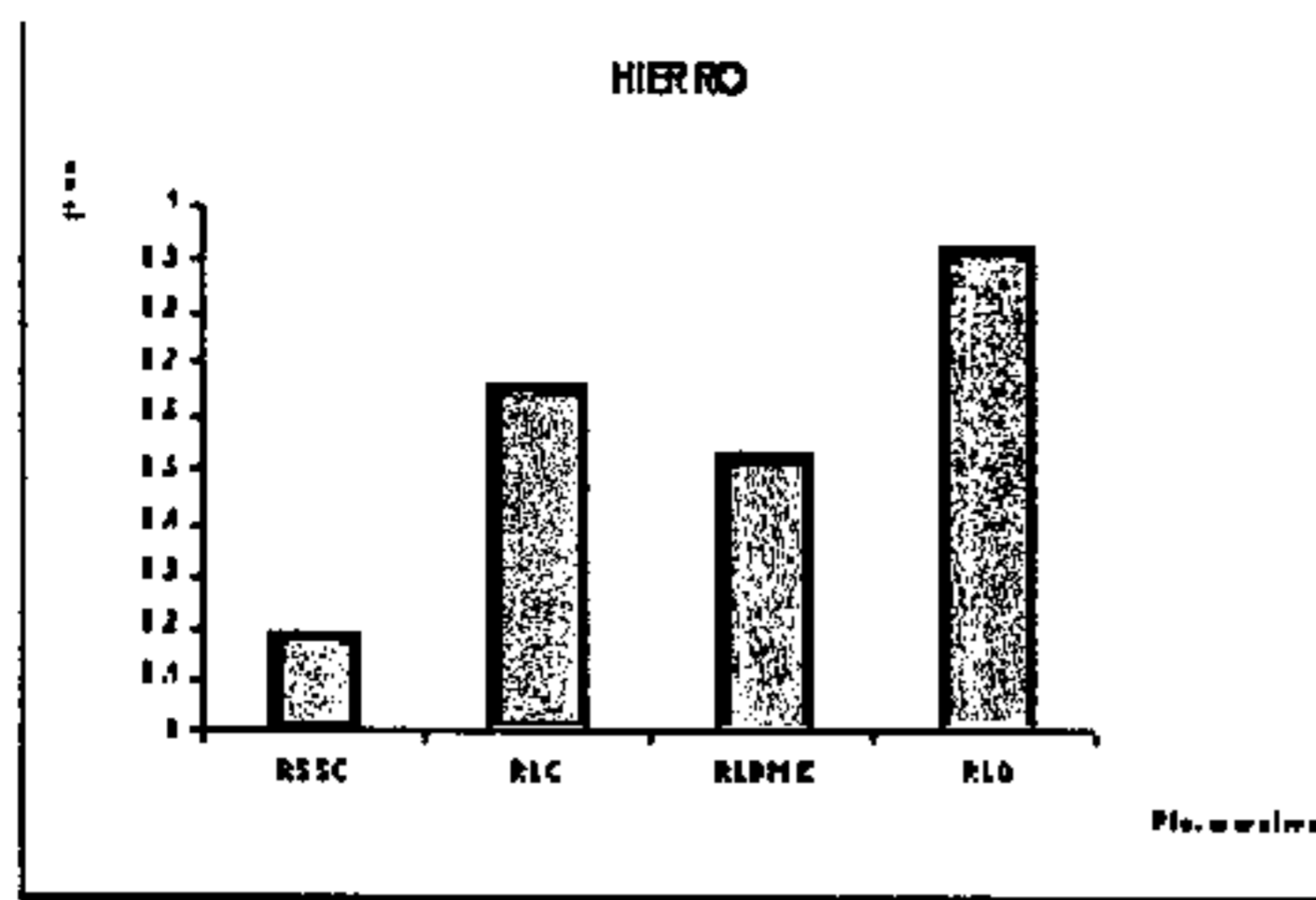


Fig. 6.- Variación de las concentraciones de hierro en las diferentes estaciones muestreadas en el río Loa, en febrero de 2000.

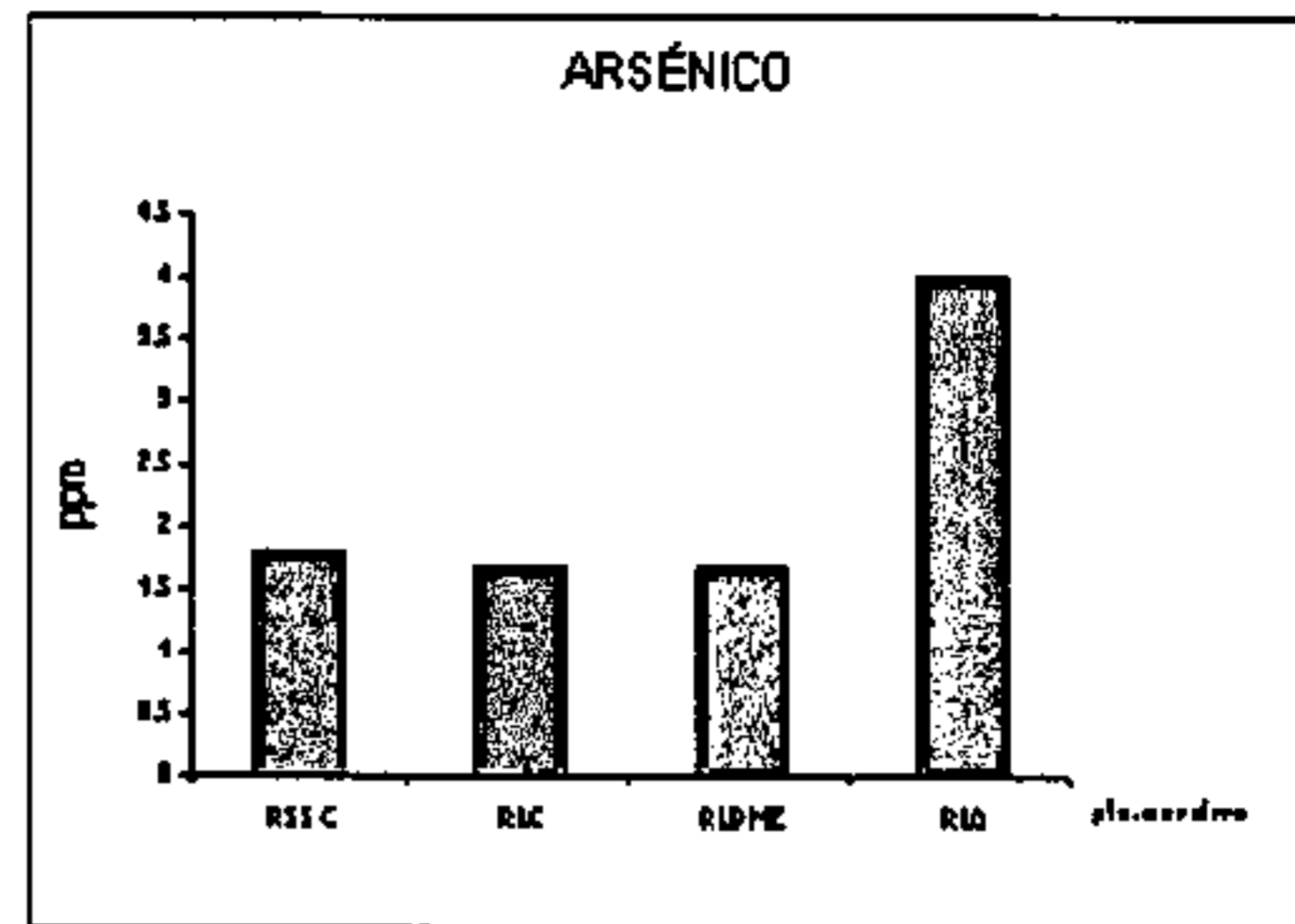


Fig. 7.- Variación de las concentraciones de arsénico en las diferentes estaciones muestreadas en el río Loa, en febrero de 2000.

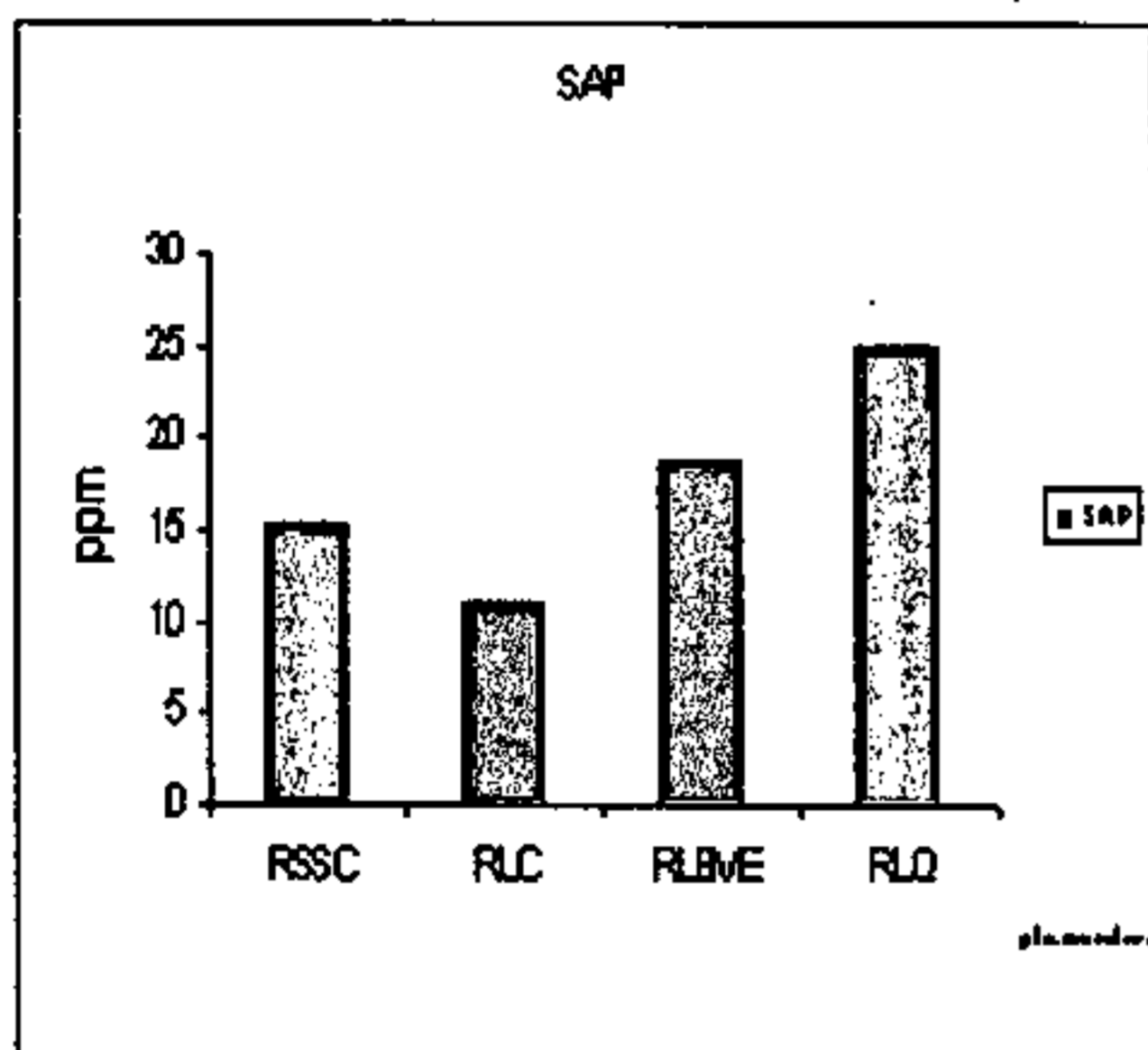


Fig. 8.- Variación de las concentraciones de SAP en las diferentes estaciones muestreadas en el río Loa, en febrero de 2000.

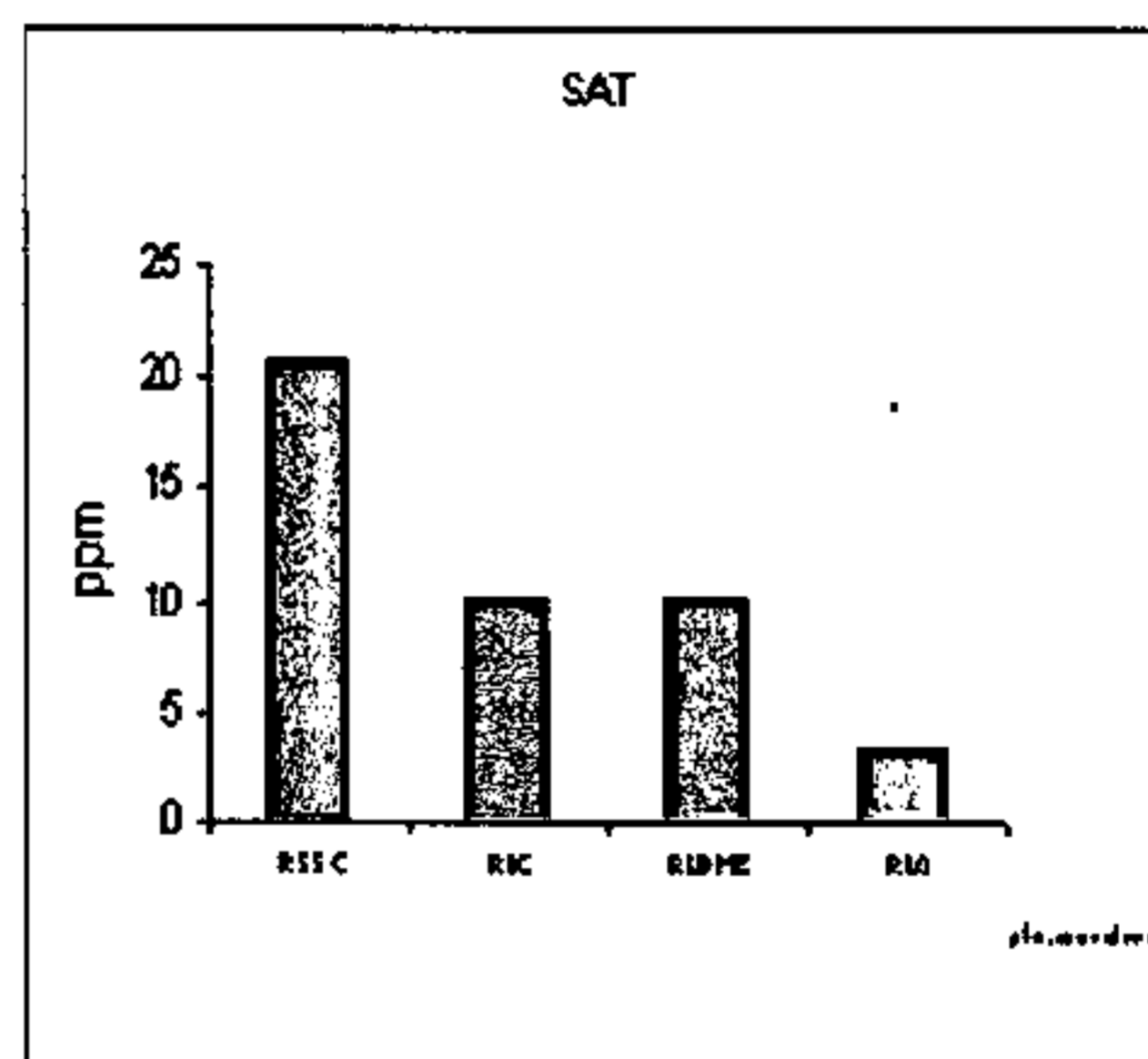


Fig. 9.- Variación de las concentraciones de SAT en las diferentes estaciones muestreadas en el río Loa, en febrero de 2000.

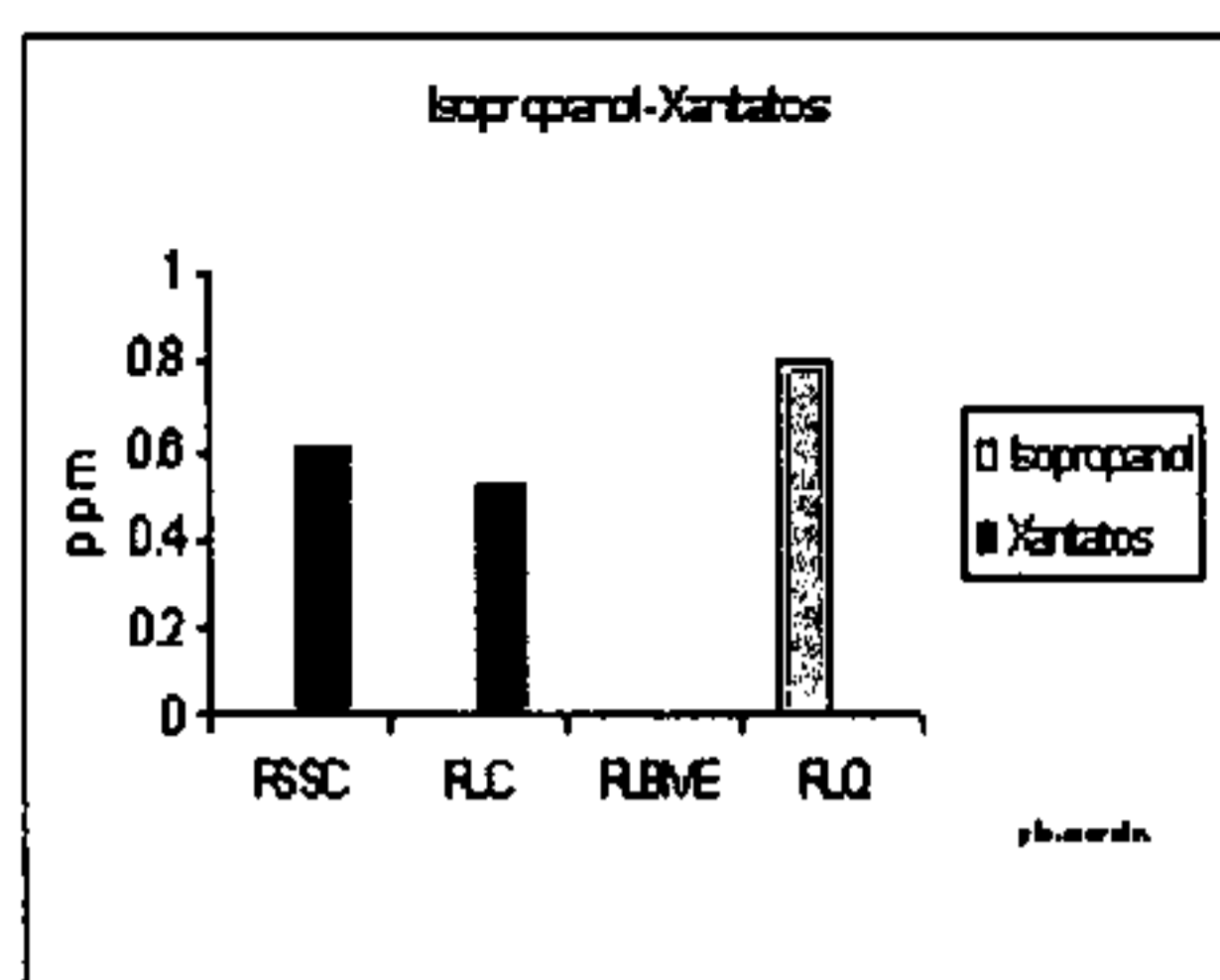


Fig. 10.- Variación de las concentraciones de Isopropanol-Xantatos en el río Loa, en febrero de 2000.

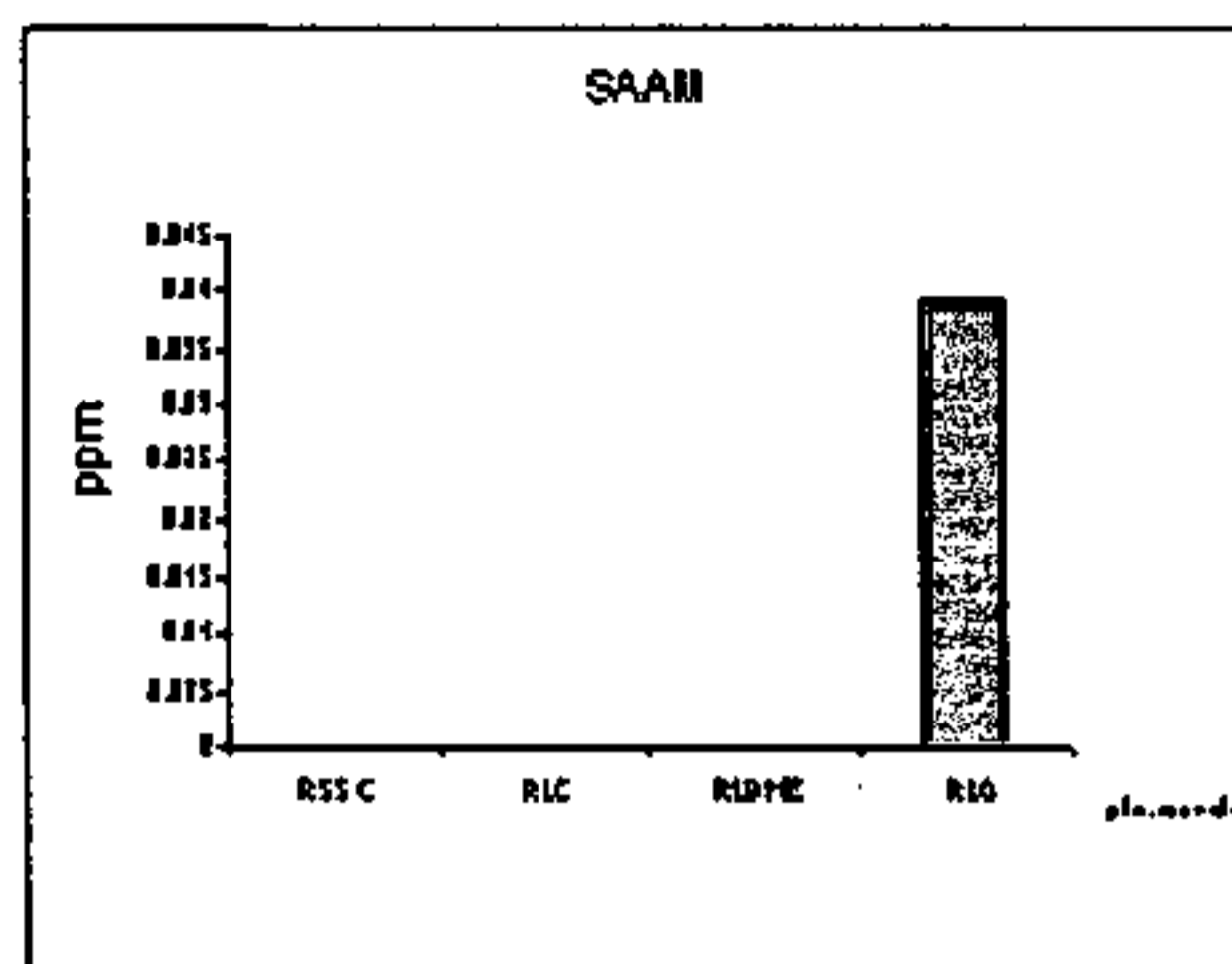


Fig. 11.- Variación de las concentraciones de SAAM, en el río Loa, en febrero de 2000.

DICUSIÓN & CONCLUSIONES

La conductividad eléctrica (C.E.), muestra un patrón que no es característico para la composición en agua de ríos, el cual debería presentar un comportamiento conservativo. Lo cual sugiere que estas alteraciones son provocadas por fuentes de suministro que hacen que la composición mayor aparezca como no conservativa. Dichas fuentes 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.

En cuanto a algunos de los metales pesados y metaloides monitoreados entre diciembre 98 - diciembre 99, específicamente para el caso del molibdeno y estroncio, los cuales forman parte de la composición menor y traza del cuerpo de agua, se observa un incremento en las estaciones del trecho terminal del río. En el monitoreo de febrero del 2000, 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 éstos, para después disminuir en RLQ para el caso del arsénico y aumentar en RLQ en para el caso del estroncio. Este aumento en los niveles 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 sólo está la posibilidad 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.

Las concentraciones de arsénico y molibdeno se encuentran sobre las normas para prácticamente todas las estaciones de monitoreo, salvo en dos oportunidades para el molibdeno (INN-Chile, 1987). Para el estroncio no existen normativas oficiales en Chile y no se encontró normativas de referencia internacionales, pero pueden considerarse valores de referencia con los cuales se puede comparar las concentraciones encontradas. Al respecto, se encontró en una publicación española referencias que señalan concentraciones para estroncio en agua de río del orden de 2,3 y 3,0 mg/l (MOPT-Ciemat-UNESA), por lo que de acuerdo a estas referencias los niveles encontrados estarían altos. 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.

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. Al respecto, CORFO-U. de Chile (1973) señala que el río Loa presenta un deterioro progresivo de su calidad química, a lo largo de su recorrido, señalando que éste, 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 lleva 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 con metales y metaloides detectados. Sin embargo estos aportes subterráneos también se deberían a fuentes provenientes de sitios de depósitos de desechos presentes en la cuenca del río Loa. Bedient et al. (1994), realizó una estudio 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 Acolas (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 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.

Las sustancias surfactantes xenobióticas (SAP, SAT) 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 existiría una relación entre estos agentes químicos y la presencia de espuma, que fue observada, en general, en todas las estaciones de monitoreo. Con respecto a los surfactantes SAAM, éstos 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. En relación a la coloración que adquiere el agua durante los episodios de contaminación se debería en parte a los xantatos que se fijan a la celulosa de los vegetales (fitoplancton, macroalgas, herbáceos, etc.) (Xu Y et al, 1988), produciendo la descomposición de la clorofila en pheo-pigmentos, los cuales también constituirían un factor responsable de la coloración característica del agua contaminada.

Desde el punto de vista ecotoxicológico en general, se puede decir que los metales presentan algún grado de toxicidad, sin embargo queda por determinar cual es la concentración biodisponible, al respecto 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.

A partir de los datos obtenidos en este estudio, se concluye que 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 periodos 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.

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. A 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.

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. A 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.

CORFO-Universidad de Chile, 1973. A 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.

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).

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

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

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.