

# 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](mailto: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 km<sup>2</sup> ? 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 físicoquímicas 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, sugiriendose 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-Amónico; 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

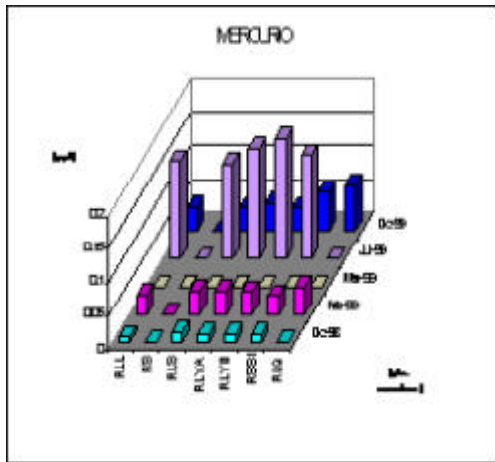


Fig. 2.- Variación espacial y temporal de las concentraciones de Hg en aguas del río Loa.

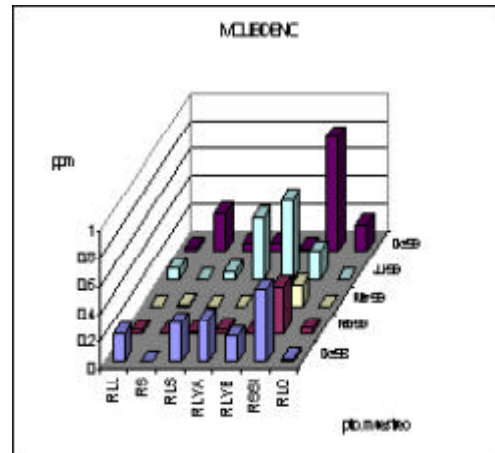


Fig.3.- Variación espacial y temporal de las concentraciones de Mo en aguas del río Loa.

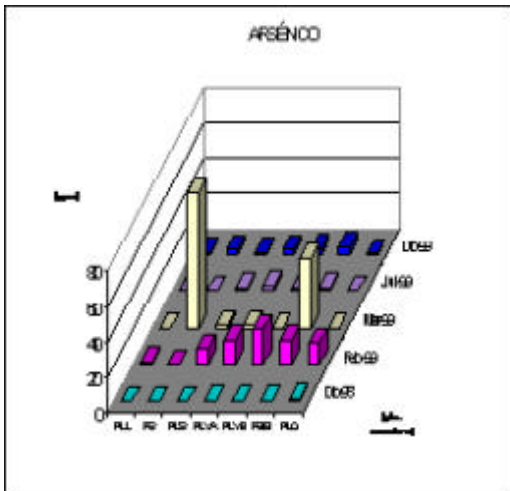


Fig. 4.- Variación espacial y temporal de las concentraciones de arsénico en las diferentes estaciones muestreadas en el río Loa.

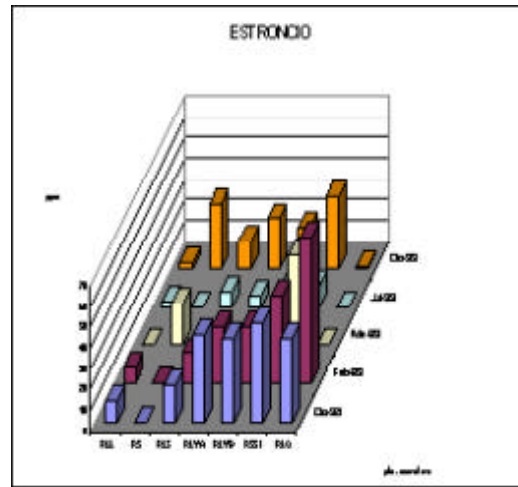


Fig. 5.- Variación espacial y temporal de las concentraciones de estroncio en las diferentes estaciones muestreadas en el río Loa.



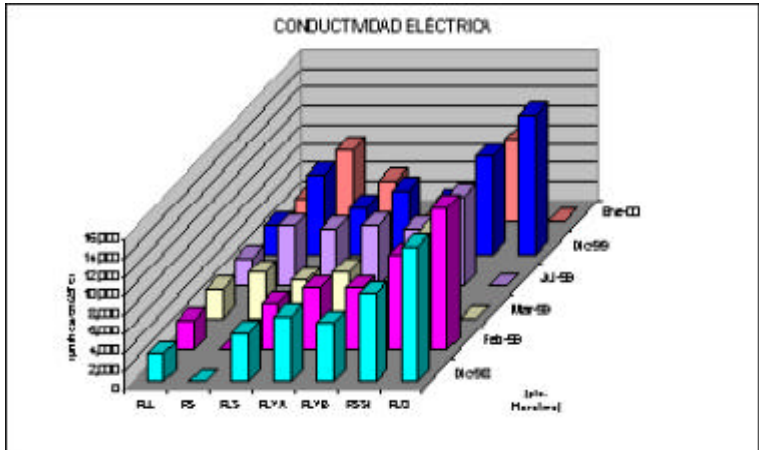


Fig. 5.- Variación espacial y temporal de la conductividad eléctrica en las diferentes estaciones muestreadas en el río Loa.

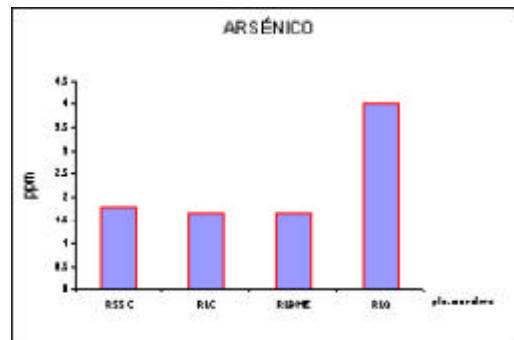
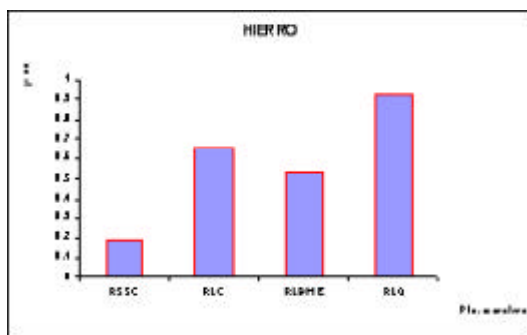


Fig. 6.- Variación de las concentraciones de hierro en las diferentes estaciones muestreadas en el río Loa, en febrero de 2000.

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

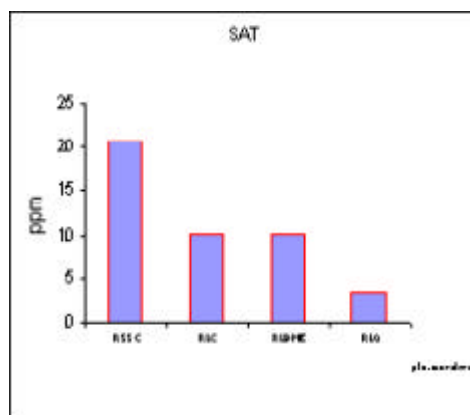
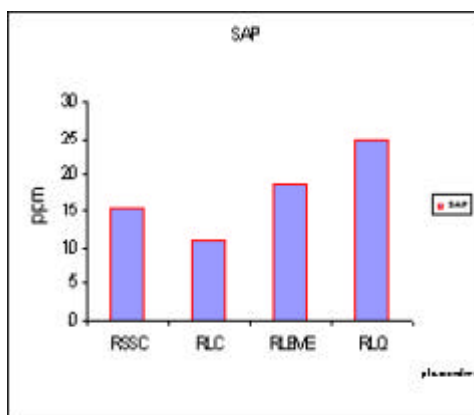


Fig. 8.- Variación de las concentraciones de SAP en las diferentes estaciones muestreadas en el río Loa, en febrero de 2000.

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

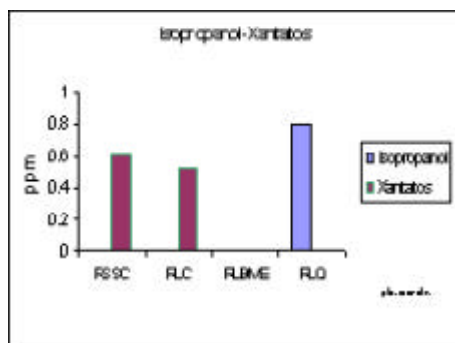


Fig. 10.- Variación de las concentraciones de Isopropanol-Xantatos en el río Loa, en febrero de 2000.

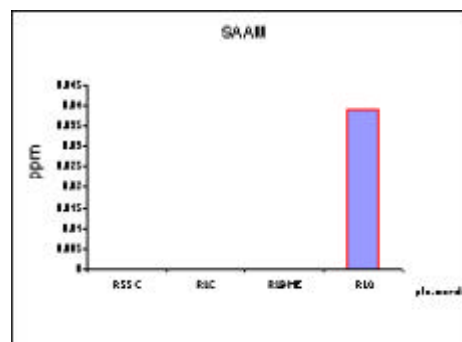


Fig. 11.- Variación de las concentraciones de SAAM, en el río Loa, en febrero de 2000.

## 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.