



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias

Escuela de Química y Farmacia

PROFESOR PATROCINANTE: Dr. Eduardo Quiroz R.

INSTITUTO: Química

FACULTAD: Ciencias

“DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS TRAZA (Ca, Mg, Ni, Cu, Zn, Fe, Mn, Mo, Al, Cr, Cd, Pb, As y Hg) EN EL RÍO CRUCES, VALDIVIA”

Tesis de Grado presentada como parte de los requisitos para optar al Título de Químico Farmacéutico

MARCELA PAZ URIBE URIBE

VALDIVIA – CHILE

2007

*Dedicado a mis padres Norma y José
y a mi hermano Jaime.*

AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio de Elementos Traza y Nutrientes del Instituto de Química de la Universidad Austral de Chile, por el financiamiento otorgado.

Al Dr. Eduardo Quiroz por toda la paciencia, apoyo, consejos y entretenidas tardes de conversación.

Al profesor Bernardo Jara por los consejos y su buena disponibilidad en todo momento para explicar y enseñar.

Al profesor Hernán Palma por su buena disponibilidad para atender consultas.

A la familia Ordóñez- Languemann por todo el apoyo y cariño brindado durante estos años y por hacer que me sienta como en casa en esta ciudad.

A mi primita Pamela y esposo Jorge, a mis sobrinos Jorge, María José y Daniel por su apoyo constante y cariño incondicional.

A mi querido hermano Jaime y su esposa Annette, por todo el apoyo y poder contar con ellos, a pesar de la distancia.

Y especialmente a mis lindos padres Norma y José, por todo el amor, dedicación y constante apoyo durante todos estos años, ya que sin ellos no hubiese llegado al final de esta etapa de mi vida.

INDICE

RESUMEN	5
SUMMARY	6
INTRODUCCIÓN	7
Descripción metales analizados	9
Hipótesis de trabajo	16
Objetivos Generales	16
Objetivos Específicos	17
MATERIALES Y MÉTODOS	17
Área de Estudio	17
Muestreo	18
RESULTADOS	19
DISCUSIÓN	24
CONCLUSIONES	32
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	38
ANEXOS	
ANEXO 1 Figuras	44
ANEXO 2 Metodología tratamiento de las muestras	49
ANEXO 3 Tablas de Resultados	56
ANEXO 4 Gráficos	81
ANEXO 5 Tablas de Referencia	99

RESUMEN

En el año 2004, la población de cisnes cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) en el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter ubicado en la provincia de Valdivia, XIV Región de los Ríos, disminuyó considerablemente por causa de contaminación antropogénica de las aguas del río Cruces. Considerando que el tramo final de este río, se encuentra en el Santuario, es importante realizar estudios sobre la calidad de sus aguas, no sólo dentro del Santuario, sino también antes de llegar a él.

Para llevar a cabo este estudio se seleccionaron once puntos de muestreo a lo largo del río Cruces, donde se tomaron muestras de agua superficial, por duplicado durante dos años, cada seis meses. En estas aguas se realizaron análisis de metales traza, tanto en aguas filtradas como no filtradas utilizando Espectrometría de Absorción Atómica (AAS) en su modalidad Llama para los metales Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb y Zn, y acoplado a un Generador de Hidruros para As y “Cool Vapor” para determinar Hg.

Las concentraciones más altas en muestras de agua son: Ca (2,5 - 5,6 mg/L) en Otoño 2006, Mg (1,7 - 2,9 mg/L) en Primavera 2005, Fe (0,249 - 0,762 mg/L) en Otoño 2006, Al (0,045 - 0,302 mg/L) en Primavera 2005, Zn (0,0091 - 0,0461 mg/L) en Otoño 2007 y Cu (0,011 - 0,028 mg/L) en Otoño 2007.

SUMMARY

During 2004, black neck swan's population (*Cygnus melancoryphus*) at the Carlos Anwandter Nature's Sanctuary located at Valdivia's province, XIV River's Region, decreased considerably because anthropogenic waters contamination of the Cruces River. Postulate than the end of this river is the Sanctuary itself, it is very important to do studies on the water quality, not only within the Sanctuary, but also before getting to him.

We selected eleven points of sampling in order to accomplish this study along the Cruces River, where they took samples of superficial water, in duplicate during two years, every six months period. Analyses of trace metals were done in these waters, so in filtered waters like not filtered utilizing Atomic Absorption Spectrometry (AAS) with Flame mode for Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb and Zn, , and Hydride Generation for As and "Cool Vapor" to determine Hg.

The higher concentrations in water samples are : Ca (2,5 - 5,6 mg/L) in Autumm 2006, Mg (1,7 - 2,9 mg/L) in Spring 2005, Fe (0,249 - 0,762 mg/L) in Autumm 2006, Al (0,045 - 0,302 mg/L) in Spring 2005, Zn (0,0091 - 0,0461 mg/L) in Autumm 2007 and Cu (0,011 - 0,028 mg/L) in Autumm 2007.

INTRODUCCIÓN

El río Cruces forma parte, junto al río Calle Calle, de la cuenca del río Valdivia. Está ubicado en territorios de la IX Región de la Araucanía y de la XIV Región de Los Ríos (anteriormente X Región de Los Lagos). La cuenca del río Cruces tiene una superficie total de 3.233 km², lo cual corresponde al 30% de la superficie de la cuenca del río Valdivia.

El río Cruces nace en la precordillera andina, en un lugar que se encuentra entre los lagos Villarrica y Calafquén, drena la depresión de San José en la parte norte de la Provincia de Valdivia, avanzando de Este a Oeste, hasta confluir con el río Calle Calle. En sus casi 125 km de recorrido, pasa por las ciudades de Loncoche, Lanco y San José de la Mariquina. Sus principales afluentes son los ríos San José, Leufucade, Purulón, Nanihue, San Antonio, Cudico, Pichoy, Cayumapu, Chorocamayo y otros esteros menores.

En la cuenca del río Cruces existen una serie de actividades que ejercen presión sobre la calidad de sus aguas. Como ejemplo de estas actividades se puede mencionar la ganadería, el uso de embarcaciones motorizadas, la extracción de áridos y las descargas de diferentes efluentes líquidos.

La contaminación en los ríos se produce por presencia de compuestos o elementos que normalmente no se encontrarían sin la acción del hombre, o por un aumento en la concentración normal de sustancias ya existentes. Uno de los contaminantes potencialmente más tóxicos son los metales pesados, el aporte de estos al ciclo hidrológico procede de dos fuentes, una de origen **litogénico** o geoquímica a partir de los minerales que por causas de erosión, lluvias, entre otros, son arrastradas al agua y otra de origen **antropogénico** o debida a la actividad humana. De las

diferentes sustancias existentes, más de un millón han sido introducidas en las aguas naturales a través de vertidos antropogénicos (Förstner *et al.*, 1993).

Por otro lado, los ambientes fluviales respecto a los estuarios, son totalmente distintos, mostrando una alta variabilidad ambiental, dada principalmente por diferencias en el caudal (incluyendo velocidades y sentido del flujo) y características fisicoquímicas y biológicas de la columna de agua, expresándose estas diferencias en variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua. Si bien esta variabilidad puede estar mediada por variaciones típicas diarias del sistema y estacionales, es decir, una variabilidad natural y propia del sistema, también puede ser modificada por aportes externos asociados a actividades antrópicas. En cuanto a estas últimas, podemos considerar, por ejemplo, las descargas de aguas contaminadas por parte de variadas industrias, aguas servidas de una población, entre otras. Estas descargas están reguladas bajo la Norma de emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales, D.S. N° 90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (D.O 07.03.2001). Sin embargo, las concentraciones de una descarga de residuos líquidos, aún cuando cumpla o esté por debajo del máximo establecido en la Norma, no asegura ni garantiza que la calidad del agua no se vea afectada y menos aún, proteja el sistema biótico del cuerpo de agua (CONAMA-UACH, 2005).

El estudio de metales pesados o también llamados elementos traza, es uno de los tantos análisis que se realizan para estudiar la calidad de las aguas, ya que existen pruebas toxicológicas donde se demuestran que los metales pesados pueden interactuar y alterar biológicamente los principales sistemas celulares a niveles de dosis inferiores a los requeridos para producir signos

de toxicidad metálica manifiesta (OMS, 1981). Además los metales pesados tienen un gran significado como indicadores de la calidad ecológica de todo flujo de agua debido a que no son biodegradables en la naturaleza, a su toxicidad, a su comportamiento bioacumulativo en la cadena alimenticia y por los posibles daños que pueden causar a la salud, tanto de humanos como de animales, por la exposición prolongada a éstos (Purves, 1985; Moalla *et al.*, 1998; Rivas *et al.*, 2002; 2003; 2005).

DESCRIPCIÓN METALES ANALIZADOS.

El **Aluminio (Al)** no se encuentra libre en la naturaleza, pero sus combinaciones son numerosas y ampliamente distribuidas. Grandes cantidades de polvo de Al mezclado con aceite se usan como pintura para cañerías u otros objetos metálicos. Además se emplea para las cañerías de vapor, pues la superficie brillante disminuye la pérdida de calor por radiación, para los tanques de petróleo y gasolina para disminuir la absorción de calor, también en utensilios de cocina, instrumentos de precisión y quirúrgicos, así como metal para decoraciones interiores y objetos artísticos (Mellor, 1995).

El **Arsénico (As)** es un elemento teratogénico y carcinogénico que atraviesa la barrera placentaria y produce muerte fetal y malformaciones en varias especies de mamíferos. Se encuentra en aire, agua, suelo y es usado extensamente en medicina, agricultura e industrias. En aguas naturales es importante mantenerlo en concentraciones bajas, porque puede producir un significativo daño para la salud (Eisler, 2000; Alarcón, 2003; Lorca, 2005).

Los compuestos arsenicales se absorben por vía inhalatoria, digestiva y dérmica, siendo la forma trivalente (trióxido de arsénico) más soluble en agua que la forma pentavalente (Paris, 2000).

El **Calcio (Ca)** es uno de los elementos más abundantes del cuerpo, es necesario para el funcionamiento correcto de numerosos procesos intracelulares y extracelulares, como la contracción muscular, la conducción nerviosa, la liberación de hormonas y coagulación sanguínea. (Merk, 1999). Más del 99% está situado en los huesos, donde desempeña un rol importante en su estructura y fuerza (Gurr,1994). Osteoporosis y Osteomalacia son las manifestaciones más comunes de la deficiencia del Ca (Koisek, 2003).

El **Cadmio (Cd)** es un metal relativamente raro, usualmente está presente en pequeñas cantidades en minerales de Zinc y es comercialmente obtenido como un biproducto industrial de la producción de Zinc, Cobre y Plomo. El origen antropogénico de Cd incluye fundiciones, humo y polvos, los productos de incineración de materiales que contiene Cd, combustibles fósiles, fertilizantes, aguas servidas municipales y descarga de lodo. Los mayores usos son en acero galvanizado, en producción de pigmentos y en la manufactura de estabilizadores de plástico y baterías (Eisler, 2000).

En su forma catiónica normal, como Cd^{2+} , presenta fuertes analogías químicas con los elementos esenciales Zinc y Calcio, y de alguna manera, estas analogías dan cuenta de sus principales efectos tóxicos (Baran, 1995).

Los efectos letales de Cd son directamente causados por los iones libres de Cd, los que pueden inactivar varias enzimas dependientes de metales, sin embargo el Cd no enlazado a metalotioneína, que es una importante proteína de transporte y almacenamiento de este metal,

puede tener la capacidad para dañar directamente las membranas del túbulo renal durante la reabsorción (Eisler, 2000).

El **Cobre (Cu)** es abundante en el medio ambiente y esencial para el crecimiento normal y el metabolismo de todos los organismos vivos (Eisler, 2000).

Las fuentes naturales de exposición al Cu son el polvo arrastrado por el viento, los volcanes, los incendios forestales y la dispersión marina. Entre las emisiones antropogénicas cabe mencionar los hornos de fusión, las fundiciones y refinamientos de Hierro, las centrales eléctricas y fuentes de combustión como los incineradores municipales (IPCS, 2000). Así como también se pueden encontrar en fertilizantes, pesticidas y fungicidas (Eisler, 2000).

Estudios sugieren que el Cu y sus compuestos son potencialmente carcinogénico en roedores, mutagénico en roedores, ovejas y saltamontes, y teratogénico en pescado y animales pequeños de laboratorio (Eisler, 2000).

El **Cromo (Cr)** es uno de los siete elementos más abundantes sobre la tierra (Eisler, 2000). La fuente de Cr antropogénica proviene principalmente de la utilización en la elaboración de pigmentos, baterías de alta temperatura, fungicidas, curtido de pieles, tratamiento de superficies, industrias papeleras, química orgánica e inorgánica y factorías textiles (Adriano, 1986; Doménech, 1995; Facetti *et al.*, 1998)

La forma química en la cual el Cr es biológicamente activo, es la de Cr^{3+} , forma que es esencial en mamíferos para una mantención eficiente del metabolismo de glucosa, lípidos y proteínas, a diferencia del Cr^{6+} , que es potencialmente más tóxico que el Cr^{3+} , debido a que tiene un potente acción oxidante. Además es difícil distinguir entre los efectos del Cr^{6+} y los causados por el Cr^{3+} ,

pues el Cr^{6+} es rápidamente reducido a Cr^{3+} , al atravesar fácilmente las membranas biológicas y también en el medio gástrico (Eisler, 2000).

Altos niveles de Cr en el organismo, tiene efectos teratogénicos, mutagénicos y carcinogénicos, que están asociados con el Cr^{6+} , que es el estado de oxidación superior del mismo (Eisler, 2000; Spiro, 2004).

En humanos, el Cr se absorbe por vía digestiva, respiratoria y cutánea, y al acumularse en tejidos causa dermatosis y úlceras en la piel (González *et al.*, 1997).

El **Hierro (Fe)** es de todos los elementos traza esenciales, el que se requiere en una mayor cantidad para la vida y, los requerimientos diarios de Fe dependen de la edad, sexo, estado fisiológico y la biodisponibilidad del mismo (Spiro, 2004; WHO, 2003).

Es un metal abundante en la corteza terrestre, hallándose en grandes cantidades en suelos y rocas; se encuentra más comúnmente en la naturaleza, en la forma de óxidos que en su estado elemental, es soluble en su estado Fe^{2+} y se oxida en presencia de aire a la forma insoluble de Fe^{3+} (Gray, 1996; WHO, 2003).

En dosis tóxicas en humanos, el Fe es absorbido casi completamente y logra entrar rápidamente en la circulación. Si la capacidad de transferrina para transportar Fe es excedida, queda Fe libre que es el responsable del daño al unirse a los tejidos de los cuales el hígado es el más afectado, donde se evidencia una necrosis hemorrágica del hepatocito (Paris, 2000).

El **Mercurio (Hg)** es el único metal líquido en condiciones ordinarias (Kosnett, 2005). Ha sido usado por el hombre por más de 2300 años, más recientemente como fungicida en agricultura, en la manufactura de Cloro e Hidróxido de Sodio, como agente de control lento en la industria de

pulpa y papel, en la producción de plásticos y aparatos eléctricos, y en operaciones de minería y refinería (Eisler, 2000).

El Hg es tóxico en cualquiera de sus formas (Baran, 1995), el Hg inorgánico no presenta una elevada toxicidad por ingestión, ya que ni el metal ni sus iones respectivos (Hg_2^{2+} , Hg^{2+} y sus complejos) atraviesan de forma efectiva la pared intestinal. Sin embargo el Hg^0 es muy tóxico por inhalación, en forma atómica es capaz de atravesar las membranas pulmonares y penetrar el torrente sanguíneo, además puede penetrar en el cerebro. Una vez allí es probable que el metal se oxide y se una a los grupos sulfhidrilo de las proteínas (Spiro, 2004).

El **Magnesio (Mg)** es un mineral esencial para los seres humanos, juega un rol clave en muchos procesos biológicos (Sabatier *et al*, 2002), desempeña un papel importante como cofactor y activador de más de 300 reacciones enzimáticas, incluyendo glicólisis, metabolismo del ATP, transporte de elementos tales como Sodio, Potasio y Calcio a través de membranas, la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos, y la excitabilidad neuromuscular. La deficiencia de Mg aumenta el riesgo en los seres humanos a desarrollar patologías tales como: hipertensión, arritmias cardíacas, enfermedad vascular como arterosclerosis, infarto agudo al miocardio y eclampsia en mujeres embarazadas (Koisek, 2003).

El **Manganeso (Mn)** es un elemento esencial para el funcionamiento apropiado de seres humanos y animales, pues se requiere para el funcionamiento de muchas enzimas celulares (WHO, 2004) y es necesario para la formación de tejido conectivo y para la estructura normal del hueso (IPCS, 1981).

Es ubicuo en el medio ambiente y representa alrededor del 0,1% de la corteza terrestre (IPCS, 2004). Está presente en rocas, aguas superficiales, subterráneas y en los suelos que puedan erosionar en esta agua. Sin embargo, en algunas áreas, las actividades humanas son también responsables en gran parte de la contaminación del agua (WHO, 2004)

El Mn se utiliza principalmente en la fabricación de aleaciones de hierro y acero, el dióxido de manganeso en productos tales como baterías, cristal y fuegos artificiales, el permanganato de potasio se utiliza como oxidante para fines de limpieza, blanqueamiento y desinfección (WHO, 2004).

Una excesiva ingesta de Mn causa efectos adversos psicológicos, particularmente neurológicos (Gray; 1996), en cambio un déficit causa problemas en la estructura ósea (Baran, 1995).

El **Molibdeno (Mo)** está presente en todas las plantas, tejidos de animales y humanos y es considerado un micronutriente esencial para la mayoría de las formas de vida (Eisler, 2000).

Es usado en la manufactura de aceros especiales, contactos eléctricos, aviones, tubos de rayos X, filamentos, pantallas y pigmentos. Los compuestos de Molibdeno son usados en agricultura para el tratamiento directo de semillas o en la formulación de fertilizantes para prevenir la deficiencia de Mo (WHO, 2003).

En humanos, el 30-70% de Mo es absorbido de la dieta a través del tracto gastrointestinal (WHO, 2003).

El **Níquel (Ni)** se encuentra en el aire, suelo, agua, alimentos y utensilios domésticos, es un micronutriente esencial para mantener la salud en ciertas especies de plantas y animales. La ingesta o inhalación de Ni es común, al igual que la exposición dérmica. La contaminación por

Ni a partir de actividades antropogénicas ocurre localmente por emisiones de minas, procesos y operaciones de refinería, quema de combustibles fósiles, niquelado de metales y manufactura de aleaciones (Quilodrán, 2002).

Algunas formas de Ni son carcinogénicas para humanos y animales, pero solo cuando la exposición es por vía respiratoria. Los efectos tóxicos y carcinogénicos de los compuestos de níquel están asociados con un daño en el ADN, proteína y la inhibición de defensas celulares antioxidantes (Eisler, 2000).

El **Plomo (Pb)** y sus compuestos han sido conocidos por el hombre por más de 7000 años, pero ha sido reconocido hace menos de 2500 años, siendo uno de los metales más tóxicos y estudiados por la Química Ambiental (Alarcón, 2003; Eisler, 2000) y todas las evidencias indican que no es un elemento esencial o beneficioso para los organismos vivos y todos los efectos medidos son adversos, incluyendo aquellos de sobrevivencia, crecimiento y de metabolismo. (Seki & Hiram, 2002; Quilodrán, 2002; Eisler, 2000)

El Pb trastorna fundamentalmente los procesos bioquímicos de todas las células y los sistemas del organismo. Se une a las proteínas, particularmente a aquellas de los grupos sulfhidrilo, de tal manera que puede alterar su estructura y su función, o bien competir con otros metales en los sitios de enlace. Puesto que el Pb es químicamente similar al Calcio, interfiere con diversos procesos dependientes de éste (Matte, 2003).

Es además mutagénico y teratogénico cuando se absorbe en grandes cantidades y podría llegar a ser carcinogénico (Eisler, 2000).

El **Zinc (Zn)** es un elemento traza esencial para todos los organismos vivos, forma parte de más de 200 metaloenzimas y otros compuestos metabólicos, asegura la estabilidad de moléculas biológicas tal como el ADN y estructuras biológicas, como membranas y ribosomas (Eisler, 2000).

HIPÓTESIS DE TRABAJO.

A medida que nuestro país y el mundo entero tienden a ser más desarrollados, también hemos aumentado la contaminación del medio ambiente en el cual vivimos, a causa de todos los procesos industriales que se realizan en el diario vivir y las aguas contaminadas que se vierten a cursos superficiales como los ríos.

Considerando todo lo mencionado anteriormente llevan a plantear la siguiente hipótesis:

“Tomando en cuenta que el río Cruces es uno de los ríos donde se vierten gran cantidad de residuos líquidos por parte de diferentes industrias y plantas de tratamiento de aguas servidas, sus aguas debieran verse impactadas por la presencia de metales traza.”

Para poner a prueba esta hipótesis, se analizarán muestras de agua en determinados puntos a lo largo del río Cruces.

OBJETIVOS GENERALES.

- Determinar la concentración de metales traza en las muestras de agua del río Cruces.
- Determinar si la contaminación de las aguas es de origen antropogénico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar los puntos de muestreo en el río Cruces, de acuerdo a las zonas de mayor impacto humano y actividades industriales.
- Tomar muestras en los puntos determinados en el objetivo anteriormente mencionando.
- Establecer la tendencia espacial de abundancia y biodisponibilidad de los metales traza propuestos en este estudio (Al, As, Cd, Ca, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo Ni, Pb y Zn).

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la zona que cubre el río Cruces, ubicado en la XIV Región de Los Ríos.

Los puntos de muestreo corresponden a Subestación CGE, Loncoche (39°42'22,5 SO y 72°36'12,5" O), Puente Reyes (39°22'38,7" S y 72°37'57,6" O), Puente Cruces (39°26'10,2" S y 72°45'35,5" O), Puente Leufucade N° 1 (39°27'12,7" S y 72°47'15,5" O), Puente Leufucade N° 2 (39°27'22,7" S y 72°47'28,2" W), Puente Negro (39°29'20,7" S y 72°48'32,1 WO), Puente Raluya (39°32'57,2 S y 72°50'30,2" WO), Puente Rucaco (39°33'08,2" S y 72°54'05,9" WO), Puente Mariquina (39°32'31,9" S y 72°57'45,5" WO), Recinto PTAS (Planta de Tratamiento de Aguas

Servidas), San José (39°32'53,5" S y 72°58'18,5" WO) y Fuerte San Luis de Alba (39°36'19,2" S y 73°0,9'02,5" WO).

MUESTREO

Los muestreos se llevaron a cabo a lo largo del río Cruces, recolectando agua superficial en los once puntos mencionados anteriormente. Las fechas de recolección fueron el 27 de Septiembre del 2005 (Primavera, 2005), 30 de Marzo del 2006 (Otoño, 2006), 06 de Noviembre del 2006 (Primavera, 2006) y 12 de Abril del 2007 (Otoño, 2007).

Las muestras de agua superficial fueron tomadas con botellas de plástico de un litro y se tomaron dos replicas de cada punto de muestreo, luego se llevaron al laboratorio para su posterior análisis.

ANÁLISIS

En el análisis de las muestras, para la determinación de As se utilizó Espectrofotómetro de Absorción Atómica (AAS), Perkin-Elmer, modelo 3110 acoplado a un generador de hidruros, Perkin- Elmer MHS-10 y “Cool Vapor AAS” para determinar Hg.

La determinación de los elementos Al, Cd, Ca, Cu, Cr, Fe, Mg, Mn, Mo Ni, Pb y Zn se realizó en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica UNICAM, modelo M-5 en su modalidad de llama.

RESULTADOS

Los resultados de la concentración de los metales trazas en agua que se determinaron en las diferentes estaciones a lo largo del río Cruces, se resumen en las tablas y gráficos, que se encuentran en los ANEXO 3 y ANEXO 4, respectivamente.

Arsénico

La mayor concentración se obtuvo en la estación de muestreo N° 1, que corresponde a Otoño 2007 con una concentración de 0,0037 mg/L, mientras que la menor concentración fue de 0,0003 mg/L en las estaciones de muestreo N° 1, N° 2 y N° 3, todas ellas, en Primavera 2005.

Mercurio

La muestra N° 10 de Otoño 2006, obtuvo una concentración de 0,0006 mg/L, todas las demás muestras presentaron una concentración menor que el límite de detección del equipo.

Calcio

La mayor concentración se obtuvo en la estación de muestreo N° 5 en Otoño 2006, con un valor de 5,6 mg/L. La menor concentración fue de 1,4 mg/L, en Primavera 2006 en la estación de muestreo N° 3.

Magnesio

La mayor concentración obtenida fue de 2,9 mg/L, en Primavera 2005, en la estación de muestreo N° 11 y la menor concentración fue 0,7 mg/L, en Otoño 2006, en la estación de muestreo N° 1.

Aluminio

La mayor concentración obtenida en aguas filtradas fue de 0,033 mg/L en Primavera 2005, en la estación de muestreo N° 5 y la menor concentración fue de 0,011 mg/L en Primavera 2005, correspondientes a las estaciones de muestreo N° 6 y N° 7.

En aguas sin filtrar, la mayor concentración se obtuvo en Primavera 2005, en la estación de muestreo N° 6 con un valor de 0,0162 mg/L, mientras que la menor concentración fue en Otoño 2006, en la estación de muestreo N° 7 con un valor de 0,02 mg/L.

Cadmio

En aguas filtradas, en todas las estaciones de muestreo de Primavera 2006 se obtuvieron valores bajo el límite de cuantificación del equipo, al igual que en Otoño 2007, a excepción de las estaciones de muestreo N° 2, N° 3 y N° 6 que presentaron una concentración de 0,0001 mg/L. En otoño 2007, sólo dos estaciones de muestreo presentaron valores bajo el límite de cuantificación del equipo, todas las demás presentaron una concentración de 0,0001 mg/L.

En aguas sin filtrar, la mayor concentración se obtuvo durante la estación de Otoño 2006, con un valor de 0,0002 mg/L en las estaciones de muestreo N° 8, N° 9, N° 10 y N° 11 y en la estación de muestreo N° 7, en Otoño 2007.

Cromo

En aguas filtradas, en todas las estaciones de muestreo y en cada uno de los muestreos, las concentraciones presentaron valores bajo el límite de cuantificación del equipo.

En aguas sin filtrar, sólo cuatro muestras presentaron un valor detectable por el equipo, cuyo valor fue de 0,003 mg/L y corresponde a las muestras N° 4, N° 5, N° 6 y N° 7, todas en Primavera 2005.

Cobre

En aguas filtradas, la concentración mayor se obtuvo en las muestras N° 6 y N° 9 en Otoño 2007, cuyo valor fue de 0,011 mg/L para ambas, mientras que la menor concentración presentó un valor de 0,002 mg/L en las muestras N° 9, en Primavera 2005, N° 1, N° 7 en Otoño 2006 y N° 3 en Primavera 2006.

En aguas sin filtrar se obtuvo la mayor concentración en Otoño 2007 en la estación de muestreo N° 10 con un valor de 0,028 mg/L, mientras que la más baja se obtuvo en las estaciones de muestreo N° 1 en Primavera 2005 y N° 1 en Primavera 2006, ambas con un valor de 0,006 mg/L.

Hierro

En aguas filtradas, se obtuvo la mayor concentración en Otoño 2006 en la estación de muestreo N° 5 cuyo valor fue de 0,335 mg/L. La menor concentración se obtuvo en Primavera 2005 en la estación de muestreo N° 8 cuyo valor fue de 0,015 mg/L.

En aguas sin filtrar, se obtuvo la mayor concentración en Primavera 2005, en la estación de muestreo N° 5, con un valor de 0,762 mg/L. La concentración más baja se obtuvo en Primavera 2006, en la estación de muestreo N° 1 cuyo valor fue de 0,0525 mg/L.

Molibdeno

Tanto en muestras de aguas filtradas como sin filtrar, de las diferentes estaciones de muestreo y en cada uno de los muestreos, las concentraciones presentaron valores bajo el límite de cuantificación del equipo.

Manganeso

En aguas filtradas la mayor concentración se obtuvo en Primavera 2005 en la estación de muestreo N° 9 cuyo valor fue de 0,0102 mg/L, mientras que la menor concentración se obtuvo en Otoño 2007 en las estaciones de muestreo N° 4, N° 6 y N° 9 con un valor de 0,001 mg/L.

En aguas sin filtrar, se obtuvo la mayor concentración en otoño 2006 en la estación de muestreo N° 5, con un valor de 0,092 mg/L y la menor concentración se obtuvo en Primavera 2006 en La estación de muestreo N° 1, cuyo valor fue de 0,0015 mg/L.

Níquel

En aguas filtradas, sólo cinco muestras presentaron una concentración detectable por el equipo, siendo la de mayor concentración la muestra N° 7 en Otoño 2006 con un valor de 0,0004 mg/L. La menor concentración cuyo valor fue de 0,0003 mg/L, se obtuvo en las estaciones de muestreos N° 8 en Otoño 2006, N° 7 en Primavera 2006, N° 1 y N° 2 en Otoño 2007.

En aguas sin filtrar la mayor concentración se obtuvo en Otoño 2006 en la estación de muestreo N° 4, mientras que la menor concentración fue en Primavera 2005, en la estación de muestreo N° 2, con un valor de 0,001 mg/L.

Plomo

En aguas filtradas la mayor concentración se obtuvo en Primavera 2005 en la estación de muestreo N° 4 con un valor de 0,0016 mg/L y la menor concentración se obtuvo en Primavera 2006 en la estación de muestreo N° 6, cuyo valor fue de 0,0014 mg/L.

En aguas sin filtrar el valor de la mayor concentración fue de 0,002 mg/L que corresponden a las estaciones de muestreo N° 6 y N° 7, en Otoño 2007, mientras que el valor de la menor concentración fue de 0,001 mg/L que corresponden a las estaciones de muestreo N° 1 y N° 5, en Otoño 2006.

Zinc

En aguas filtradas la mayor concentración se obtuvo en Primavera 2006 en la estación de muestreo N° 1 con un valor de 0,0088 mg/L, mientras que la menor concentración fue de 0,0006 mg/L en Otoño 2006 en la estación de muestreo N° 1.

En aguas sin filtrar la mayor concentración fue de 0,0461 mg/L en Otoño 2007 en la estación de muestreo N° 4, mientras que la menor concentración se obtuvo en Primavera 2006 en la estación de muestreo N° 6, con un valor de 0,0010 mg/L.

DISCUSIÓN

En la actualidad existen pocos estudios referentes a la caracterización química de las aguas del río Cruces, por ello no es posible comparar en forma extensa todos los puntos de muestreos de este estudio, salvo en las estaciones de Rucaco (Nº 8) y Fuerte San Luis (Nº 11), que son los que más se han estudiados en el último tiempo a causa del desastre ocurrido en el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, en relación a la desaparición de los cisnes de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*). A pesar de ello esta investigación podrá servir de referencia para futuros análisis en la misma área de estudio.

Después de realizar los cálculos de desviación estándar y de la media (sacados para poder comparar el comportamiento entre estaciones del año), para cada uno de los elementos analizados, no se incluyeron los datos obtenidos de los puntos de muestreo Nº 4 y Nº 5 que corresponden a Puente Leufucade Nº 1 y Puente Leufucade Nº 2, respectivamente, ya que pertenecen a un afluente del río Cruces y se comportan de diferente manera al tener un caudal menor, por ende presentando concentraciones mayores. Sin embargo los datos igual se encuentran en las tablas para tener referencias de estos puntos muestreados.

Al comparar las concentraciones obtenidas en las muestras de agua del río Cruces, en las estaciones de Primavera 2005, Otoño 2006, Primavera 2006 y Otoño 2007, con los criterios establecidos en la Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de residuos líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales, D.S. Nº 90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (D.O 07.03.2001) todos los metales

analizados se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos (ANEXO 5, Tabla N° 25).

Considerando los criterios establecidos en la Norma Chilena Oficial (NCh409/1.Of2005) para Agua Potable (ANEXO 5, Tablas N° 26 y N° 27) el único metal pesado de los analizados en este estudio, que iguala o supera el límite máximo establecido por esta Norma, es el Hierro en los puntos de muestreo N° 1 (Sub.CGE, Loncoche), N° 2 (Puente Reyes), N° 3 (Puente Cruces), N° 5 (Puente Leufucade N° 2), N° 6 (Puente Negro) y N° 7 (Puente Raluya), presentándose el valor más alto en Otoño 2006.(ANEXO 5, Tablas N° 9, N° 11, N° 17 y N° 23)

En los datos históricos proporcionados por el Informe Final de la CONAMA-UACH (2005) (ANEXO 5, Tabla N° 28) se observa que los valores de Hierro soluble fueron entre 0,050 - 0,460 mg/L en la estación 2 (Rucaco) y en el mismo punto del presente estudio (Estación de muestreo N° 8) los valores fluctuaron para las muestras filtradas entre 0,015 – 0,172 mg/L y para las muestras sin filtrar entre 0,18 – 0,298 mg/L. A su vez para el mismo metal en la estación 3 (Fuerte San Luis) cuyos valores fueron entre 0,110 – 2,53 mg/L, comparado con el punto de muestreo N° 11, del presente estudio los valores fluctuaron para las muestras filtradas y sin filtrar entre 0,052 – 0,195 mg/L y 0,175 – 0,269 mg/L, respectivamente. Para ambas estaciones de muestreo los valores obtenidos en este estudio son más bajos que los datos históricos, lo que se podría deber que al ponerse en efecto la Norma D.S N° 90/00, las industrias que existían a la fecha en la cuenca del río Cruces y las posteriores, debieron atenerse a la Norma vigente.

En relación al Cobre, en la estación 2 las concentraciones variaron entre 0,001 – 0,0012 mg/L según los datos históricos y los valores obtenidos en el punto de muestreo N° 8 del presente

estudio en aguas filtradas y sin filtrar fluctuaron entre 0,0025 – 0,008 mg/L y 0,0093 – 0,020 mg/L, respectivamente. En ambos casos los valores obtenidos son más altos que los datos históricos, presentándose el mayor valor en aguas sin filtrar en Otoño 2007, con un valor de 0,02 mg/L, incluso también con el valor más bajo que fue de 0,023 mg/L en Primavera 2005 en aguas filtradas. Por otro lado en la estación 3, el mismo metal presentó concentraciones que fluctuaron entre 0,002 – 0,027 mg/L, mientras que en el presente estudio (estación de muestreo N° 11) las concentraciones variaron entre 0,004 – 0,008 mg/L y 0,0092 – 0,019 mg/L, para aguas filtradas y sin filtrar, respectivamente. En ambos casos se observa que los datos se encuentran dentro de los valores de los datos históricos.

Para Manganeseo los valores obtenidos de los datos históricos en la estación 2, fueron entre 0,004 – 0,026 mg/L y en la estación de muestreo N° 8 del presente estudio, los valores fluctuaron entre 0,004 – 0,0082 mg/L y 0,0094 – 0,0280 mg/L para aguas filtradas y sin filtrar, respectivamente siendo en Primavera 2005 con un valor de 0,0280 mg/L, el único valor, levemente superior a la concentración más alta del rango histórico (ANEXO 5, Tabla N° 28). En el caso de la estación 3, los datos históricos señalan que los valores para el mismo metal, fueron entre 0,007 – 0,042 mg/L y los resultados del presente estudio, en el mismo lugar (punto de muestreo N° 11) fueron 0,001 – 0,008 mg/L y 0,008 – 0,0159 mg/L para aguas filtradas y sin filtrar, respectivamente. Todos los valores resultaron ser menores que los datos históricos.

Los datos históricos señalan que las concentraciones para el metal Zinc, encontradas en la estación 2 entre los años 1995 a 2005, fluctuaron entre 0,002 – 0,330 mg/L y para la estación 3, en los mismos años, fueron 0,003 – 0,060 mg/L. Comparándolos con los datos obtenidos en los mismos puntos de muestreo en este estudio (N° 8 y N° 11) los valores fueron en el primer caso entre 0,0009 – 0,0032 mg/L y 0,0045 – 0,0091 mg/L en aguas filtradas y sin filtrar. En el segundo

caso los valores fueron de 0,0011 – 0,0050 mg/L y 0,0046 – 0,0257 mg/L en aguas filtradas y sin filtrar, respectivamente. En ambos casos los valores obtenidos en el presente estudio son menores a los de referencia.

Analizando los resultados obtenidos en este estudio con los datos proporcionados en el informe final de la CONAMA-UACH (2005) (ANEXO 5, Tablas N° 29 y N° 30) en los puntos de muestreos Puente Rucaco y Fuerte San Luis, que corresponden a las estaciones 2 y 3 (Datos referencia) y estaciones de muestreos N° 8 y N° 11 (estudio actual), respectivamente, se observa que para Arsénico se obtuvieron valores más altos en ambos puntos en este estudio, teniendo así valores de 0,003 mg/L en Otoño 2006 para punto de muestreo N° 8 y 0,0020 mg/L; 0,0012 mg/L en Otoño 2006, Otoño 2007, respectivamente para el punto de muestreo N° 11 en comparación con los valores obtenidos en las estaciones 2 y 3 que fueron de 0,001 y 0,0005 mg/L respectivamente.

En el caso del Aluminio, comparando los datos obtenidos entre Abril y Diciembre del 2004 podemos observar que en el último mes de ese año la concentración registrada fue de 0,46 mg/L en la estación 2 y en el estudio actual en el mismo punto (N° 8) fue 0,101 mg/L en agua sin filtrar en Primavera 2005, siendo notablemente más baja. En el punto N° 11 del presente estudio, la concentración mas alta fue de 0,302 mg/L en aguas sin filtrar en Primavera 2005, siendo un valor levemente inferior al observado en Diciembre de 2005 que fue de 0,32 mg/L.

Para Cadmio en ambas estaciones (2 y 3), según los datos recolectados entre 2004 y Enero 2005 (ANEXO 5, Tabla N° 29) no se presentó concentración detectable por el equipo, sin embargo los puntos de muestreo N° 8 y N° 11 presentaron las siguientes concentraciones 0,0001 y 0,0002 mg/L, ambas en Otoño 2006, para agua filtrada y sin filtrar, respectivamente.

Los estudios realizados en el 2004, el Cobre presentó concentraciones bajo el límite de cuantificación del equipo y en enero 2005, las concentraciones fueron 0,01 y 0,02 mg/L en las estaciones 2 y 3, respectivamente, obteniendo en el estudio actual, en la estación N° 8 un valor de 0,020 mg/L, en agua sin filtrar, más alto que en enero 2005 y un valor levemente inferior en la estación N° 11 con un valor de 0,019 mg/L en aguas sin filtrar, con respecto a enero 2005.

Con respecto al Hierro disuelto los valores mas altos encontrados en los puntos N° 8 y N° 11 fueron en Otoño 2006, en aguas sin filtrar con valores de 0,298 y 0,269 mg/L, respectivamente en contraste con los valores mas altos entre el 2004 a enero 2005, que fueron de 0,32 y 0,33 mg/L, en la estaciones 2 y 3 respectivamente, observándose que las concentraciones del estudio actual son menores.

En cuanto al Manganeso se obtuvo una concentración de 0,0280 mg/L en aguas sin filtrar, en Primavera 2005 en el punto N° 8 versus el valor 0,03 mg/L en Julio de 1995, en el mismo punto, siendo el primero levemente inferior. Para el punto N° 11 el valor más alto fue en aguas sin filtrar concentrada en primavera 2006 con 0,0159 mg/L versus los 0,042 mg/L en la estación 3, en enero 2005, siendo este valor superior al actual.

La concentración de Níquel más alta en el punto N° 8 fue de 0,003 mg/L tanto para aguas filtradas y sin filtrar, ambas en Otoño 2006, siendo este valor mas bajo que el encontrado en el mismo punto en Julio y Diciembre de 1995 (0,01 mg/L), en tanto que para el punto N° 11 no hubo concentraciones detectables a diferencia de Julio (0,01 mg/L) y Diciembre (0,06 mg/L) en 1995.

El Plomo en los estudios realizados entre Abril a Diciembre del 2004 y Enero 2005 en las estaciones 2 y 3 no presentaron concentraciones detectables por el equipo, en cambio en el presente estudio el punto N° 11 presentó una concentración de 0,0012 mg/L en Primavera 2005

en aguas sin filtrar y en el punto N° 8, no presentó concentraciones superiores al límite de detección.

En los antecedentes proporcionados por la CONAMA-UACH en el informe final del 2005 las concentraciones de Zinc registradas en Abril y Diciembre de 2004 fueron de 0,03 y 0,01 mg/L en la estación 2 versus los 0,0032 y 0,0091 mg/L correspondiente a agua filtrada y sin filtrar en el mismo punto del estudio presente (N° 8), siendo el primer valor en Primavera 2005 y el segundo en Otoño 2007. En tanto en el mismo estudio anterior en los meses de Julio de 2004 y Enero de 2005, las concentraciones para este mismo metal en la estación 3 fueron de 0,03 y 0,02 mg/L, respectivamente, mientras que en el mismo punto del estudio actual (N° 11) el valor más alto fue de 0,0257 mg/L en Otoño 2007, en aguas sin filtrar, observándose un aumento moderado en la concentración en comparación con el valor de Enero 2005, mencionado anteriormente.

En el estudio realizado por Saldivia (2005) (ANEXO 5, Tablas N° 31 y N° 32), para la calidad de las aguas del río Cruces tomando en cuenta los datos de la estación 2, a lo que corresponde a aguas superficiales para los metales Cromo, Mercurio, Níquel y Plomo no presentaron concentraciones por sobre el límite de cuantificación del equipo, comparándolos con los datos del presente estudio en el punto N° 8 se observa que sucede lo mismo para Cromo, Mercurio y Plomo, pero no así para Níquel, que presenta una concentración de 0,003 mg/L tanto en aguas filtradas y sin filtrar, ambas en Otoño 2006. Para la estación 3 los metales Cromo y Mercurio, no presentaron concentraciones superiores al límite de cuantificación del equipo. Lo mismo sucede para los mismos metales en el punto N° 11 del estudio actual. El Níquel presentó una concentración de 0,0030 mg/L y el Plomo una concentración promedio de 0,0052 mg/L en la estación 3, comparando estos datos con los de punto N° 11 (estudio actual), se observa que para

Níquel no se presentaron concentraciones detectables por el equipo y para Plomo se presentó una concentración de 0,0012 mg/L en aguas sin filtrar en Primavera 2005, siendo este último valor por debajo del registrado por Saldivia (2005).

Para el metal Cadmio no presentaron concentraciones por sobre el límite de detección del equipo tanto en la estación 2 y 3 (superficie) en el estudio realizados por Saldivia (2005), sin embargo en los mismos puntos del presente estudio (N° 8 y N° 11) se observa que tanto en aguas filtradas y sin filtrar presentaron concentraciones de 0,0001 y 0,0002 mg/L, respectivamente, ambas en Otoño 2006, aunque son concentraciones bastante bajas, considerando que en los muestreos que corresponden a Primavera y Otoño 2006, no se detectaron concentraciones por sobre el límite de detección del equipo.

En el caso del Cobre la concentración promedio encontrada en la estación 2 (superficie) fue de 0,0096 mg/L y en la estación 3 (superficie) fue de 0,022 mg/L, según Saldivia (2005) y en los puntos N° 8 y N° 11 del presente estudio considerando las concentraciones más altas en ambos puntos los valores fueron de 0,020 y 0,019 mg/L, respectivamente (ambas en Otoño 2007), observándose que en el primer punto la concentración es más elevada que en la estación 2 y que en el punto que corresponde al Fuerte San Luis en este estudio (N° 11) resultó ser levemente inferior al presentado en la estación 3.

Con respecto al Hierro las concentraciones observadas en las estaciones 2 y 3 (superficie) fueron 0,32 y 0,31 mg/L, respectivamente, siendo los valores en el estudio actual menores que los señalados anteriormente para ambos puntos (N° 8 y N° 11) con cifras de 0,298 mg/L (Otoño 2007) y 0,269 mg/L (Otoño 2006) en aguas sin filtrar, respectivamente.

El Manganeso en las estaciones 2 y 3 (superficie) los valores promedios observados por Saldivia (2005) fueron de 0,0043 y 0,0380 mg/L, respectivamente, en cambio en los mismos estaciones

que corresponden a los puntos N° 8 y N° 11 de este estudio dieron valores de 0,0280 y 0,0159 mg/L en aguas sin filtrar en Primavera 2005 y Primavera 2006, respectivamente, viéndose que los valores actuales son menores que los mencionados anteriormente.

Para Zinc, a diferencia de los metales comparados hasta ahora, los valores obtenidos por Saldivia (2005) con los recolectados en este estudio, se mantienen en cifras relativamente constantes con valores promedios de 0,0096 y 0,023 mg/L en las estaciones 2 y 3, y valores de 0,0091 y 0,0257 mg/L en los puntos N° 8 y N° 11, ambos en aguas sin filtrar y en Otoño 2007.

CONCLUSIONES

En relación a las aguas filtradas:

- Los metales analizados en estas aguas fueron As, Ca, Mg y Hg. De estos elementos traza analizados las mayores concentraciones se presentaron para Ca y Mg.
- Las concentraciones más bajas para Ca y Mg se presentaron en Primavera 2006.
- Las concentraciones más altas para Mg se presentaron en Primavera 2005 y para Ca en Otoño 2006.
- Al comparar las concentraciones de Ca en cada uno de los puntos de muestreo que se obtuvieron en el año 2005 y 2006, ambos en Primavera, no se obtuvieron diferencias significativas, es decir las concentraciones se mantuvieron muy similares. Lo mismo ocurre al comparar la estación de Otoño en los años 2006 y 2007. Por el contrario si comparamos entre las estaciones Primavera y Otoño, si se presentan diferencias significativas, obteniendo concentraciones más altas en Otoño (época de bajo caudal).
- Se presentó una diferencia significativa en las concentraciones de Mg, al comparar la estación de Primavera en los años 2005 y 2006 (sin considerar los puntos mencionados anteriormente), siendo más alta en Primavera del 2005. Por el contrario, al comparar la estación de Otoño en los años 2006 y 2007, no se presentó diferencias significativas.

Además al comparar entre las estaciones Primavera y Otoño, se presentan diferencias significativas, obteniendo concentraciones más altas en Otoño.

- En el caso de As y Hg, casi todos los puntos de muestreo presentaron concentraciones menores al límite de detección del equipo y los puntos que presentaron estos metales, fueron concentraciones muy bajas.
- De acuerdo a las concentraciones promedio obtenidas en este estudio tenemos el siguiente orden para los metales $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{As} > \text{Hg}$.

En relación a las aguas filtradas y sin filtrar:

- Los elementos traza analizados en esta agua fueron Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb y Zn.
- En Primavera 2005 se presentaron las concentraciones más altas para los metales Al, Cr y Mn (en aguas sin filtrar).
- En Otoño 2006 se obtuvieron las concentraciones más altas para los metales Cd, Fe y Ni.
- En Primavera 2006 los metales que presentaron mayores concentraciones fueron Zn en aguas filtradas.

- En Otoño 2007 se presentaron las concentraciones más altas para los metales Cu, Pb y Zn en agua sin filtrar.
- En cada uno de los muestreos realizados, no se detectó Mo en aguas filtradas como sin filtrar.
- Ni y Pb en general no presentaron concentraciones tanto en aguas filtradas como sin filtrar, salvo en ciertos puntos de muestreo, pero en estaciones diferentes.
- Los elementos traza que presentaron concentraciones tanto en aguas filtradas como sin filtrar fueron Cu, Fe, Mn y Zn, siendo estos metales a su vez los que se encontraron en mayor concentración.
- Las concentraciones de Cu en aguas filtradas, presentaron diferencias significativas entre Primavera 2005 con Primavera 2006 y lo mismo para Otoño 2006 con Otoño 2007. Por el contrario no hubo diferencias significativas al comparar Primavera con Otoño.
- En aguas sin filtrar las concentraciones de Cu, presentaron diferencias significativas al comparar la estación de Otoño en los años 2006 y 2007, mientras que no hubo diferencias significativas al comparar las concentraciones en Primavera en los años 2005 y 2006.
- El Fe en aguas filtradas al comparar la estación de Primavera en los años 2005 y 2006, no hay diferencias significativas. Al comparar Otoño en los años 2006 y 2007, si hay

diferencia significativa en las concentraciones a lo largo del río Cruces, lo mismo ocurre al comparar la estación de Primavera con Otoño.

- En aguas sin filtrar el Fe presentó diferencias significativas entre Otoño y Primavera, no así entre Otoño 2006 y Otoño 2007, siendo las concentraciones siempre más altas en la estación de Otoño (época de bajo caudal).
- Las concentraciones de Mn en aguas filtradas presentó diferencias significativas entre Otoño 2006 y Otoño 2007, siendo más alta en Otoño 2006. Por el contrario las concentraciones de Mn en aguas sin filtrar se comportaron relativamente similares en cada una de las estaciones estudiadas.
- En cuanto al Zn en aguas filtradas, este presentó diferencias significativas al comparar Primavera 2005 con la misma estación del año 2006, resultando más alta en el 2005. mientras que al comparar Otoño 2006 con Otoño 2007 no hubo variaciones significativas.
- En aguas sin filtrar el Zn presentó diferencias significativas al comparar Otoño 2006 con Otoño 2007, en relación a su concentración, al contrario al comparar Primavera 2005 con Primavera 2006, no hubo mayores diferencias de concentración.
- De acuerdo a las concentraciones promedio obtenidas en este estudio tenemos el siguiente orden para los metales que se encontraron en mayor concentración: Fe > Zn > Cu > Mn.

- De acuerdo a las concentraciones promedio obtenidas en este estudio tenemos el siguiente orden para los metales que se encontraron en menor concentración:
 $Mo < Cd < Pb < Cr < Ni < Al$.
- En todos los casos, de cada uno de los elementos traza analizados en esta agua (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb y Zn), las muestras sin filtrar presentaron concentraciones mayores que en las filtradas.
- Los puntos de muestreo N°4 y N°5 (Puente Leufucade N°1 y Puente Leufucade N°2, respectivamente), no se incluyeron para determinar si había diferencias significativas entre las estaciones, ya que estos puntos son afluentes del río Cruces, sin embargo estos puntos en la mayoría de los casos presentaron concentraciones mas altas debido a que el flujo de estos ríos son menores a los del río Cruces. Además, estos mismos puntos de muestreo presentaron concentraciones más altas con respecto al río Cruces, en cada uno de los cuatro muestreos realizados.
- Para todos los metales analizados las concentraciones generalmente fueron más altas en Otoño que en Primavera, debido a que en esta última estación el río Cruces presenta mayor caudal.
- En comparación con los estudios del año 2004 – 2005 de Saldivia y CONAMA – UACH, se observa claramente una disminución de las concentraciones de elementos traza o metales pesados en el río Cruces, lo que coincide con el mayor control de las emisiones de

acuerdo al D.S N° 90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (D.O 07.03.2001).

- Al analizar las muestras entre los años 2005 a 2007, queda en evidencia que los metales traza varían en cada estación del año, dependiendo las concentraciones tanto de factores climáticos como antropogénicos. Por lo tanto, después de comparar los resultados con otros estudios anteriores, la hipótesis planteada se acepta parcialmente, ya que se demuestra que dependiendo de las distintas actividades industriales que se desarrollan en la cuenca del río Cruces, este se ve afectado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adriano, D.C (1986) Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag. New York, p 533.

Alarcón, S. (2003) Determinación de Elementos traza (Cd, Cu, Ni, Pb, Hg y As) en Agua de Mar y Sedimento de la Bahía de Puerto Montt, Año 2002. Tesis, Escuela de Química y Farmacia, Facultad de Ciencias, Instituto de Química, Universidad Austral de Chile, 84pp.

Baran, J. (1995) Química Bioinorgánica. Mc. Graw-Hill interamericana, Madrid. 321 pp.

CONAMA-UACH.2005. Estudio sobre origen de mortalidades y disminución poblacional de aves acuáticas en el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, en la provincia de de Valdivia. Informe final. Dirección Regional CONAMA X^a Región de los Lagos-Universidad Austral de Chile.60 pp.

Doménech, X. (1995) Química de la hidrosfera. Origen y destino de los contaminantes. Ed. Miraguano, Madrid. 174pp.

Eisler, R. (2000) Handbook of Chemical Risk Assessment. Health Hazards to Humans, Plants, and Animals, Volumen 1 Metals. Lewis Publishers Boca Ratón, London New York Washington, D.C.

Eisler, R. (2000) Handbook of Chemical Risk Assessment. Health Hazards to Humans, Plants, and Animals, Volumen 3 Metalloids, Radiation, Cumulative Index to chemicals and Species. Lewis Publishers Boca Ratón, London New York Washington, D.C.

Facetti, J, Dekov, V.M and Van Grieken, R. (1998) Heavy metals in sediments from the Paraguay River: a preliminary study *Science of the Total Environment* 209, 79-86.

Förstner, U., Ahlf, W and Calmano, W. (1993) Sediment quality objectives and criteria development in Germany. *Water Science Technology* 28(8-9), 307-316.

González, M., Banderas, J., Raya, C (1997) Cuantificación de plomo, cadmio y cromo mediante sialoquímica. *Salud Pública Méx.* 39(3), 179-186.

Gray, N. F. (1996) Calidad del Agua Potable, Problemas y Soluciones. Acribia S.A., Zaragoza, España, 365p.

Gurr, M. (1994) Calcium in Nutrition. *American Journal of Clinical*, 60, 744-750.

IPCS (Organization, International Programme Chemical Safety) (1981) Environmental Health Criteria 17, Manganese World Health Organization, Gêneva, Suiza.

IPCS (International Programme Chemical Safety) (2000) Environmental Health Criteria 200, Cooper. World Health Organization, Gêneva, Suiza.

IPCS (International Programme Chemical Safety) (2004) Environmental Health Criteria 63, Manganese and its Compounds. World Health Organization, G eneva, Suiza.

Koisek, F (2003) Health Significance of drinking water calcium and magnesium. National Institute of public Health.

Kosnett, M, MD, MPH (2005) Quelantes e intoxicación por metales pesados. En: Farmacología básica y clínica 9^a Ed.: 957-968. Manual Moderno, México

Lorca, X. (2005) “Análisis de (As, Ca, F, Fe, Mn y Mg) en aguas minerales y termales de la Novena y Décima Regiones de Chile”. Tesis, Escuela de Química y Farmacia. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile. 81 p.

Matte, T. (2003) Efectos del plomo en la salud de la niñez. Salud pública México. 42(2); 220-224.

Mellor, J. W. (1995) Química Inorg nica Moderna. Librería y Editorial El Ateneo, Buenos Aires, Argentina. 695-698pp.

Merck, H. (1999) Manual de Diagnóstico y Tratamiento. Harcourt, S.A, España, 2828p.

Moalla, S.M., Awadallah, R.M, Rashed, M.N. and Soltan, M.E. (1998) Distribution and chemical fractionation of some heavy metals in bottom sediments of Lake Nasser. *Hydrobiologia* 364, 31-40.

O.M.S (1981) Límites de Exposición Profesional a los metales Pesados que se recomiendan por razones de salud: Informe de un grupo de estudio de la OMS. 126pp.

Paris, B. (2000) Intoxicaciones: Epidemiología Clínica y Tratamiento. Santiago, Universidad Católica de Chile, 302p.

Purves, D. (1985) Trace element contamination of the environment. *Elsevier*, Ámsterdam, 260 pp.

Quilodrán, B. (2002) Síntesis y Caracterización de polímeros con capacidad extractivas de iones metálicos con impacto en el medio ambiente. Tesis de Magíster en ciencias, mención Química, Universidad de Concepción.

Quiroz, E; Saldivia, M y Jara, B “Estudio sobre la disminución del Luchecillo (*Egeria densa*) en el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter”, VIII Encuentro de Química Analítica y Ambiental, Iquique, Octubre 2006.

Rivas, B., Quilodrán, B y Quiroz, E. (2002) Removal Properties of Crosslinked Poly(2-acrylamido glycolic acid) for Trace heavy Metal Ions: Effect on pH, Temperature, Contact Time, and Salinity on the Adsorption Behavior. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 88, 2614-2621.

Rivas, B., Quilodrán, B y Quiroz, E. (2003) Trace Metal Ion Retention Properties of Crosslinked Poly(4-Vinylpyridine) and Poly(Acrylic Acid). *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 92, 2908-2916.

Rivas, B., Quilodrán, B y Quiroz, E. (2005) Metal Ion Retention Properties of Water-Insoluble Polymers Containing Carboxylic Acid Groups. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 99, 697-705.

Sabatier, M., Arnaud, M. J., Kastenmayer, P. A., Barclay, D (2002) Meal effect on magnesium bioavailability from mineral water in healthy women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 75, 65-71.

Saldivia, M. (2005) “Determinación de metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni, Pb y Zn) en hígado y riñón de Cisne de Cuello Negro (*Cygnus melancoryphus*), Luchecillo (*Egeria densa*), Sedimento y Agua, recolectados en el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter y Humedales adyacentes a la provincia de Valdivia”. Tesis, Escuela de Química y Farmacia. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile. 127p

Seki, T & Hiramio, Y. (2002) On line preconcentration and determination of traces of Lead in River-water and Seawater by Flow Injection-Flame Atomic Spectrometry and IPCMass Spectrometry. *Analytical Sciences* 18: 351-354.

Spiro, T. (2004) Química Medioambiental. 2º Edición. Pearson Educación, Madrid. 504 pp.

WHO, World Health Organization (2003) Iron in Drinking – water. Background document for development of World Health Organization *Guidelines for Drinking – water Quality*.

WHO, World Health Organization (2004) Manganese in Drinking – water. Background document for development of World Health Organization *Guidelines for Drinking – water Quality*.

WHO, World Health Organization (2003) Molybdeno in Drinking – water. Background document for development of World Health Organization *Guidelines for Drinking – water Quality*.

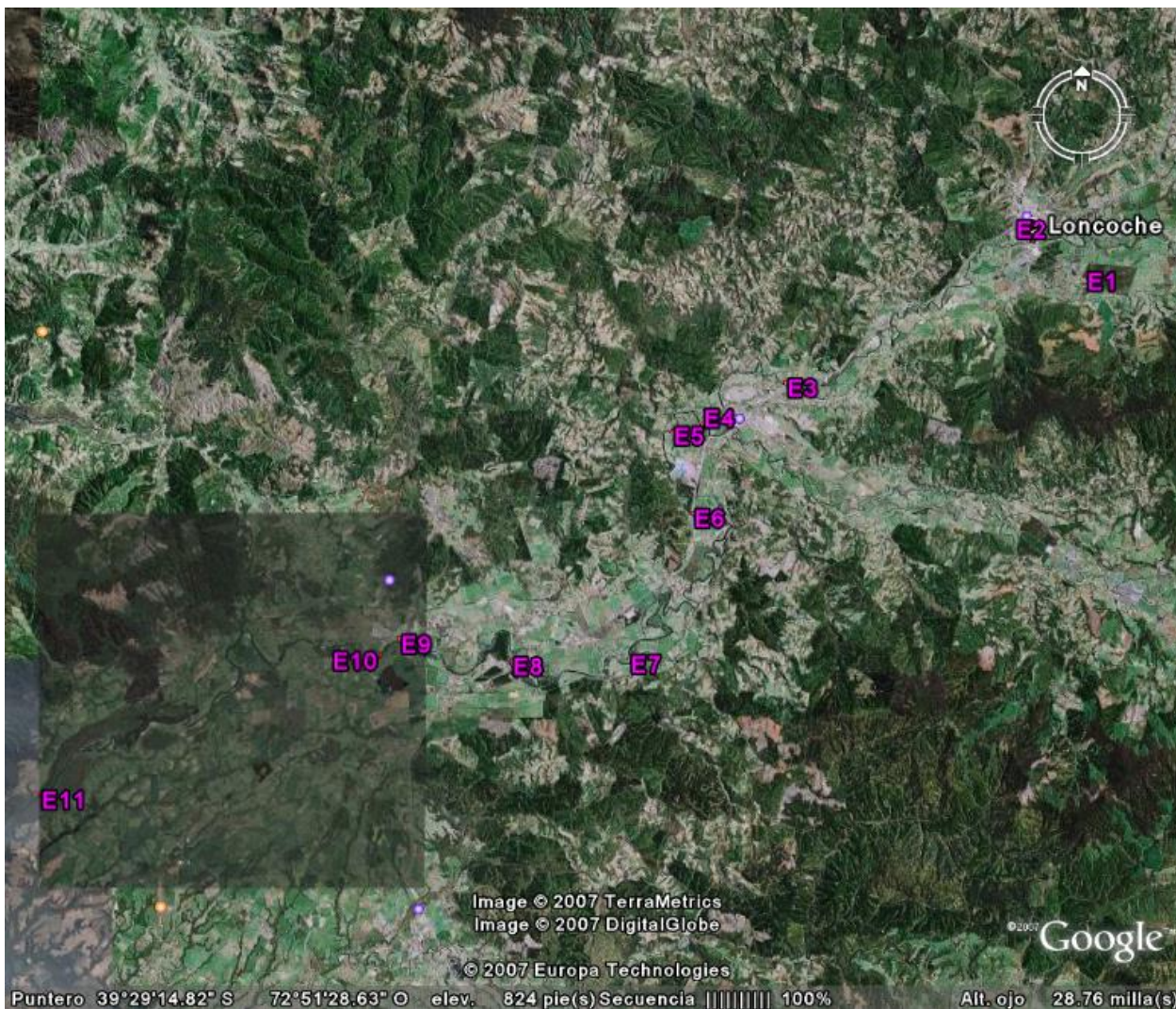
ANEXO 1

FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación de la zona de muestreo dentro del país.



Figura N° 2: Ubicación de la zona de muestreo a lo largo del río Cruces, Valdivia



- | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| E1: Subestación CGE, Loncoche | E2: Puente Reyes | E3: Puente Cruces |
| E4: Puente Leufucade N° 1 | E5: Puente Leufucade N° 2 | |
| E6: Puente Negro | E7: Puente Raluya | |
| E8: Puente Rucaco | E9: Puente Mariquina | |
| E10: Recinto PTAS San José | E11: Fuerte San Luis | |

Figura N° 3: Equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica UNICAN, modelo M-5



Figura N° 4: Equipo de purificación de agua para obtener agua suprapur libre de iones y minerales.



Figura N° 5: Placa térmica, utilizada para evaporar a sequedad las muestras de agua.



Figura N° 6: Espectrofotómetro de Absorción Atómica, Perkin Elmer, modelo 3110 y un generador de Hidruros.



ANEXO 2

METODOLOGÍA TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Análisis de muestras con Generador de Hidruros y Cool Vapor para determinación de As y Hg, respectivamente.

Preparación de estándares

Preparación estándar de Arsénico (As), concentración 1 ppm.

En un matraz de 50 mL se miden 0,75 mL de HNO₃, se agregan 5 mL de Arsénico 10 ppm (preparado a partir de una solución stock de Arsénico 1000 ppm), se afora con agua desionizada y se agita.

Preparación estándar de Mercurio (Hg), concentración 1 ppm.

Se toman 20 mL de una solución de Hg²⁺ 500 ppm y se aforan a 1000 mL con agua desionizada, obteniéndose una concentración de 10 ppm y luego se toman 5 mL de esta solución más 0,75 mL de HNO₃ y se afora con agua desionizada a 50 mL final.

Preparación de reactivos utilizados

Solución de Ácido Clorhídrico (HCl) al 2%

Bajo campana, se miden con macropipeta-Socorex 20 mL de ácido clorhídrico concentrado que se vierten en un matraz de 1000 mL, se afora con agua desionizada y se agita.

Solución de Yoduro de Potasio (KI) al 20 %

Se pesan 20 gramos de yoduro de potasio y se colocan en un matraz de 100 mL, se afora con agua desionizada agitando hasta disolución completa.

Solución de Borhidruro de Sodio (NaBH_4) al 3% e Hidróxido de Sodio (NaOH) al 1%

Se pesan en un vaso precipitado 15 gramos de Borhidruro de Sodio y 5 gramos de Hidróxido de Sodio, a la mezcla se le agrega una pequeña cantidad de agua desionizada y posteriormente se coloca en el sonicador, para disolver completamente la mezcla. Se filtra con papel Whatman y la solución filtrada se coloca en un matraz aforado de 500 mL completando el volumen con agua desionizada.

Análisis de las muestras

Para el análisis de Arsénico, se colocan en cada uno de los vasos de reacción 10 mL de HCl 2%, se le adicionan 200 μL de KI al 20% (para mantener el estado de oxidación (III) del arsénico) y se agregan 5 mL de la muestra (filtrada) a determinar. Posteriormente el vaso es colocado en el equipo donde el NaBH_4 se inyecta por 9 segundos. Se lee la absorbancia del blanco (vaso que contiene todos los reactivos menos la muestra), luego se lee un vaso con el estándar y finalmente todas las muestras a determinar (Todo esto se realiza a 900°C).

Para el análisis de Mercurio, en cada uno de los vasos de reacción se colocan 10 mL de HCl 2%, se agregan 200 μL de Permanganato de Potasio y 5 mL de la muestra (filtrada) a determinar. Luego el vaso es colocado en el equipo donde el NaBH_4 se inyecta por 6 segundos. Se lee la absorbancia del blanco (vaso que contiene todos los reactivos menos la muestra), luego se lee un vaso con el estándar y finalmente todas las muestras a determinar (Todo esto se realiza a 90°C).

La concentración de cada una de las muestras analizadas se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$C_M (\text{mg/L}) = \frac{C_{St} \times A_M \times V_{St} \times F}{A_{St} \times V_M}$$

Donde:

C_M : Concentración de la muestra.

C_{St} : Concentración del estándar.

A_M : Absorbancia de la muestra.

V_{St} : Volumen del estándar.

F : Factor de transformación (1 μ g/1000 ng).

A_{St} : Volumen del estándar.

V_M : Volumen de la muestra.

Análisis a la llama.

Preparación de estándares

Para realizar la curva de calibración y posteriormente la determinación de la concentración de los elementos Aluminio, Cadmio, Calcio, Cobre, Cromo, Hierro, Magnesio, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plomo y Zinc, en las muestras de agua superficial del Río Cruces, se prepararon tres estándares para cada uno de los elementos.

Las concentraciones de cada uno de los estándares usados, se resumen en la siguiente tabla:

Elemento	Estándar 1	Estándar 2	Estándar 3
Al	5	25	50
Cd	0,05	0,10	0,25
Ca	1	2,5	5
Cu	0,5	1	2
Cr	0,5	1	2
Fe	1	2,5	5
Mg	0,1	0,25	0,5
Mn	0,5	1	2
Mo	1	5	10
Ni	0,5	1	2
Pb	0,5	1	2
Zn	0,1	0,5	1

La concentración de los estándares se encuentra expresada en mg/L.

Se prepararon los estándares, de todos los elementos, a partir de estándares certificados Merck, cuya concentración es de 1000 ppm.

Preparación de reactivos utilizados

Solución de Ácido Nítrico (HNO_3) 1M

Bajo campana, se miden con macropipeta-Socorex 69,4 mL de HNO_3 concentrado que se vierten en un matraz aforado de 1000 mL, se afora con agua desionizada y se agita.

Solución de Cloruro de Lantano (LaCl_3) al 1%

Se pesan 20 gramos LaCl_3 en un vaso precipitado y se agrega un poco de agua desionizada para disolver, posteriormente la mezcla se vierte en un matraz aforado de 1000 mL y se afora con agua desionizada y se agita.

Metodología tratamiento de las muestras de agua

Se tomaron 550 mL de cada muestra, las cuales se filtraron al vacío utilizando un papel filtro Millipore de 0,45 μm . De esta agua filtrada, 50 mL se colocaron en una botella plástica y los otros 500 mL restantes se vertieron en un vaso precipitado (lavado previamente con HNO_3 5%) que se puso a la placa térmica a 100°C, para evaporar a sequedad el contenido líquido (se le adicionó a cada muestra filtrada 1 mL de HNO_3 1M). Posteriormente se dejó enfriar y se agregaron 20 mL de HNO_3 1 M quedando listas para su posterior análisis de metales traza.

Igualmente se tomaron 400 mL de cada muestra sin filtrar y se realizó el mismo procedimiento descrito anteriormente para las muestras filtradas.

Análisis de las muestras

Para leer las muestras se debe ingresar en el equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica (AAS) los siguientes datos: altura del quemador, flujo del gas, número de remuestra, tiempo de medición, método y tipo de llama, así como la concentración de cada uno de los estándares preparados para la curva de calibración. Además se debe ingresar el nombre, volumen inicial y volumen final de cada muestra para que el equipo de AAS pueda entregar la concentración corregida de cada una de éstas, una vez que ya han sido leídas.

Para el análisis de los metales traza Aluminio, Cadmio, Cobre, Cromo, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plomo y Zinc se utilizaron las muestras (por duplicado) filtradas y sin filtrar, ambas concentradas a 20 mL.

Para la lectura de Hierro en las muestras sin filtrar concentradas, se diluyo 3 veces la muestra, para lo cual se tomaron 1 mL de la muestra sin filtrar concentrada y se le adicionaron 2 mL de agua desionizada.

Para la lectura de Calcio y Magnesio se utilizo agua filtrada sin concentrar diluidas 3 y 5 veces respectivamente.

Para Calcio se tomaron 5 mL de la muestra a los cuales se le adicionaron 1,5 mL de LaCl_3 al 1% y 8,5 mL de agua desionizada para completar 15 mL.

Para Magnesio se tomaron 2 mL de la muestra a los cuales se le adicionaron 1 mL de LaCl_3 al 1% y 7 mL de agua desionizada para completar 10 mL.

ANEXO 3

RESULTADOS TABLAS

Tabla N° 1: Concentración (mg/L) de As y Hg en aguas filtradas del río Cruces, Primavera 2005.

Estaciones de muestreo	As	Hg
Subestación CGE, Loncoche	0,0003	<0,0005
Puente Reyes	0,0003	<0,0005
Puente Cruces	0,0003	<0,0005
Puente Leufucade N°1	<0,0002	<0,0005
Puente Leufucade N°2	0,0004	<0,0005
Puente Negro	<0,0002	<0,0005
Puente Raluya	<0,0002	<0,0005
Puente Rucaco	<0,0002	<0,0005
Puente Mariquina	0,0005	<0,0005
Recinto PTAS San José	<0,0002	<0,0005
Fuerte San Luis de Alba	<0,0002	<0,0005
Media	0,0002	---
Desviación estándar	0,0002	---

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

Tabla N° 2: Concentración (mg/L) de Ca y Mg en muestras de aguas filtradas del río Cruces, Primavera 2005.

Estaciones de muestreo	Ca	Mg
Subestación CGE, Loncoche	2,0	1,7
Puente Reyes	2,1	1,7
Puente Cruces	2,1	1,7
Puente Leufucade N°1	2,3	1,9
Puente Leufucade N°2	2,3	2,0
Puente Negro	2,0	1,8
Puente Raluya	2,1	1,9
Puente Rucaco	2,1	1,9
Puente Mariquina	2,2	1,9
Recinto PTAS San José	2,2	1,9
Fuerte San Luis de Alba	3,1	2,9
Media	2,21	1,93
Desviación estándar	0,34	0,37

Tabla N° 3: Concentración (mg/L) de Al, Cd, Cr, Cu, Fe en muestras de aguas filtradas del río Cruces, Primavera 2005.

Estaciones de muestreo	Al	Cd	Cr	Cu	Fe
Subestación CGE, Loncoche	<0,008	*	<0,002	0,0045	0,018
Puente Reyes	<0,008	*	<0,002	0,0025	0,031
Puente Cruces	<0,008	*	<0,002	0,0027	0,026
Puente Leufucade N°1	0,031	*	<0,002	0,0037	0,030
Puente Leufucade N°2	0,033	*	<0,002	0,0025	0,034
Puente Negro	0,011	*	<0,002	0,0035	0,017
Puente Raluya	0,011	*	<0,002	0,0027	0,018
Puente Rucaco	<0,008	*	<0,002	0,0025	0,015
Puente Mariquina	0,008	*	<0,002	0,0023	0,018
Recinto PTAS San José	<0,008	*	<0,002	0,0027	0,019
Fuerte San Luis de Alba	0,015	*	<0,002	0,0043	>0,21
Media	0,005	*	---	0,003	0,018
Desviación estándar	0,006	*	---	0,001	0,008

(*) Los datos de Cd no se midieron porque se acabó la muestra.

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

(>) Valores sobre el nivel de cuantificación del equipo (sobre el estándar más alto y no hubo posibilidad de diluirlo por falta de muestra).

Tabla N° 4: Concentración (mg/L) de Mo, Mn, Ni, Pb y Zn en muestras de aguas filtradas del río Cruces, Primavera 2005.

Estaciones de muestreo	Mo	Mn	Ni	Pb	Zn
Subestación CGE, Loncoche	*	0,0039	<0,001	<0,0007	0,0088
Puente Reyes	*	0,0043	<0,001	<0,0007	0,0047
Puente Cruces	*	0,0082	<0,001	<0,0007	0,0048
Puente Leufucade N°1	*	0,0046	<0,001	0,0016	0,0064
Puente Leufucade N°2	*	0,0073	<0,001	<0,0007	0,0037
Puente Negro	*	0,0016	<0,001	<0,0007	0,0038
Puente Raluya	*	0,0057	<0,001	<0,0007	0,0036
Puente Rucaco	*	0,0082	<0,001	<0,0007	0,0032
Puente Mariquina	*	0,0102	<0,001	<0,0007	0,0026
Recinto PTAS San José	*	0,0077	<0,001	<0,0007	0,0028
Fuerte San Luis de Alba	*	>0,12	<0,001	<0,0007	0,0050
Media	*	0,006	---	---	0,004
Desviación estándar	*	0,003	---	---	0,002

(*) Los datos de Mo no se midieron porque se acabó la muestra.

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

(>) Valores sobre el nivel de cuantificación del equipo (sobre el estándar más alto y no hubo posibilidad de diluirlo por falta de muestra).

Tabla N° 5: Concentración (mg/L) de Al, Cd, Cr, Cu, Fe en muestras de aguas sin filtrar del río Cruces, Primavera 2005.

Estaciones de muestreo	Al	Cd	Cr	Cu	Fe
Subestación CGE, Loncoche	0,084	*	<0,002	0,0060	*
Puente Reyes	0,045	*	<0,002	0,0058	*
Puente Cruces	0,136	*	<0,002	0,0080	*
Puente Leufucade N°1	0,060	*	0,003	0,0162	*
Puente Leufucade N°2	0,142	*	0,003	0,0111	*
Puente Negro	0,162	*	0,003	0,0051	*
Puente Raluya	0,052	*	0,003	0,0083	*
Puente Rucaco	0,101	*	<0,002	0,0093	*
Puente Mariquina	0,105	*	<0,002	0,0095	*
Recinto PTAS San José	0,040	*	<0,002	0,0083	*
Fuerte San Luis de Alba	0,302	*	<0,002	0,0092	*
Media	0,11	*	0,0006	0,008	*
Desviación estándar	0,082	*	0,001	0,002	*

(*) Los datos de Cd y Fe no se midieron porque se acabó la muestra.

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

Tabla N° 6: Concentración (mg/L) de Mo, Mn, Ni, Pb y Zn en muestras de aguas sin filtrar del río Cruces, Primavera 2005.

Estaciones de muestreo	Mo	Mn	Ni	Pb	Zn
Subestación CGE, Loncoche	*	0,0036	<0,001	<0,0007	0,0066
Puente Reyes	*	0,0037	0,001	<0,0007	0,0044
Puente Cruces	*	0,0236	<0,001	<0,0007	0,0083
Puente Leufucade N°1	*	0,0203	0,002	0,0015	0,0086
Puente Leufucade N°2	*	0,0327	<0,001	<0,0007	0,0085
Puente Negro	*	0,0417	<0,001	<0,0007	0,0049
Puente Raluya	*	0,0217	<0,001	<0,0007	0,0036
Puente Rucaco	*	0,0280	<0,001	<0,0007	0,0063
Puente Mariquina	*	0,0159	<0,001	<0,0007	0,0048
Recinto PTAS San José	*	0,0135	<0,001	<0,0007	0,0083
Fuerte San Luis de Alba	*	>0,2	<0,001	0,0012	0,0065
Media	*	0,017	---	---	0,006
Desviación estándar	*	0,013	---	---	0,002

(*) Los datos de Mo no se midieron porque se acabó la muestra.

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

(>) Valores sobre el nivel de cuantificación del equipo (sobre el estándar más alto y no hubo posibilidad de diluirlo por falta de muestra).

Tabla N° 7: Concentración (mg/L) de As y Hg en aguas filtradas del río Cruces, Otoño 2006.

Estaciones de muestreo	As	Hg
Subestación CGE, Loncoche	0,002	<0,0005
Puente Reyes	<0,001	<0,0005
Puente Cruces	<0,001	<0,0005
Puente Leufucade N°1	<0,001	<0,0005
Puente Leufucade N°2	<0,001	<0,0005
Puente Negro	0,002	<0,0005
Puente Raluya	0,002	<0,0005
Puente Rucaco	0,003	<0,0005
Puente Mariquina	<0,001	<0,0005
Recinto PTAS San José	<0,001	0,0006
Fuerte San Luis de Alba	0,002	<0,0005
Media	0,0012	---
Desviación estándar	0,001	---

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

Tabla N° 8: Concentración (mg/L) de Ca y Mg en muestras de aguas filtradas del río Cruces, Otoño 2006.

Estaciones de muestreo	Ca	Mg
Subestación CGE, Loncoche	2,8	0,7
Puente Reyes	3,8	1,5
Puente Cruces	2,5	1,5
Puente Leufucade N°1	3,0	1,8
Puente Leufucade N°2	5,6	2,4
Puente Negro	3,9	1,5
Puente Raluya	2,8	1,6
Puente Rucaco	2,8	1,6
Puente Mariquina	3,0	1,6
Recinto PTAS San José	3,0	1,6
Fuerte San Luis de Alba	3,4	1,8
Media	3,11	1,49
Desviación estándar	0,48	0,31

Tabla N° 9: Concentración (mg/L) de Al, Cd, Cr, Cu, Fe en muestras de aguas filtradas del río Cruces, Otoño 2006.

Estaciones de muestreo	Al	Cd	Cr	Cu	Fe
Subestación CGE, Loncoche	<0,02	0,0001	<0,003	0,002	0,110
Puente Reyes	<0,02	<0,0001	<0,003	<0,002	0,170
Puente Cruces	<0,02	<0,0001	<0,003	0,003	0,176
Puente Leufucade N°1	<0,02	0,0001	<0,003	0,004	0,143
Puente Leufucade N°2	<0,02	0,0001	<0,003	0,004	0,335
Puente Negro	<0,02	0,0001	<0,003	0,004	0,154
Puente Raluya	<0,02	0,0001	<0,003	0,002	0,171
Puente Rucaco	<0,02	0,0001	<0,003	0,005	0,172
Puente Mariquina	<0,02	0,0001	<0,003	<0,002	0,148
Recinto PTAS San José	<0,02	0,0001	<0,003	0,003	0,145
Fuerte San Luis de Alba	<0,02	0,0001	<0,003	0,004	0,195
Media	---	$7,7 \times 10^{-5}$	---	0,003	0,2
Desviación estándar	---	$4,4 \times 10^{-5}$	---	0,002	0,02

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

Tabla N° 10: Concentración (mg/L) de Mo, Mn, Ni, Pb y Zn en muestras de aguas filtradas del río Cruces, Otoño 2006.

Estaciones de muestreo	Mo	Mn	Ni	Pb	Zn
Subestación CGE, Loncoche	<0,01	0,006	<0,003	<0,001	0,0006
Puente Reyes	<0,01	0,003	<0,003	<0,001	0,0014
Puente Cruces	<0,01	0,005	<0,003	<0,001	0,0012
Puente Leufucade N°1	<0,01	0,004	<0,003	<0,001	0,0019
Puente Leufucade N°2	<0,01	0,061	<0,003	<0,001	0,0019
Puente Negro	<0,01	0,005	<0,003	<0,001	0,0009
Puente Raluya	<0,01	0,002	0,004	<0,001	<0,0004
Puente Rucaco	<0,01	0,004	0,003	<0,001	0,0024
Puente Mariquina	<0,01	0,008	<0,003	<0,001	0,0011
Recinto PTAS San José	<0,01	0,005	<0,003	<0,001	0,0012
Fuerte San Luis de Alba	<0,01	0,008	<0,003	<0,001	0,0011
Media	---	0,005	0,0007	---	0,001
Desviación estándar	---	0,002	0,001	---	0,001

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

Tabla N° 11: Concentración (mg/L) de Al, Cd, Cr, Cu, Fe en muestras de aguas sin filtrar del río Cruces, Otoño 2006.

Estaciones de muestreo	Al	Cd	Cr	Cu	Fe
Subestación CGE, Loncoche	0,03	0,0001	<0,003	0,013	0,370
Puente Reyes	0,05	0,0001	<0,003	0,009	0,360
Puente Cruces	0,03	0,0001	<0,003	0,002	0,356
Puente Leufucade N°1	0,03	0,0001	<0,003	0,008	0,268
Puente Leufucade N°2	<0,02	0,0001	<0,003	0,011	0,762
Puente Negro	0,03	0,0001	<0,003	0,010	0,330
Puente Raluya	0,02	0,0001	<0,003	0,013	0,249
Puente Rucaco	<0,02	0,0002	<0,003	0,012	0,247
Puente Mariquina	<0,02	0,0002	<0,003	0,013	0,270
Recinto PTAS San José	0,05	0,0002	<0,003	0,012	0,288
Fuerte San Luis de Alba	<0,02	0,0002	<0,003	0,014	0,269
Media	0,02	0,0001	---	0,01	0,30
Desviación estándar	0,02	$5,2 \times 10^{-5}$	---	0,004	0,05

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

Tabla N° 12: Concentración (mg/L) de Mo, Mn, Ni, Pb y Zn en muestras de aguas sin filtrar del río Cruces, Otoño 2006.

Estaciones de muestreo	Mo	Mn	Ni	Pb	Zn
Subestación CGE, Loncoche	<0,01	0,009	<0,003	<0,001	0,0112
Puente Reyes	<0,01	0,012	0,004	<0,001	0,0143
Puente Cruces	<0,01	0,012	<0,003	<0,001	0,0114
Puente Leufucade N°1	<0,01	0,011	0,006	<0,001	0,0118
Puente Leufucade N°2	<0,01	0,092	0,004	<0,001	0,0098
Puente Negro	<0,01	0,017	<0,003	<0,001	0,0074
Puente Raluya	<0,01	0,011	0,004	<0,001	0,0073
Puente Rucaco	<0,01	0,013	0,003	<0,001	0,0064
Puente Mariquina	<0,01	0,009	<0,003	<0,001	0,0054
Recinto PTAS San José	<0,01	0,010	<0,003	<0,001	0,0047
Fuerte San Luis de Alba	<0,01	0,009	<0,003	<0,001	0,0046
Media	---	0,011	0,001	---	0,008
Desviación estándar	---	0,003	0,001	---	0,003

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

Tabla N° 13: Concentración (mg/L) de As y Hg en aguas filtradas del río Cruces, Primavera 2006.

Estaciones de muestreo	As	Hg
Subestación CGE, Loncoche	<0,0008	<0,0005
Puente Reyes	<0,0008	<0,0005
Puente Cruces	<0,0008	<0,0005
Puente Leufucade N°1	0,0013	<0,0005
Puente Leufucade N°2	<0,0008	<0,0005
Puente Negro	<0,0008	<0,0005
Puente Raluya	<0,0008	<0,0005
Puente Rucaco	<0,0008	<0,0005
Puente Mariquina	<0,0008	<0,0005
Recinto PTAS San José	<0,0008	<0,0005
Fuerte San Luis de Alba	<0,0008	<0,0005
Media	---	---
Desviación estándar	---	---

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

Tabla N° 14: Concentración (mg/L) de Ca y Mg en muestras de aguas filtradas del río Cruces, Primavera 2006.

Estaciones de muestreo	Ca	Mg
Subestación CGE, Loncoche	2,2	0,98
Puente Reyes	1,5	1,03
Puente Cruces	1,4	1,00
Puente Leufucade N°1	2,1	1,27
Puente Leufucade N°2	2,0	1,22
Puente Negro	1,5	1,07
Puente Raluya	2,3	1,05
Puente Rucaco	2,2	1,06
Puente Mariquina	2,3	1,06
Recinto PTAS San José	2,2	1,00
Fuerte San Luis de Alba	2,2	1,08
Media	1,98	1,04
Desviación estándar	0,39	0,04

Tabla N° 15: Concentración (mg/L) de Al, Cd, Cr, Cu, Fe en muestras de aguas filtradas del río Cruces, Primavera 2006.

Estaciones de muestreo	Al	Cd	Cr	Cu	Fe
Subestación CGE, Loncoche	<0,07	<0,00009	<0,003	0,004	0,021
Puente Reyes	<0,07	<0,00009	<0,003	0,005	0,030
Puente Cruces	<0,07	<0,00009	<0,003	0,002	0,035
Puente Leufucade N°1	<0,07	<0,00009	<0,003	0,006	0,011
Puente Leufucade N°2	<0,07	<0,00009	<0,003	0,003	0,028
Puente Negro	<0,07	<0,00009	<0,003	0,003	0,044
Puente Raluya	<0,07	<0,00009	<0,003	0,003	0,057
Puente Rucaco	<0,07	<0,00009	<0,003	0,004	0,038
Puente Mariquina	<0,07	<0,00009	<0,003	0,007	0,041
Recinto PTAS San José	<0,07	<0,00009	<0,003	0,006	0,012
Fuerte San Luis de Alba	<0,07	<0,00009	<0,003	0,007	0,068
Media	---	---	---	0,005	0,04
Desviación estándar	---	---	---	0,002	0,02

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

Tabla N° 16: Concentración (mg/L) de Mo, Mn, Ni, Pb y Zn en muestras de aguas filtradas del río Cruces, Primavera 2006.

Estaciones de muestreo	Mo	Mn	Ni	Pb	Zn
Subestación CGE, Loncoche	<0,02	<0,001	<0,002	<0,001	0,0007
Puente Reyes	<0,02	<0,001	<0,002	<0,001	0,0008
Puente Cruces	<0,02	<0,001	<0,002	<0,001	0,0007
Puente Leufucade N°1	<0,02	<0,001	<0,002	<0,001	0,0009
Puente Leufucade N°2	<0,02	<0,001	<0,002	<0,001	<0,0006
Puente Negro	<0,02	<0,001	<0,002	0,001	<0,0006
Puente Raluya	<0,02	<0,001	0,003	<0,001	<0,0006
Puente Rucaco	<0,02	<0,001	<0,002	<0,001	0,0009
Puente Mariquina	<0,02	<0,001	<0,002	<0,001	0,0032
Recinto PTAS San José	<0,02	<0,001	<0,002	<0,001	0,0018
Fuerte San Luis de Alba	<0,02	<0,001	<0,002	<0,001	0,0022
Media	---	---	---	---	0,001
Desviación estándar	---	---	---	---	0,001

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

Tabla N° 17: Concentración (mg/L) de Al, Cd, Cr, Cu, Fe en muestras de aguas sin filtrar del río Cruces, Primavera 2006.

Estaciones de muestreo	Al	Cd	Cr	Cu	Fe
Subestación CGE, Loncoche	<0,07	<0,00009	<0,003	0,006	0,0525
Puente Reyes	<0,07	<0,00009	<0,003	0,011	0,0929
Puente Cruces	0,10	<0,00009	<0,003	0,011	0,2528
Puente Leufucade N°1	<0,07	<0,00009	<0,003	0,010	0,1889
Puente Leufucade N°2	<0,07	<0,00009	<0,003	0,013	0,0981
Puente Negro	<0,07	<0,00009	<0,003	0,014	0,1616
Puente Raluya	0,12	<0,00009	<0,003	0,010	0,3216
Puente Rucaco	<0,07	<0,00009	<0,003	0,017	0,1824
Puente Mariquina	0,07	<0,00009	<0,003	0,017	0,2309
Recinto PTAS San José	<0,07	<0,00009	<0,003	0,015	0,1710
Fuerte San Luis de Alba	<0,07	<0,00009	<0,003	0,014	0,2317
Media	0,03	---	---	0,01	0,189
Desviación estándar	0,05	---	---	0,004	0,082

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

Tabla N° 18: Concentración (mg/L) de Mo, Mn, Ni, Pb y Zn en muestras de aguas sin filtrar del río Cruces, Primavera 2006.

Estaciones de muestreo	Mo	Mn	Ni	Pb	Zn
Subestación CGE, Loncoche	<0,02	0,0015	<0,002	<0,001	0,0025
Puente Reyes	<0,02	0,0042	<0,002	<0,001	0,0026
Puente Cruces	<0,02	0,0132	<0,002	<0,001	0,0033
Puente Leufucade N°1	<0,02	0,0133	<0,002	<0,001	0,0028
Puente Leufucade N°2	<0,02	0,0061	<0,002	<0,001	0,0012
Puente Negro	<0,02	0,0094	<0,002	<0,001	0,0010
Puente Raluya	<0,02	0,0147	<0,002	<0,001	0,0041
Puente Rucaco	<0,02	0,0094	<0,002	<0,001	0,0045
Puente Mariquina	<0,02	0,0138	<0,002	<0,001	0,0037
Recinto PTAS San José	<0,02	0,0114	<0,002	<0,001	0,0044
Fuerte San Luis de Alba	<0,02	0,0159	<0,002	<0,001	0,0063
Media	---	0,010	---	---	0,004
Desviación estándar	---	0,005	---	---	0,002

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

Tabla N° 19: Concentración (mg/L) de As y Hg en aguas filtradas del río Cruces, Otoño 2007.

Estaciones de muestreo	As	Hg
Subestación CGE, Loncoche	0,0037	<0,0005
Puente Reyes	0,0014	<0,0005
Puente Cruces	<0,0007	<0,0005
Puente Leufucade N°1	<0,0007	<0,0005
Puente Leufucade N°2	<0,0007	<0,0005
Puente Negro	<0,0007	<0,0005
Puente Raluya	<0,0007	<0,0005
Puente Rucaco	0,0009	<0,0005
Puente Mariquina	0,0009	<0,0005
Recinto PTAS San José	<0,0007	<0,0005
Fuerte San Luis de Alba	0,0012	<0,0005
Media	0,0009	---
Desviación estándar	0,001	---

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

Tabla N° 20: Concentración (mg/L) de Ca y Mg en muestras de aguas filtradas del río Cruces, Otoño 2007.

Estaciones de muestreo	Ca	Mg
Subestación CGE, Loncoche	2,5	1,39
Puente Reyes	2,6	1,37
Puente Cruces	2,7	1,54
Puente Leufucade N°1	2,4	1,61
Puente Leufucade N°2	3,8	1,68
Puente Negro	2,7	1,45
Puente Raluya	3,2	1,54
Puente Rucaco	3,2	1,64
Puente Mariquina	2,3	1,72
Recinto PTAS San José	4,1	1,91
Fuerte San Luis de Alba	3,6	1,74
Media	2,99	1,59
Desviación estándar	0,58	0,18

Tabla N° 21: Concentración (mg/L) de Al, Cd, Cr, Cu, Fe en muestras de aguas filtradas del río Cruces, Otoño 2007.

Estaciones de muestreo	Al	Cd	Cr	Cu	Fe
Subestación CGE, Loncoche	<0,03	<0,0001	<0,003	0,009	0,071
Puente Reyes	<0,03	0,0001	<0,003	0,008	0,155
Puente Cruces	<0,03	0,0001	<0,003	0,008	0,166
Puente Leufucade N°1	<0,03	<0,0001	<0,003	0,007	0,102
Puente Leufucade N°2	<0,03	<0,0001	<0,003	0,008	0,085
Puente Negro	<0,03	0,0001	<0,003	0,011	0,122
Puente Raluya	<0,03	<0,0001	<0,003	0,008	0,128
Puente Rucaco	<0,03	<0,0001	<0,003	0,008	0,107
Puente Mariquina	<0,03	<0,0001	<0,003	0,011	0,089
Recinto PTAS San José	<0,03	<0,0001	<0,003	0,008	0,037
Fuerte San Luis de Alba	<0,03	<0,0001	<0,003	0,008	0,052
Media	---	$3,3 \times 10^{-5}$	---	0,009	0,103
Desviación estándar	---	0,00005	---	0,001	0,04

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

Tabla N° 22: Concentración (mg/L) de Mo, Mn, Ni, Pb y Zn en muestras de aguas filtradas del río Cruces, Otoño 2007.

Estaciones de muestreo	Mo	Mn	Ni	Pb	Zn
Subestación CGE, Loncoche	<0,02	0,005	0,003	<0,001	0,0016
Puente Reyes	<0,02	0,005	0,003	<0,001	0,0014
Puente Cruces	<0,02	0,002	<0,002	<0,001	0,0013
Puente Leufucade N°1	<0,02	0,001	<0,002	<0,001	<0,0006
Puente Leufucade N°2	<0,02	0,020	<0,002	<0,001	0,0019
Puente Negro	<0,02	0,001	<0,002	<0,001	<0,0006
Puente Raluya	<0,02	<0,001	<0,002	<0,001	<0,0006
Puente Rucaco	<0,02	<0,001	<0,002	<0,001	0,0014
Puente Mariquina	<0,02	0,001	<0,002	<0,001	0,0026
Recinto PTAS San José	<0,02	<0,001	<0,002	<0,001	0,0046
Fuerte San Luis de Alba	<0,02	<0,001	<0,002	<0,001	0,0018
Media	---	0,002	0,0006	---	0,002
Desviación estándar	---	0,002	0,001	---	0,001

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

Tabla N° 23: Concentración (mg/L) de Al, Cd, Cr, Cu, Fe en muestras de aguas sin filtrar del río Cruces, Otoño 2007.

Estaciones de muestreo	Al	Cd	Cr	Cu	Fe
Subestación CGE, Loncoche	0,05	0,0001	<0,003	0,011	0,293
Puente Reyes	0,24	0,0001	<0,003	0,018	0,497
Puente Cruces	0,08	0,0001	<0,003	0,016	0,385
Puente Leufucade N°1	0,08	<0,0001	<0,003	0,013	0,263
Puente Leufucade N°2	<0,03	<0,0001	<0,003	0,013	0,269
Puente Negro	0,07	0,0002	<0,003	0,017	0,355
Puente Raluya	0,04	<0,0001	<0,003	0,019	0,272
Puente Rucaco	0,06	<0,0001	<0,003	0,020	0,298
Puente Mariquina	<0,03	<0,0001	<0,003	0,028	0,263
Recinto PTAS San José	<0,03	<0,0001	<0,003	0,019	0,182
Fuerte San Luis de Alba	<0,03	<0,0001	<0,003	0,019	0,175
Media	0,06	$5,5 \times 10^{-5}$	---	0,02	0,30
Desviación estándar	0,07	$7,2 \times 10^{-5}$	---	0,004	0,10

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

Tabla N° 24: Concentración (mg/L) de Mo, Mn, Ni, Pb y Zn en muestras de aguas sin filtrar del río Cruces, Otoño 2007.

Estaciones de muestreo	Mo	Mn	Ni	Pb	Zn
Subestación CGE, Loncoche	<0,02	0,014	0,002	0,001	0,0294
Puente Reyes	<0,02	0,021	0,002	<0,001	0,0095
Puente Cruces	<0,02	0,020	<0,002	<0,001	0,0085
Puente Leufucade N°1	<0,02	0,014	<0,002	<0,001	0,0461
Puente Leufucade N°2	<0,02	0,018	<0,002	0,001	0,0176
Puente Negro	<0,02	0,021	<0,002	0,002	0,0103
Puente Raluya	<0,02	0,011	<0,002	0,002	0,0116
Puente Rucaco	<0,02	0,013	<0,002	<0,001	0,0091
Puente Mariquina	<0,02	0,011	<0,002	<0,001	0,0184
Recinto PTAS San José	<0,02	0,008	<0,002	<0,001	0,0318
Fuerte San Luis de Alba	<0,02	0,008	<0,002	<0,001	0,0257
Media	---	0,014	0,0004	0,0005	0,017
Desviación estándar	---	0,005	0,0008	0,0008	0,009

(<) Valores bajo el nivel de cuantificación del equipo (inferior al estándar más bajo).

ANEXO 4

GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Concentraciones de As en muestras de agua filtrada, en cada estación de muestreo y por estación del año.

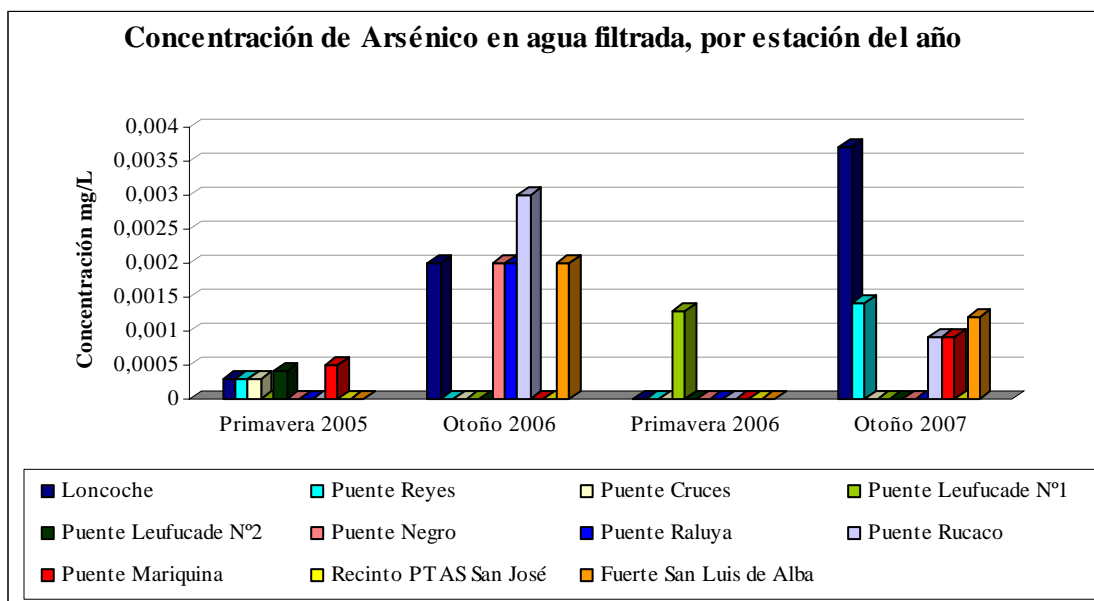


Gráfico N° 2: Concentraciones de Hg en muestras de agua filtrada, en cada estación de muestreo y por estación del año.

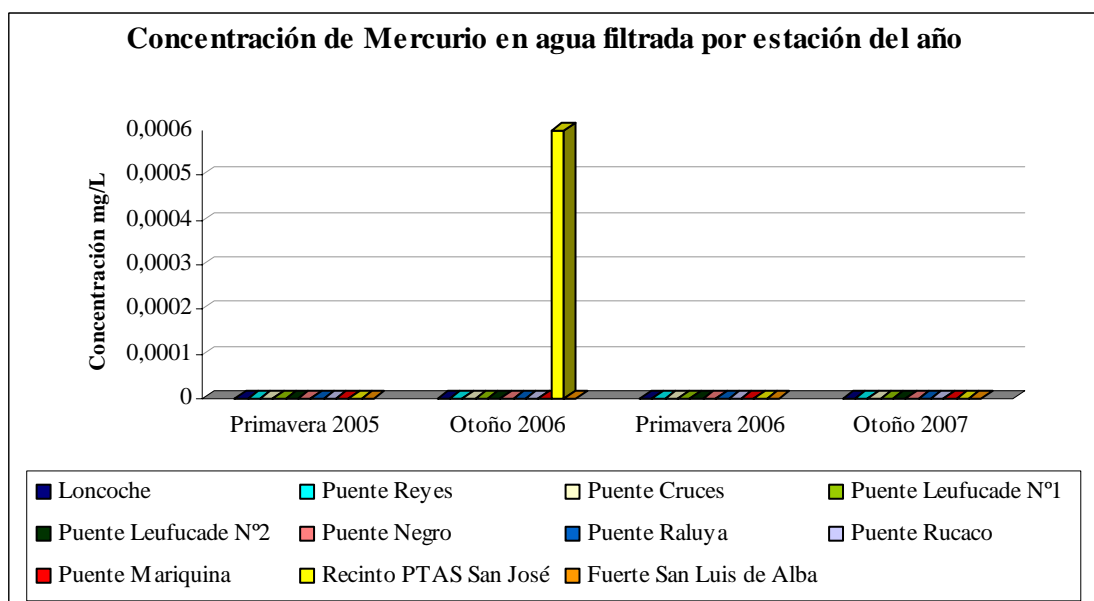


Gráfico N° 3: Concentraciones de Ca en muestras de agua filtrada, en cada estación de muestreo y por estación del año.

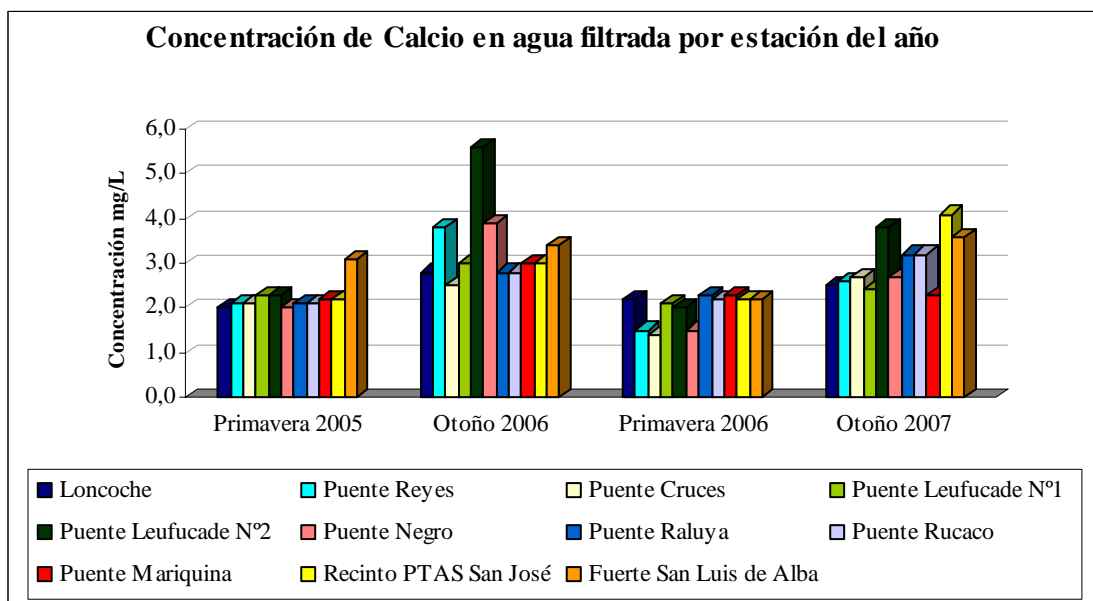


Gráfico N° 4: Concentraciones de Mg en muestras de agua filtrada, en cada estación de muestreo y por estación del año.

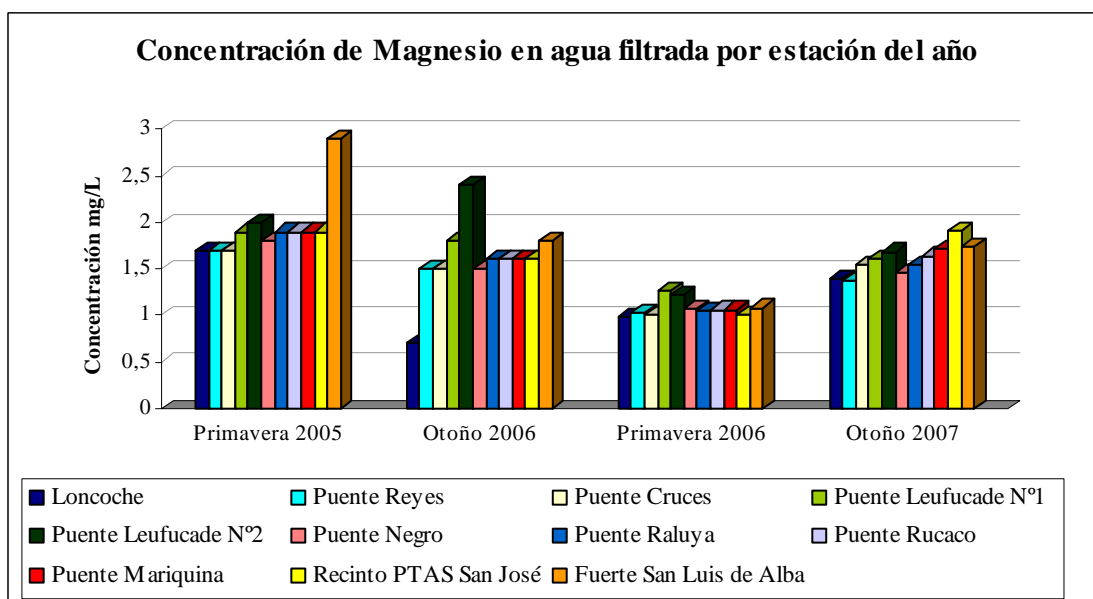


Gráfico N° 5: Concentraciones de Al en muestras de agua filtrada, en cada estación de muestreo y por estación del año.

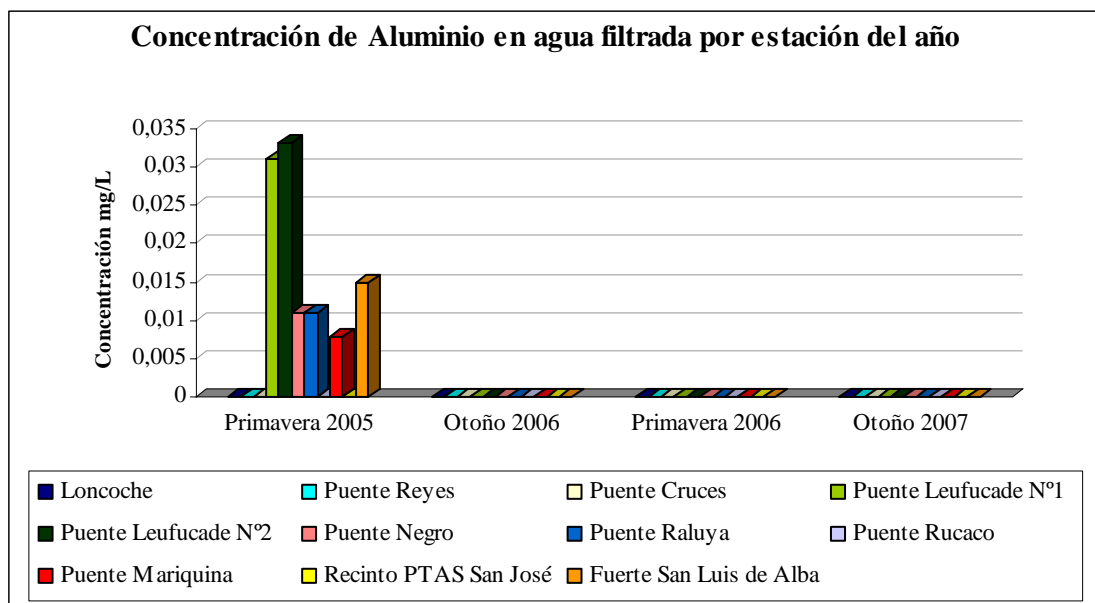


Gráfico N° 6: Concentraciones de Al en muestras de agua sin filtrar, en cada estación de muestreo y por estación del año.

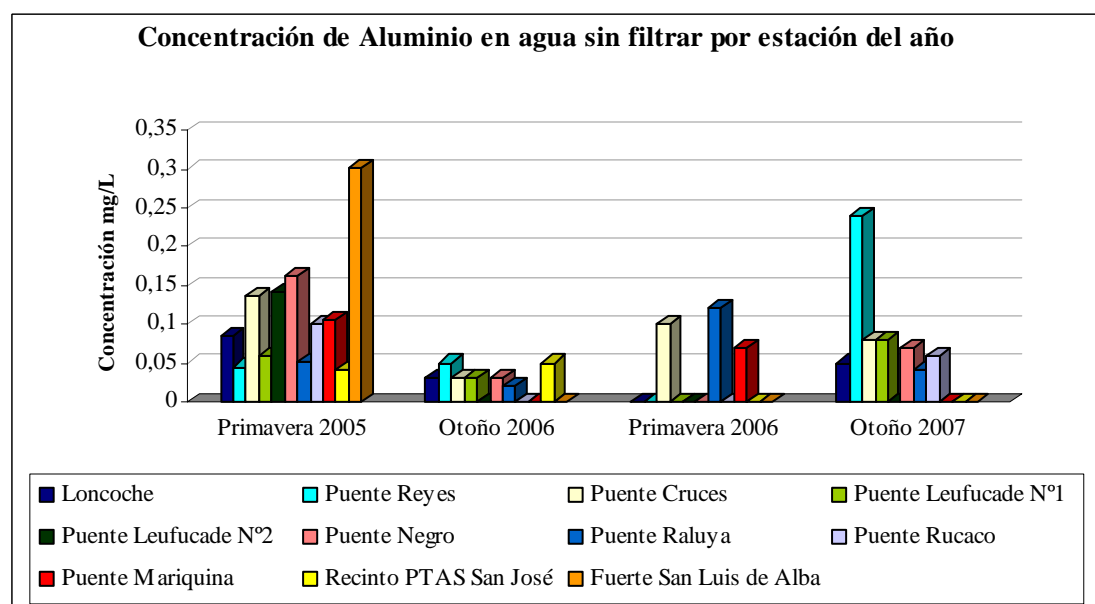


Gráfico N° 7: Concentraciones de Cd en muestras de agua filtrada, en cada estación de muestreo y por estación del año (no se midió en Primavera 2005).

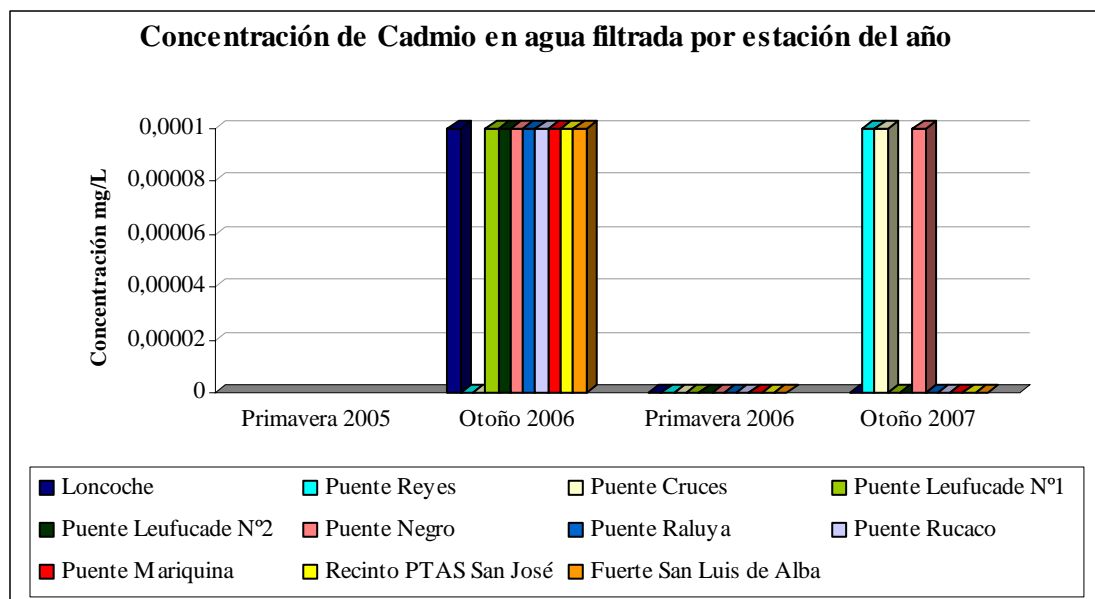


Gráfico N° 8: Concentraciones de Cd en muestras de agua sin filtrar, en cada estación de muestreo y por estación del año (no se midió en Primavera 2005).

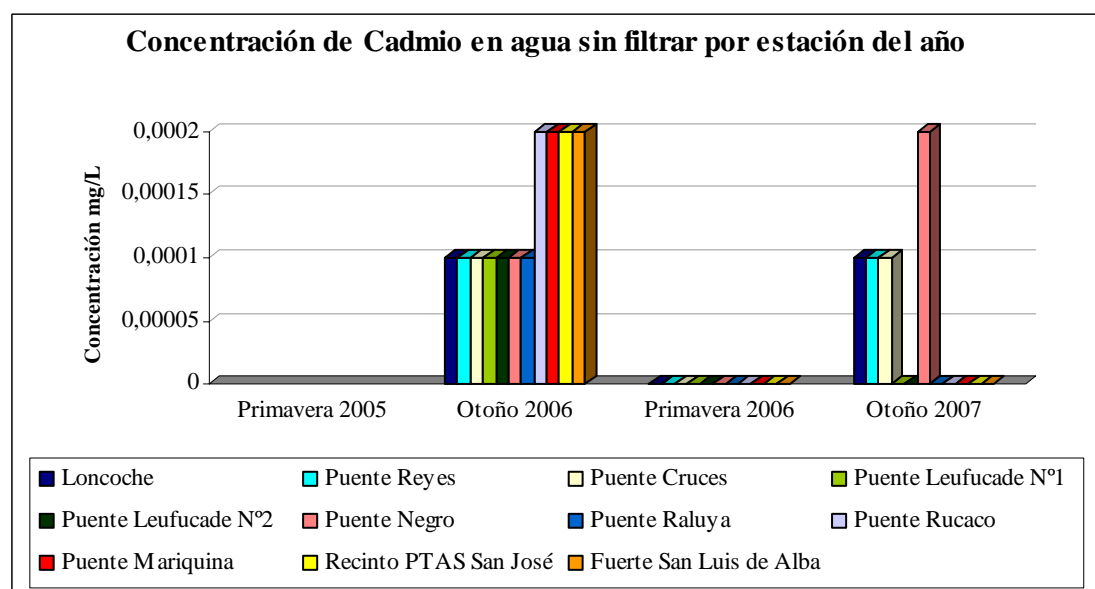


Gráfico N° 9: Concentraciones de Cr en muestras de agua filtrada, en cada estación de muestreo y por estación del año.

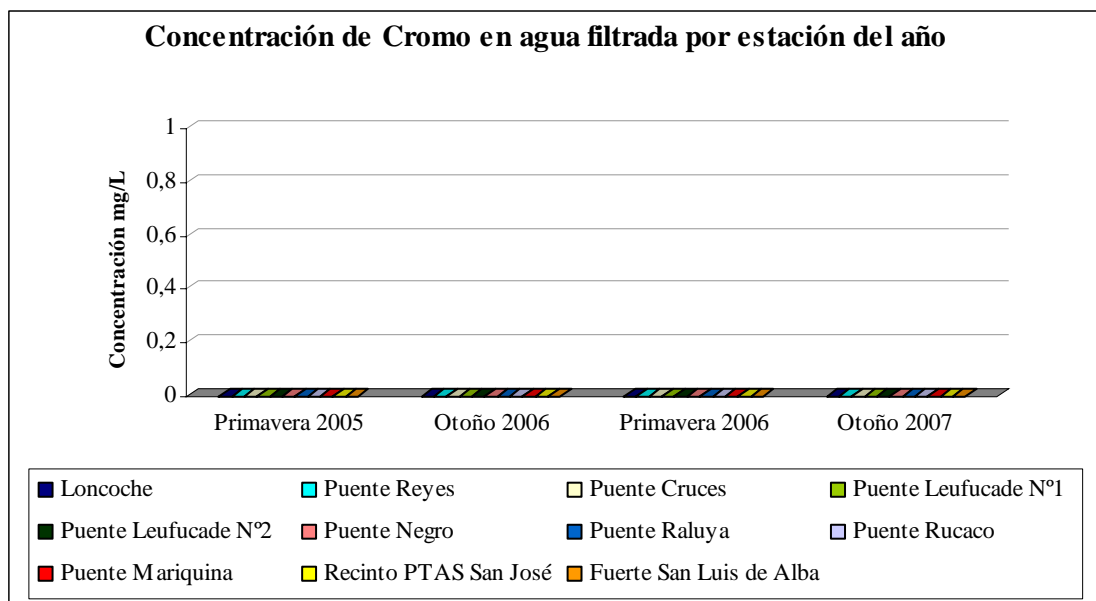


Gráfico N° 10: Concentraciones de Cr en muestras de agua sin filtrar, en cada estación de muestreo y por estación del año.

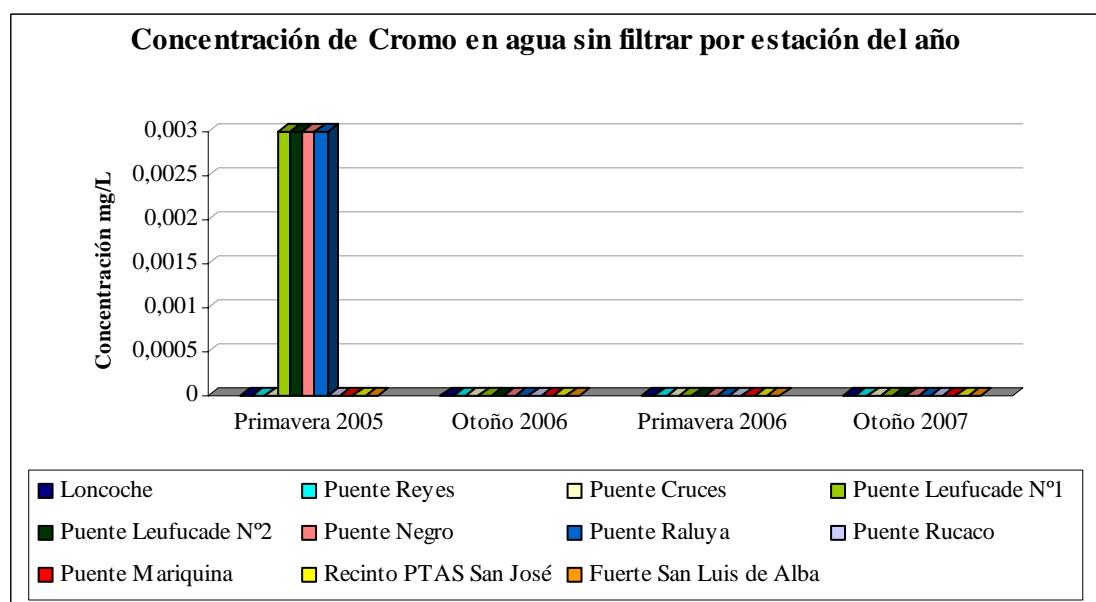


Gráfico N° 11: Concentraciones de Cu en muestras de agua filtrada, en cada estación de muestreo y por estación del año.

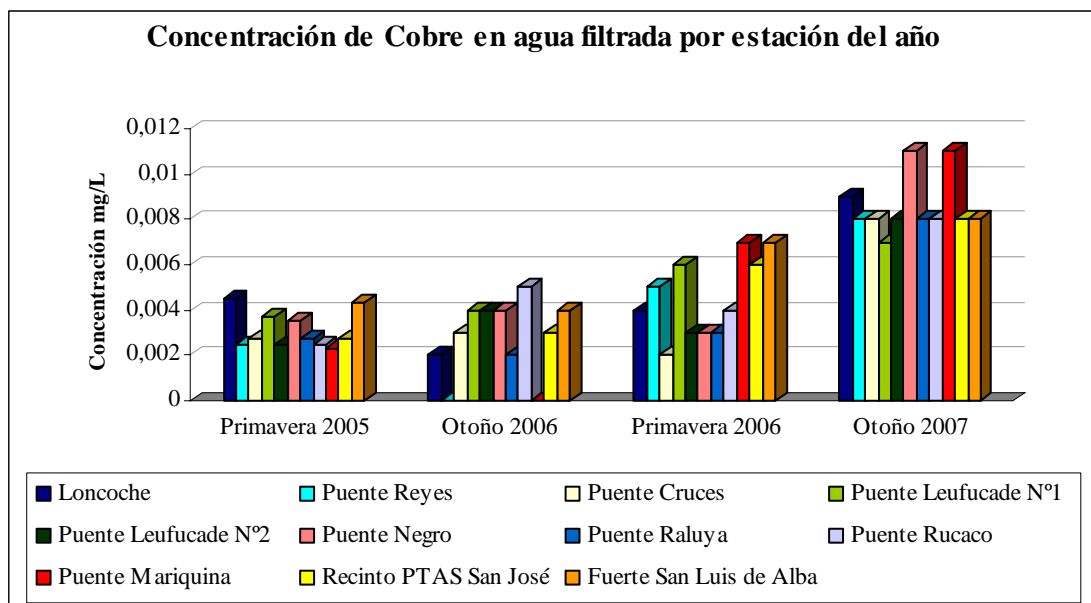


Gráfico N° 12: Concentraciones de Cu en muestras de agua sin filtrar, en cada estación de muestreo y por estación del año.

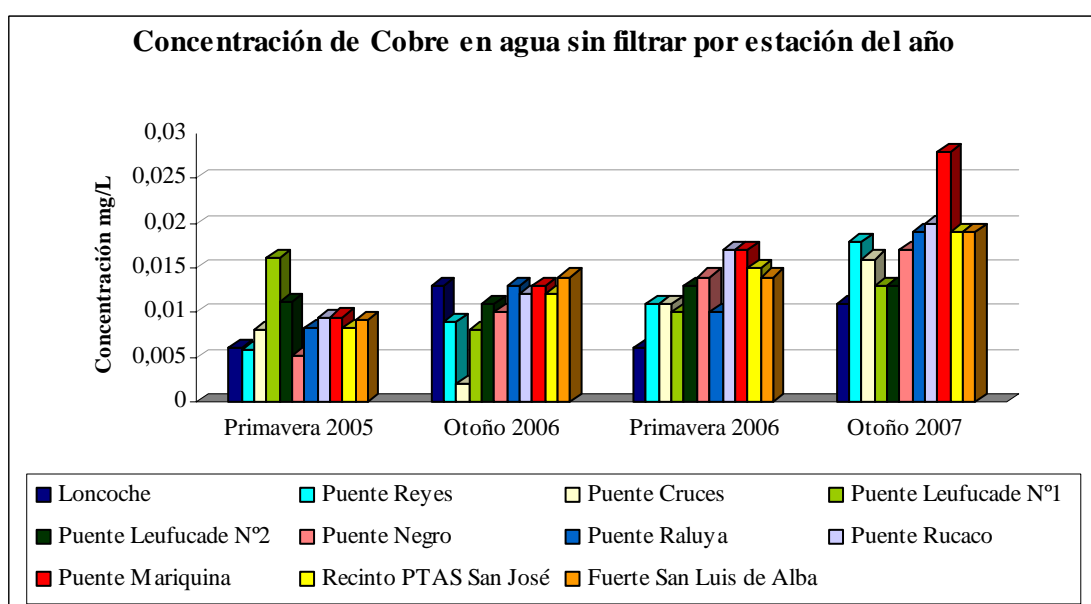


Gráfico N° 13: Concentraciones de Fe en muestras de agua filtrada, en cada estación de muestreo y por estación del año.

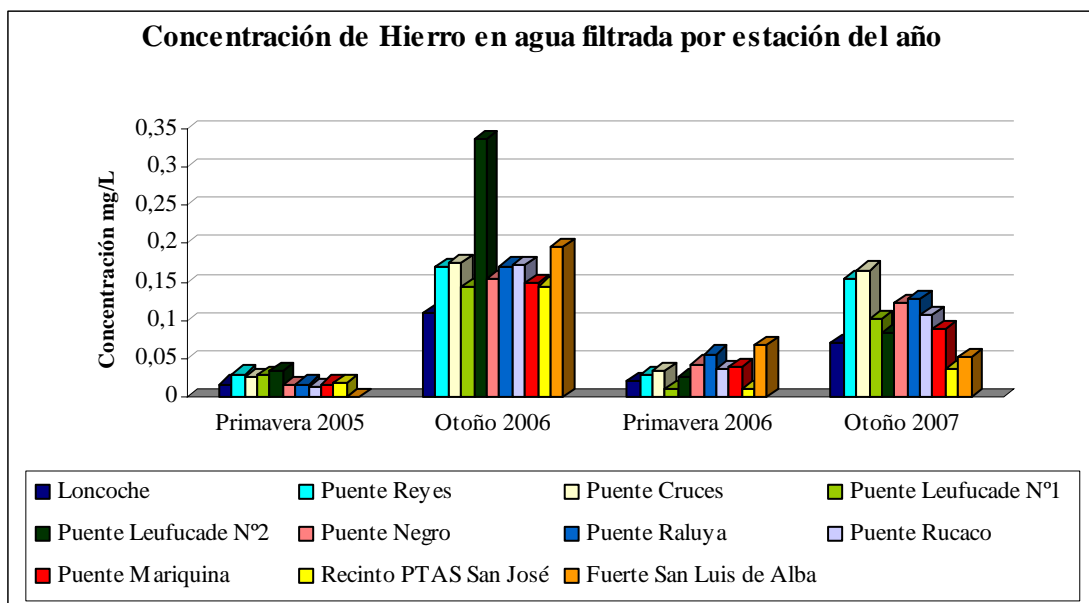


Gráfico N° 14: Concentraciones de Fe en muestras de agua sin filtrar, en cada estación de muestreo y por estación del año (no se midió en Primavera 2005).

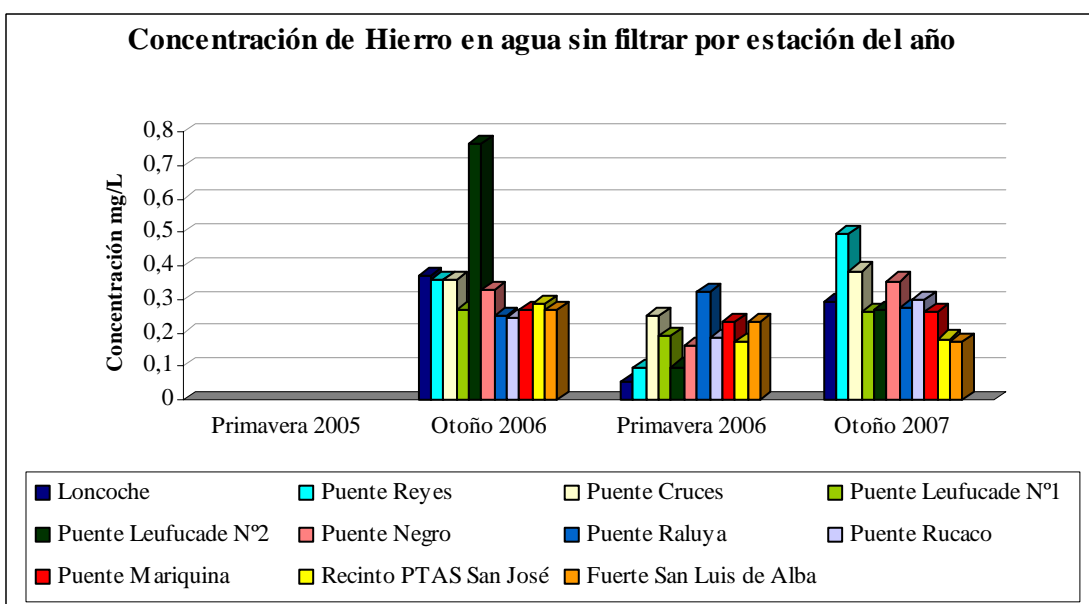


Gráfico N° 15: Concentraciones de Mn en muestras de agua filtrada, en cada estación de muestreo y por estación del año.

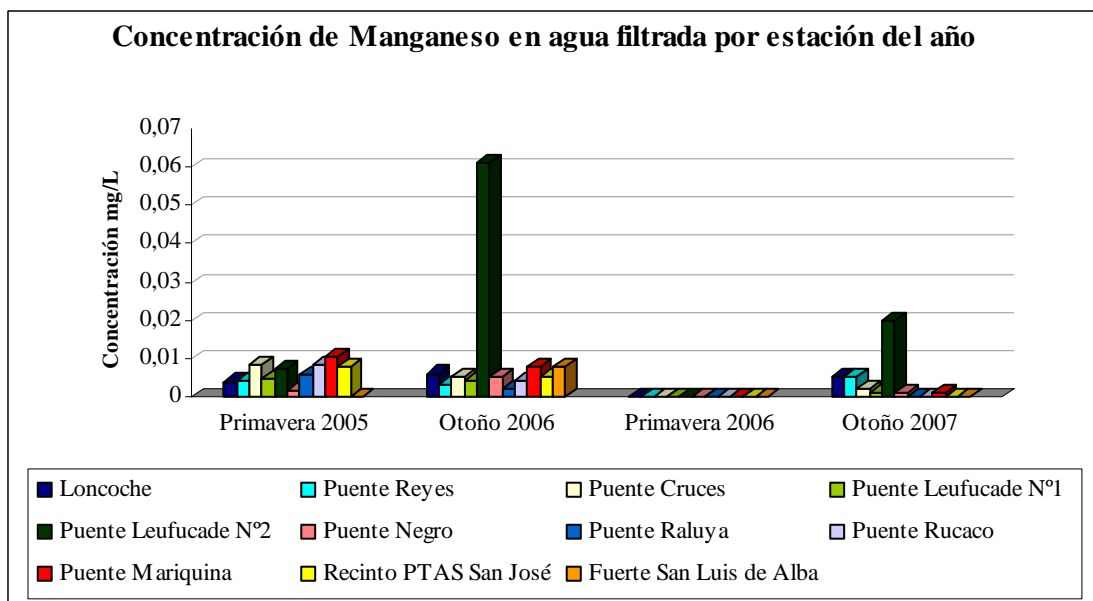


Gráfico N° 16: Concentraciones de Mn en muestras de agua sin filtrar, en cada estación de muestreo y por estación del año.

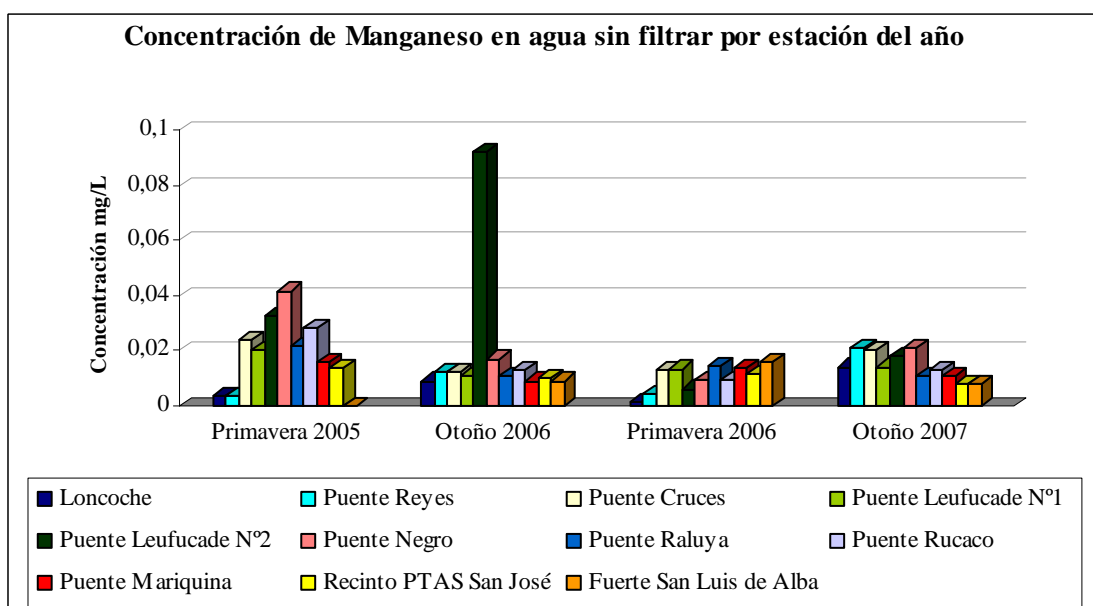


Gráfico N° 17: Concentraciones de Ni en muestras de agua filtrada, en cada estación de muestreo y por estación del año.

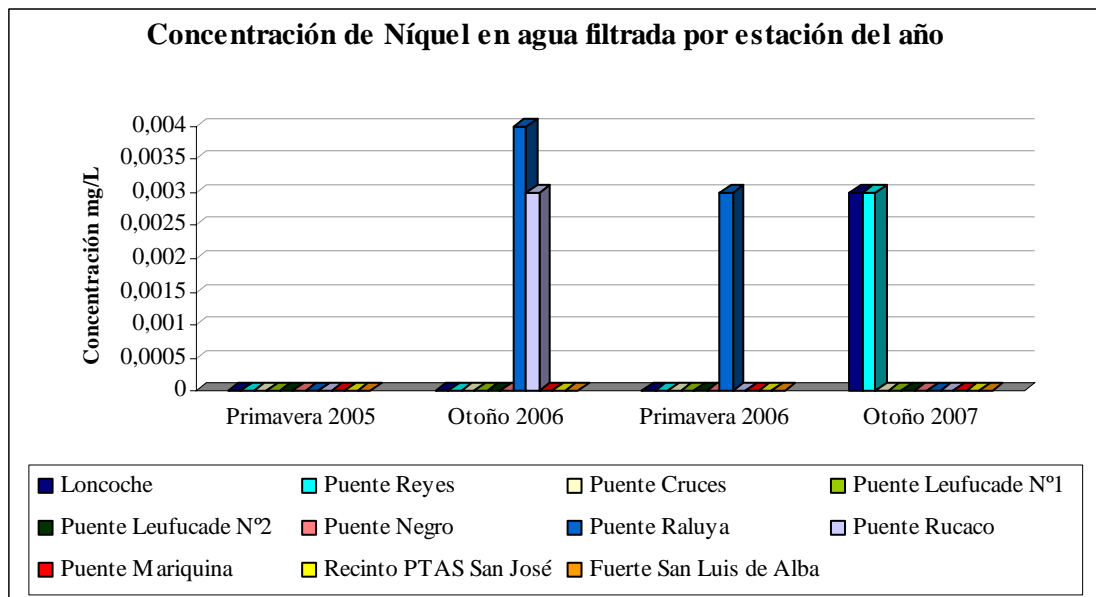


Gráfico N° 18: Concentraciones de Ni en muestras de agua sin filtrar, en cada estación de muestreo y por estación del año.

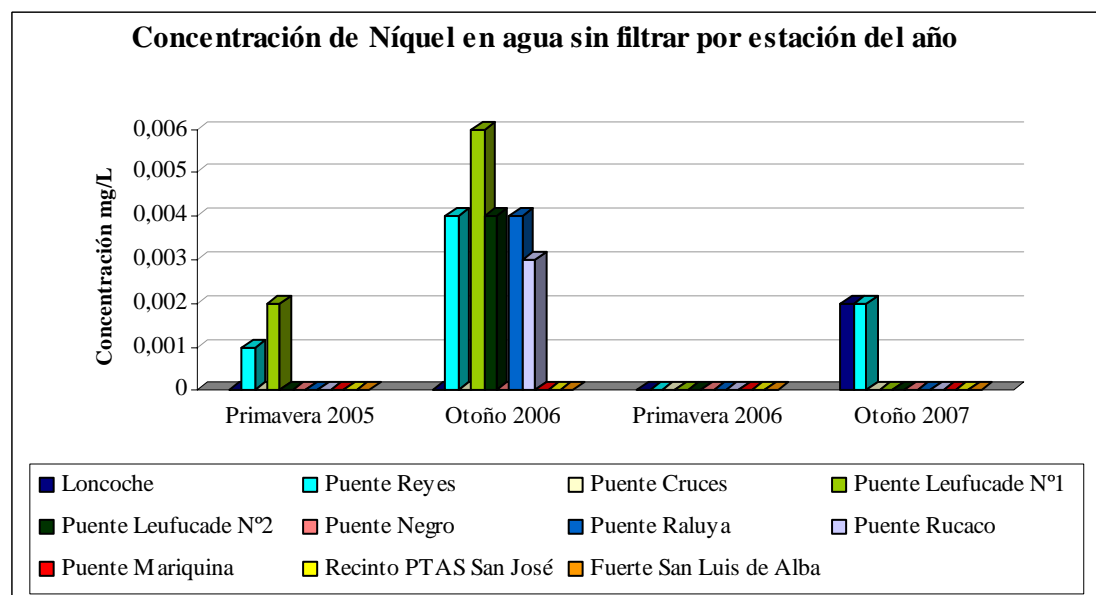


Gráfico N° 19: Concentraciones de Pb en muestras de agua filtrada, en cada estación de muestreo y por estación del año.

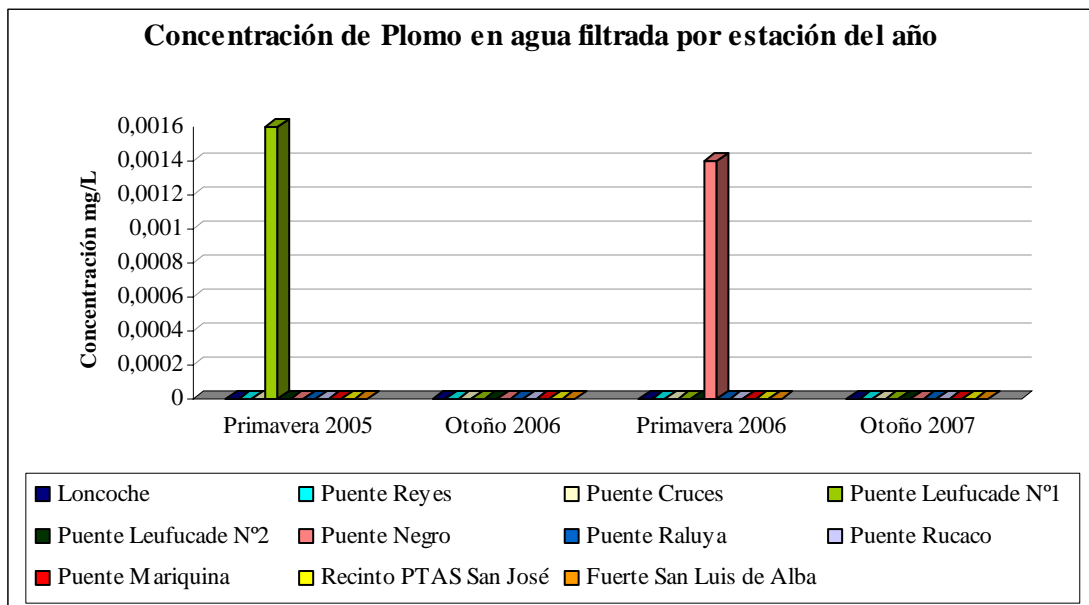


Gráfico N° 20: Concentraciones de Pb en muestras de agua sin filtrar, en cada estación de muestreo y por estación del año.

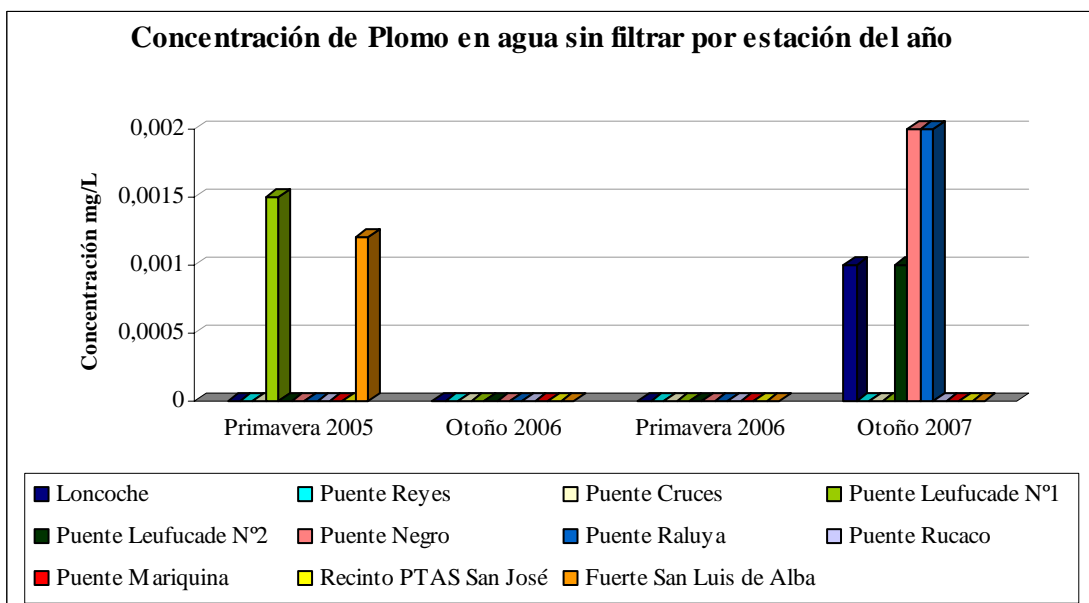


Gráfico N° 21: Concentraciones de Zn en muestras de agua filtrada, en cada estación de muestreo y por estación del año.

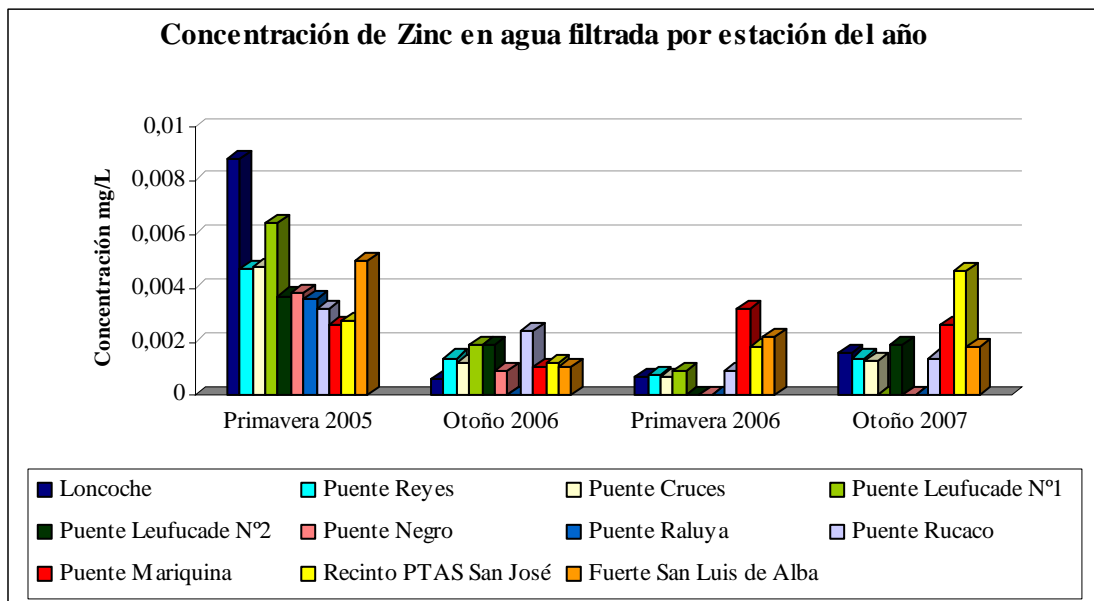


Gráfico N° 22: Concentraciones de Zn en muestras de agua sin filtrar, en cada estación de muestreo y por estación del año.

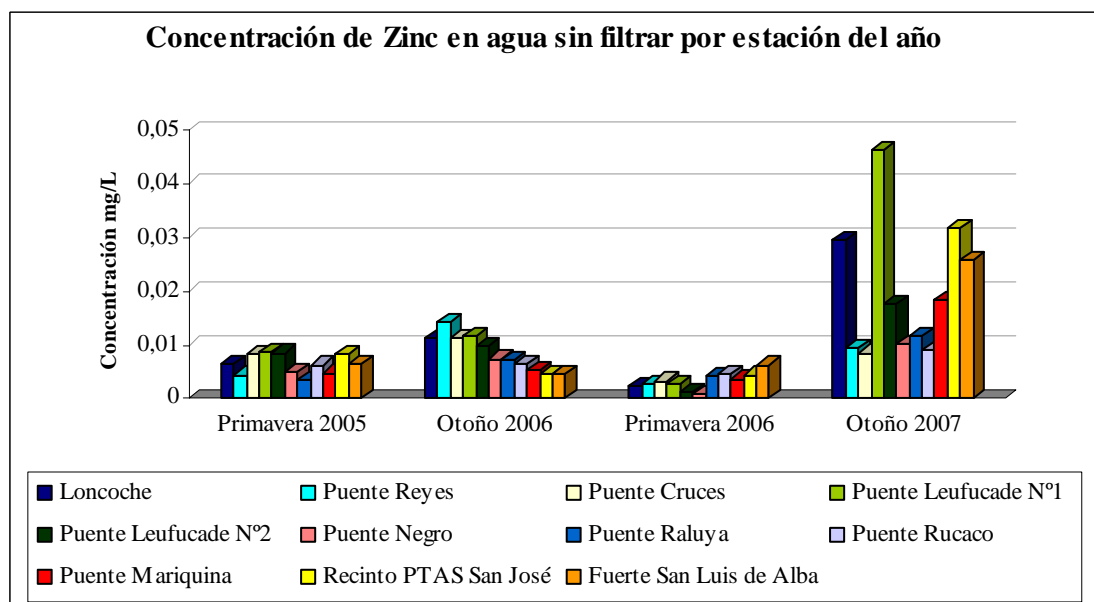


Gráfico N° 23: Concentraciones promedios de Ca espacial y temporal en agua filtrada.

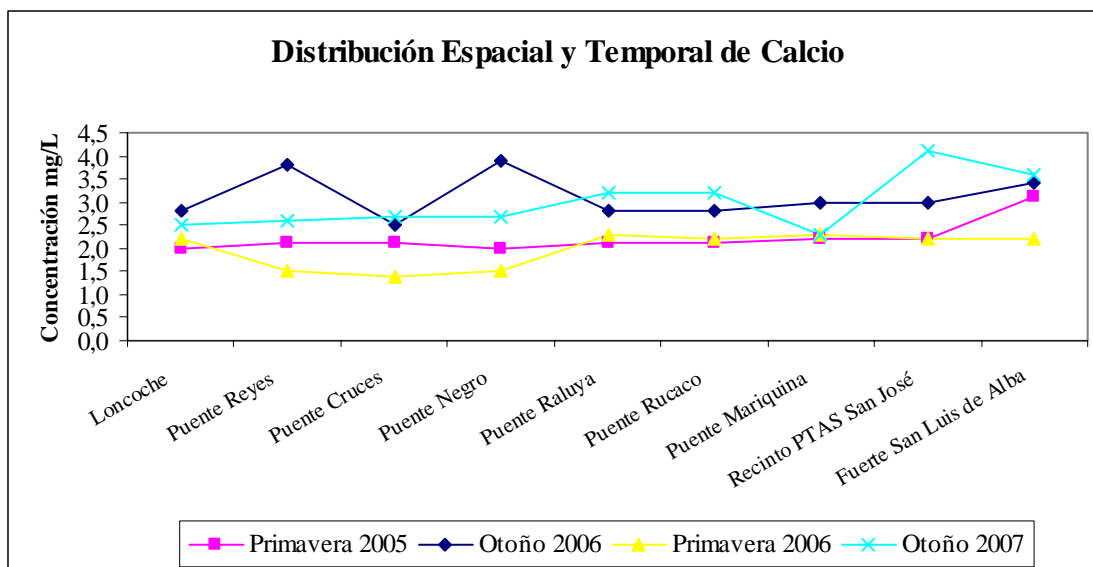


Gráfico N° 24: Concentraciones promedios de Mg espacial y temporal en agua filtrada.

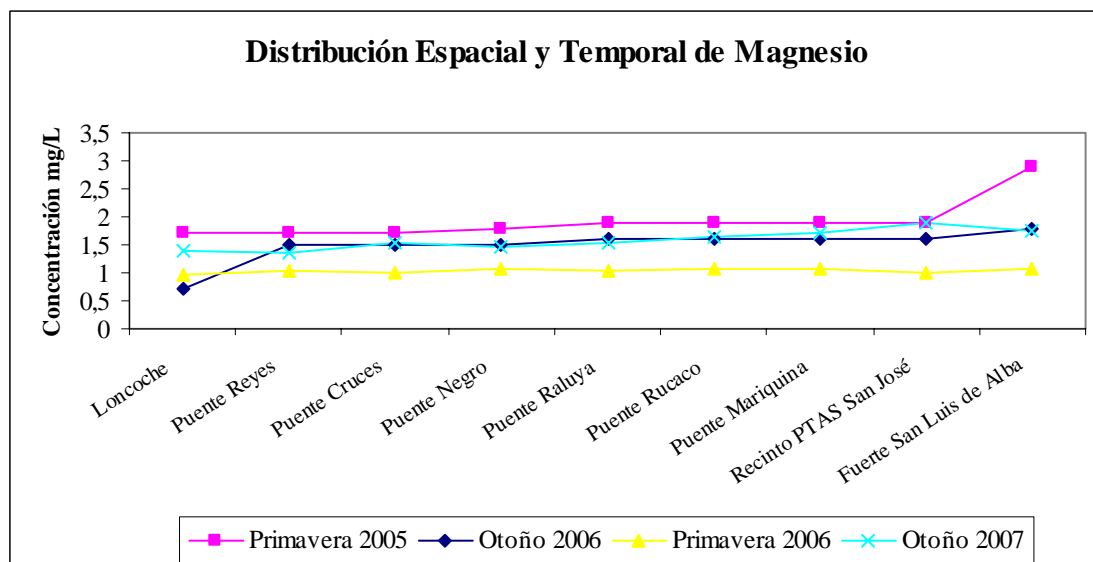


Gráfico N° 25: Concentraciones promedios de Cu espacial y temporal en agua filtrada.

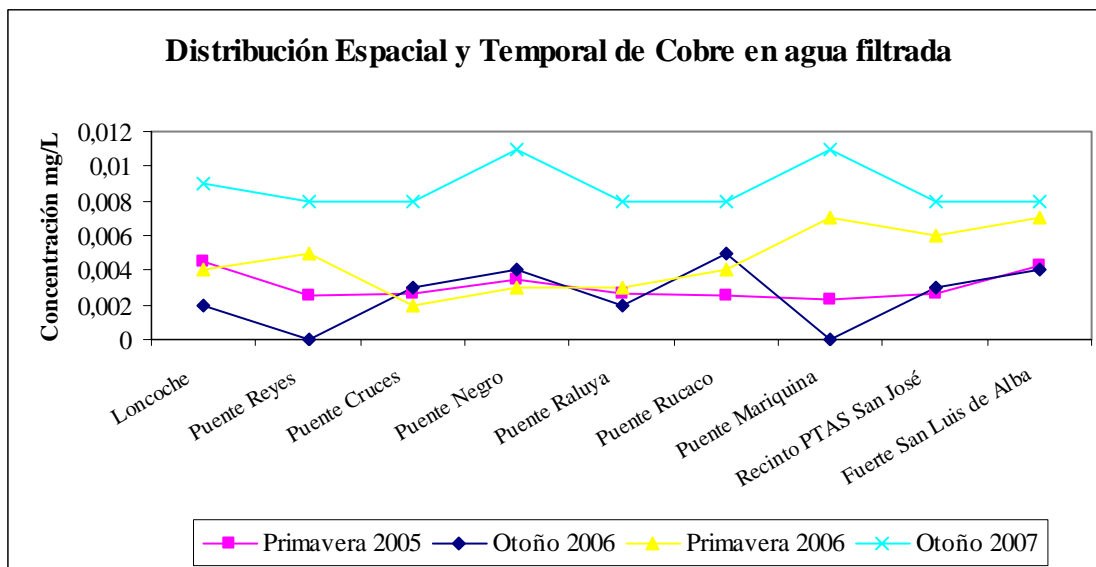


Gráfico N° 26: Concentraciones promedios de Cu espacial y temporal en agua sin filtrar.

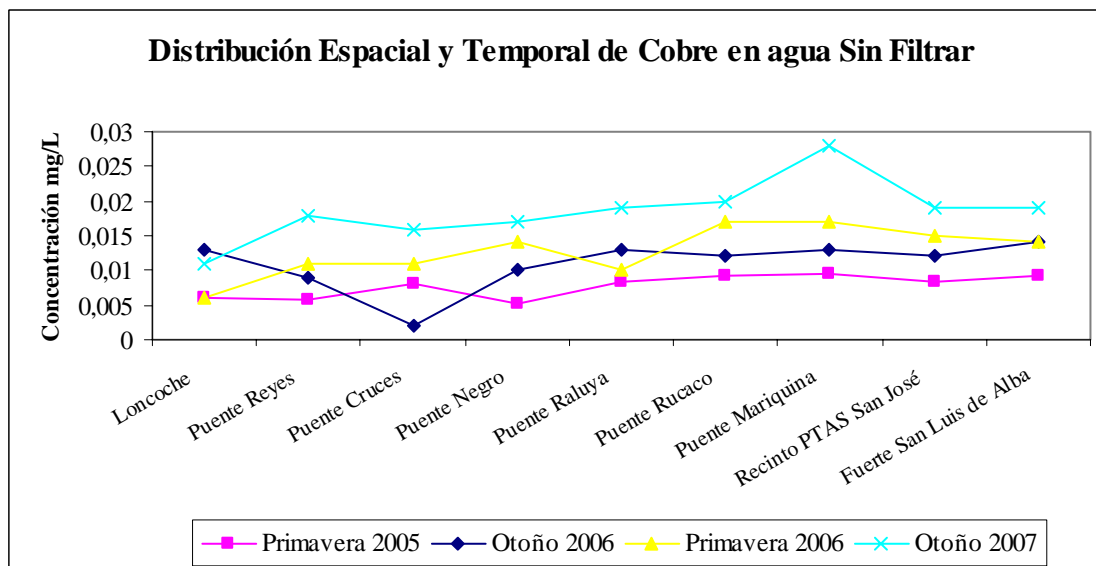


Gráfico N° 27: Concentraciones promedio de Fe espacial y temporal en agua filtrada.

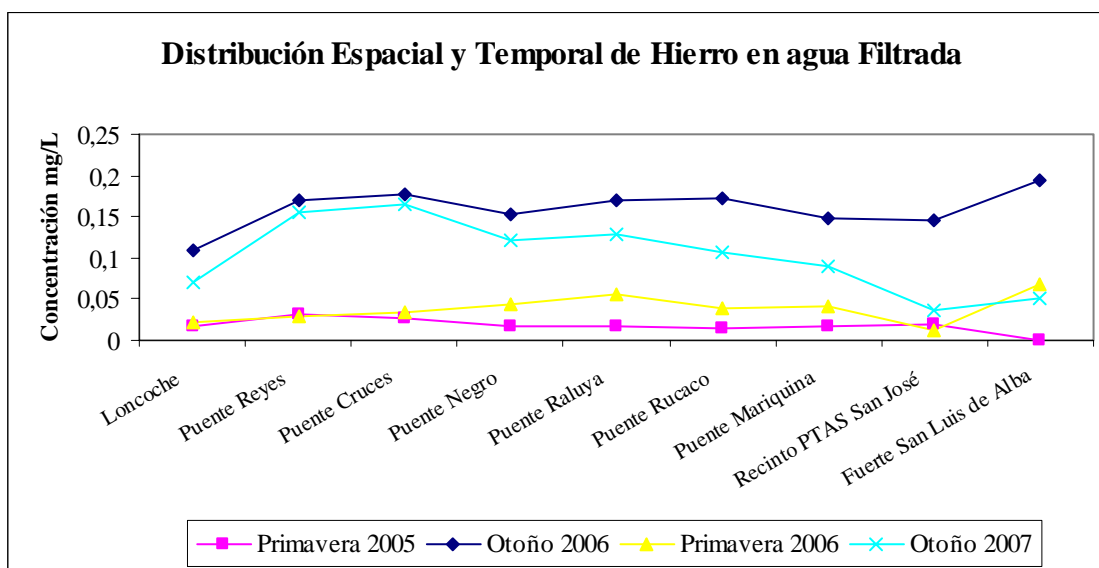


Gráfico N° 28: Concentraciones promedio de Fe espacial y temporal en agua sin filtrar (no se midió en Primavera 2005).

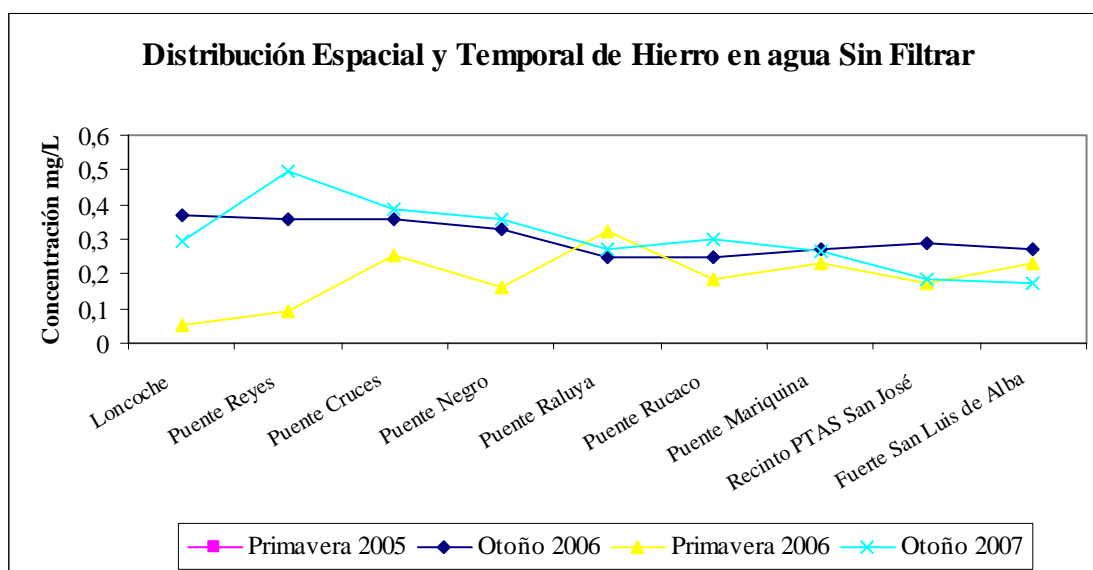


Gráfico N° 29: Concentraciones promedios de Mn espacial y temporal en agua filtrada.

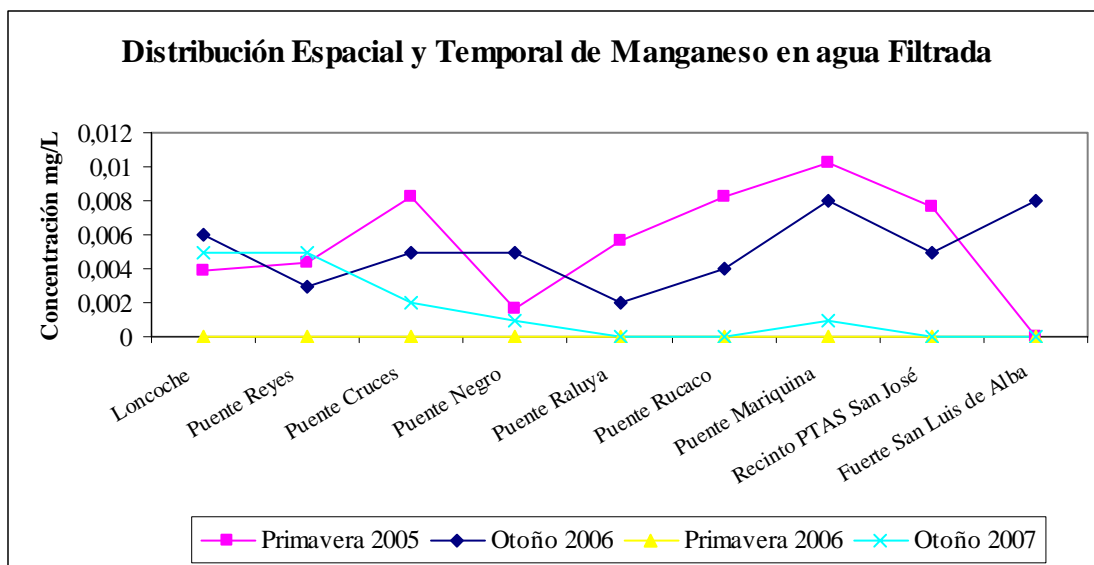


Gráfico N° 30: Concentraciones promedios de Mn espacial y temporal en agua sin filtrar.

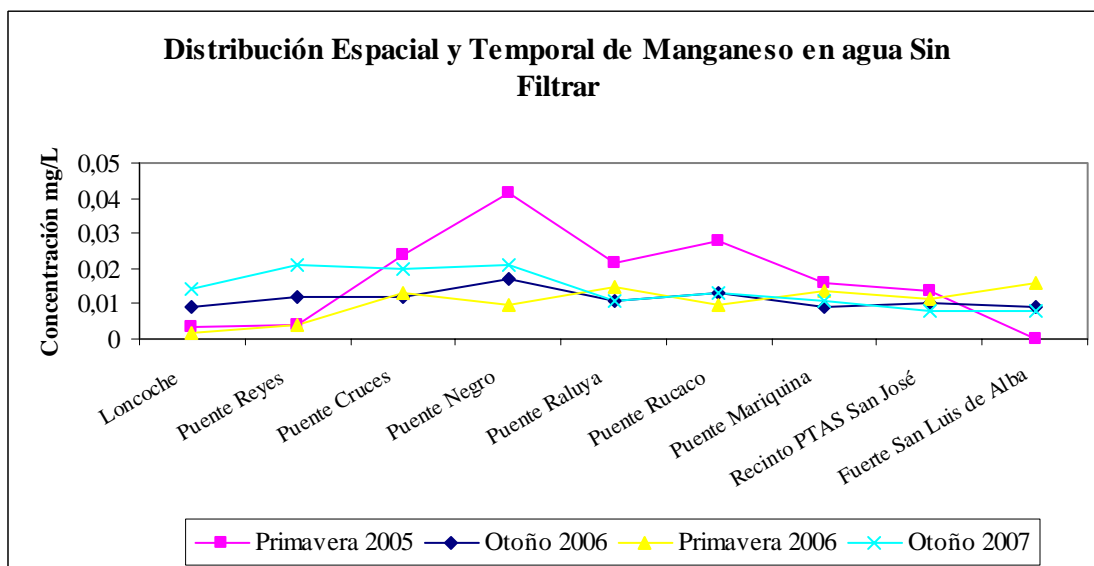


Gráfico N° 31: Concentraciones promedios de Zn espacial y temporal en agua filtrada.

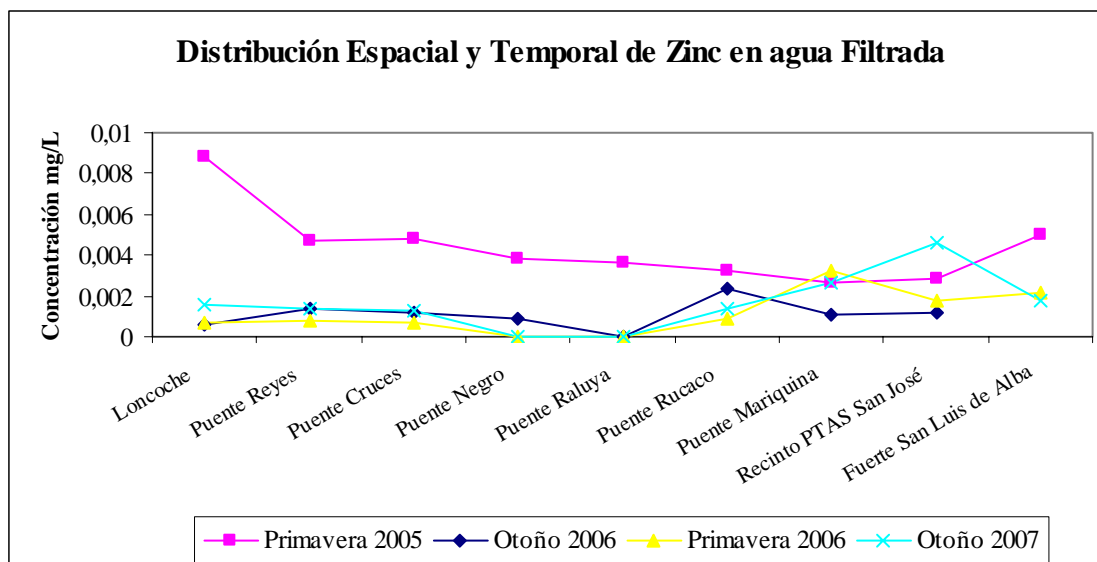


Gráfico N° 32: Concentraciones promedios de Zn espacial y temporal en agua sin filtrar.

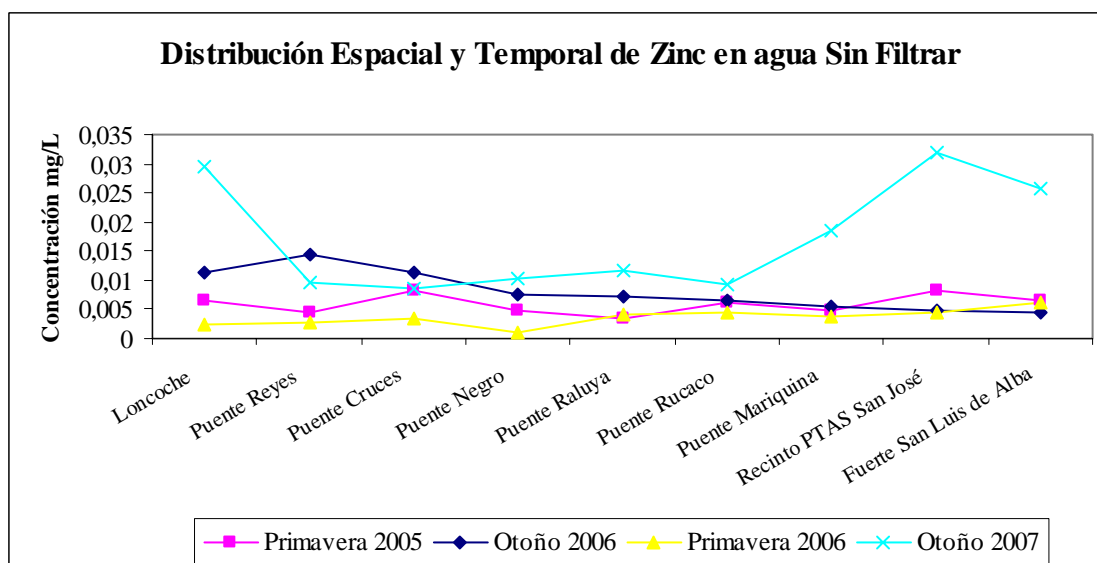
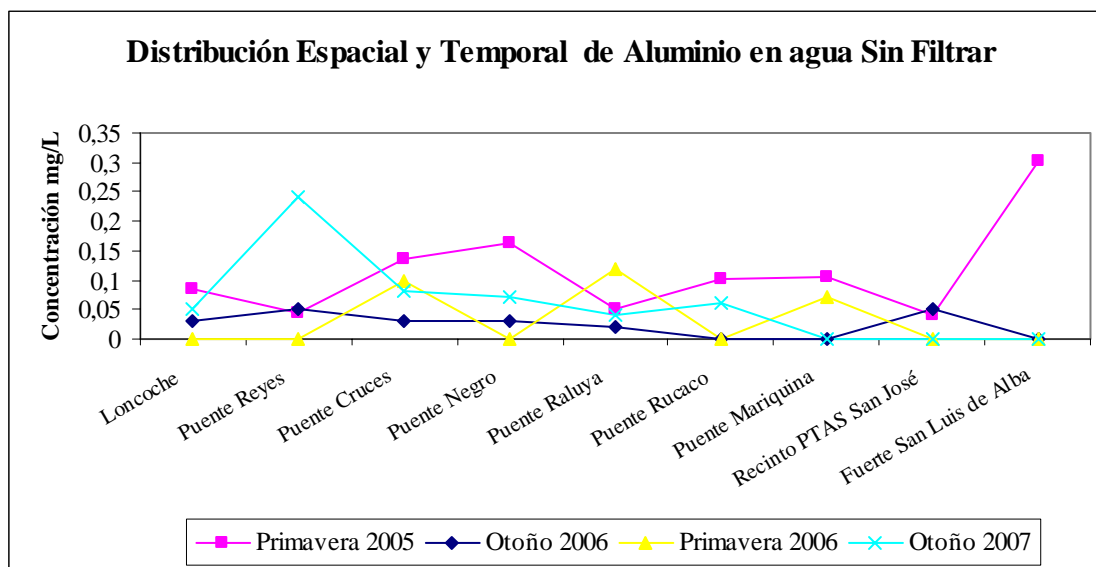


Gráfico N° 33: Concentraciones promedio de Al espacial y temporal en agua sin filtrar.

ANEXO 5

TABLAS DE OTROS ESTUDIOS BIBLIOGRÁFICOS

Tabla N° 25: Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales. (D.S N° 90 de 2000).

Contaminantes	Unidad	Expresión	Límite Máximo Permitido
Aluminio	mg/L	Al	5
Arsénico	mg/L	As	0,5
Cadmio	mg/L	Cd	0,01
Cobre total	mg/L	Cu	1
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr	0,05
Hierro disuelto	mg/L	Fe	5
Manganeso	mg/L	Mn	0,3
Mercurio	mg/L	Hg	0,001
Molibdeno	mg/L	Mo	1
Níquel	mg/L	Ni	0,2
Plomo	mg/L	Pb	0,05
Zinc	mg/L	Zn	3

Tabla N° 26: Límites máximos de elementos esenciales permitidos en el agua potable. (NCh409/1.Of2005).

Elemento	Expresado como elementos totales	Límite máximo mg/L
Cobre	Cu	2,0
Cromo total	Cr	0,05
Fluoruro	F ⁻	1,5
Hierro	Fe	0,3
Manganeso	Mn	0,1
Magnesio	Mg	125,0
Selenio	Se	0,01
Zinc	Zn	3,0

Tabla N° 27: Límites máximos para elementos o sustancias no esenciales permitidos en el agua potable. (NCh409/1.Of2005).

Elemento o sustancia	Expresado como elementos o sustancias totales	Límite máximo mg/L
Arsénico	As	0,01
Cadmio	Cd	0,01
Cianuro	CN ⁻	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Nitrato	NO ₃ ⁻	50
Nitrito	NO ₂ ⁻	3
Razón nitrato + nitrito	1)	1
Plomo	Pb	0,05

1) Suma de las razones entre la concentración medida de cada uno y su respectivo límite máximo.

Tabla N° 28: Datos Históricos de concentraciones de metales pesados en la columna de agua recolectadas de las estaciones 1,2 y 3. Resultados expresados en mg/L.

Metal	Estación	Jun-95	Jul-95	Dic-95	Sep-02	Mar-03	Sep-03	Ene-05
Cu	1	0,009	0,001	0,002	<0,005	<0,005	<0,005	0,014
	2	0,012	0,001	0,001	<0,005	<0,005	<0,005	0,010
	3	0,008	0,002	0,027	<0,005	<0,005	<0,005	0,019
Fe	1	0,290	0,020	0,040	0,380	0,400	0,130	0,146
	2	0,260	0,050	0,120	0,200	0,460	0,100	0,318
	3	0,450	0,120	0,110	0,530	2,530	0,140	0,333
Mn	1	0,023	0,030	0,009	0,032	0,019	0,010	0,015
	2	0,026	0,026	0,004	0,006	0,027	0,008	0,007
	3	0,038	0,021	0,025	0,010	0,037	0,007	0,042
Zn	1	0,000	0,004	0,002	<0,001	0,003	0,004	0,007
	2	0,003	0,003	0,002	<0,001	0,330	0,003	0,011
	3	0,005	0,005	0,003	<0,001	0,060	0,004	0,015

Tabla N° 29: Comparación de las concentraciones (mg/L) de metales pesados de la columna de agua en las estaciones 1, 2 y 3 entre los muestreos de Abril a Diciembre del 2004 con las encontradas en Enero del 2005 (Informe Final CONAMA-UACH, 2005).

Metal	Estación	Abril	Julio	Octubre	Diciembre	Ene-05
As	1	< 0,05	0,001	<0,001	<0,01	--
	2	< 0,05	0,001	<0,001	<0,01	--
	3	< 0,05	0,0005	<0,0005	<0,006	--
Cd	1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,0006
	2	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	--
	3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,0001
Cu	1	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
	2	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
	3	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
Cr	1	<0,05	<0,004	<0,004	<0,004	<0,002
	2	<0,05	<0,004	<0,004	<0,004	<0,002
	3	<0,05	<0,004	<0,004	<0,004	<0,002
Fe	1	0,17	0,04	0,13	0,14	0,15
	2	0,19	0,06	0,22	0,25	0,32
	3	0,24	0,05	0,23	0,29	0,33
Mn	1	0,02	0,03	<0,01	0,03	0,02
	2	0,02	0,03	<0,01	0,02	0,007
	3	0,02	0,03	<0,01	0,05	0,042
Hg	1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0006
	3	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,001	<0,0006
Mo	1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	--
	2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	--
	3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	--
Ni	1	<0,05	0,01	<0,01	0,01	<0,002
	2	<0,05	0,01	<0,01	0,01	<0,002
	3	<0,05	0,01	<0,01	0,06	<0,0053
Pb	1	<0,05	<0,002	<0,002	<0,002	<0,001
	2	<0,05	<0,002	<0,002	<0,002	<0,0008
	3	<0,05	<0,002	<0,002	<0,002	<0,0008
Zn	1	<0,05	0,01	<0,01	<0,01	0,01
	2	<0,05	0,03	<0,01	<0,01	0,01
	3	<0,05	0,03	<0,01	<0,01	0,02

Tabla N° 30: Comparación de las concentraciones (mg/L) de Aluminio de la columna de agua en las estaciones 1, 2 y 3 entre los muestreos de Abril a Diciembre del 2004 (Informe Final CONAMA-UACH, 2005).

Mes	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Abril	0,32	0,80	0,28
Mayo	<0,06	<0,06	<0,06
Junio	0,34	<0,06	<0,06
Julio	0,31	0,28	0,36
Agosto	0,13	0,24	0,12
Septiembre	0,25	0,21	0,18
Octubre	0,05	0,10	0,05
Noviembre	0,16	0,18	0,08
Diciembre	0,09	0,46	0,32

Tabla N° 31: Concentración de los metales pesados (mg/L) detectados en menor concentración en las muestras de aguas recolectadas para el estudio de calidad de las aguas del río Cruces, durante el 5^{to} muestreo (Saldivia, 2005).

Estación de muestreo	Cromo x 10⁻²	Mercurio x 10⁻²	Níquel x 10⁻²	Plomo x 10⁻²
1a sup.	<0,20	0,01	<0,20	0,10
1a sup.	<0,20	<0,06	<0,20	0,08
1a fon.	<0,20	<0,06	<0,20	<0,08
1a fon.	<0,20	<0,06	<0,20	<0,08
1b sup.	<0,20	<0,06	<0,20	0,08
1b sup.	<0,20	<0,06	<0,20	<0,08
1b fon.	<0,20	<0,06	<0,20	<0,08
1b fon.	<0,20	<0,06	<0,20	<0,08
2 sup.	<0,20	<0,06	<0,20	<0,08
2 sup.	<0,20	<0,06	<0,20	<0,08
2 fon.	<0,20	<0,06	<0,20	<0,08
2 fon.	<0,20	<0,06	<0,20	<0,08
3 sup.	<0,20	<0,06	0,30	0,30
3 sup.	<0,20	<0,06	<0,20	0,73
3 med.	<0,20	<0,06	2,10	0,30
3 med.	<0,20	<0,06	<0,20	0,30
3 fon.	<0,20	<0,06	<0,20	0,10
3 fon.	<0,20	<0,06	<0,20	<0,08

Tabla N° 32: Concentración de los metales pesados (mg/L) detectados en mayor concentración en las muestras de aguas recolectadas para el estudio de calidad de las aguas del río Cruces, durante el 5^{to} muestreo (Saldivia, 2005).

Estación de muestreo	Cadmio x 10⁻²	Cobre x 10⁻²	Hierro x 10⁻²	Manganeso x 10⁻²	Zinc x 10⁻²
1a sup.	<0,01	2,00	29,0	2,70	1,20
1a sup.	<0,01	0,63	28,0	1,90	0,60
1a fon.	0,08	1,80	0,60	0,84	0,51
1a fon.	0,18	1,20	0,70	0,64	0,52
1b sup.	0,04	3,00	42,0	6,90	2,80
1b sup.	0,04	1,70	43,0	6,70	2,00
1b fon.	0,62	0,40	28,0	3,40	2,60
1b fon.	0,62	0,73	36,0	3,30	2,60
2 sup.	<0,01	0,92	31,0	0,43	1,20
2 sup.	<0,01	1,00	33,0	0,42	0,71
2 fon.	3,20	1,10	32,0	1,20	0,20
2 fon.	3,20	0,91	31,0	0,60	2,20
3 sup.	<0,01	2,60	32,0	3,70	2,20
3 sup.	<0,01	1,80	29,0	3,90	2,40
3 med.	<0,01	1,40	34,0	4,90	1,20
3 med.	<0,01	1,80	36,0	4,80	1,40
3 fon.	<0,01	2,70	38,0	4,10	1,30
3 fon.	<0,01	0,90	31,0	3,70	0,60