



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias
Escuela de Química y Farmacia

PROFESOR PATROCINANTE: Dr. Eduardo Quiroz R.
INSTITUTO: Química
FACULTAD: Ciencias

**DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS (Cd, Pb, As, Hg, Cu, Fe, Mn, Al) EN
SEDIMENTO Y AGUA EN LOS RÍOS NANIHUE, CUDICO, CRUCES EN LA PROVINCIA DE
VALDIVIA**

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

VALESKA MAGALY ALVARADO CATRILEF

VALDIVIA-CHILE

2009

*Dedicada a mi Madre por su cariño y apoyo incondicional
durante todos estos años, te quiero mucho y eres todo para mí.....*

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 su paciencia, apoyo y por aceptarme en su laboratorio.

Al profesor Bernardo por su paciencia, por su apoyo y por la buena disposición para enseñar, gracias profe.

A mi Madre (la cochita), por todo su amor, cariño, y por estar siempre conmigo en mis alegrías y mis penas durante todos estos años.

A mi Padre por su esfuerzo, para que pueda estudiar.

A mis hermanos Susana, Olga, Sandra, Carlos, y mis sobrinos, Chinin, Benjita, Verónica, Jeremías, Daniel, Álvaro, Bárbara, por su cariño y apoyo, son muy importantes para mí.

Quiero darle las gracias por todo tu amor y apoyo en estos últimos meses al Kennosuke, gracias por todo amorcito.

Entre las cosas lindas que me paso aquí en Valdivia, fue haber conocido a mis amigas, Silvia, Verónica, Vania, Ivette, Carito, Marisol, Yasnita, Magaly, Yessenia, Marianita, por todos los momentos que pasamos juntas.

A mis compañeros de Tesis, Pamelita, Yenny, Carlitos, Jaime y la Carola.

A Dios por haberme permitido llegar hasta acá.

INDICE

RESUMEN.....	5
SUMMARY.....	6
INTRODUCCIÓN.....	5-12
MATERIALES Y MÉTODOS.....	13-14
RESULTADOS.....	15-19
DISCUSIÓN.....	20-29
CONCLUSIÓN.....	30 -41
LITERATURA CITADA.....	42-48
ANEXO 1: Ubicación geográfica de los distintos lugares muestreados.....	49-51
ANEXO 2: Metodología de tratamiento de las muestras.....	52-57
ANEXO 3: Descripción de Metales Analizados	58-64
ANEXO 4: Tablas de Resultado.....	65-74
ANEXO 5: Gráficos.....	75-105
ANEXO 6: Tablas de Referencias	106-113

RESUMEN

Durante estos últimos años el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter ubicado en la ciudad de Valdivia, se observó una migración y muerte de cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) al igual que un deterioro de las aguas y sedimento, debido a la contaminación antropogénica producida en el Río Cruces, por lo cual se tomaron muestras de Agua y Sedimento en el Río Cruces y afluentes como el Río Nanihue y Cudico para evaluar la contaminación en estos tres Ríos.

Para llevar a cabo este estudio, se seleccionaron diecinueve puntos, ubicados en el Río Cruces, Río Nanihue y Río Cudico donde se tomaron muestras de Agua y Sedimento, en Otoño 2006, Primavera 2006 y Otoño 2007. Se analizaron los siguientes metales Cd,Pb,As,Hg,Cu,Fe,Mn,Al , tanto en Agua y Sedimento, utilizando Espectrometría de Absorción Atómica (AAS) en su modalidad Llama y acoplado a un Generador de Hidruros para As y “Cool Vapor” para determinar Hg.

De todos los metales analizados en Sedimento se encontró alta concentraciones en Fe, Mn, Cu. De todos los metales analizados en Aguas Filtradas los elementos encontrados en mayor concentración fueron Fe, Mn, Cu. Para el Hierro se obtuvo la mayor concentración Primavera 2006. Para el Manganeseo se obtuvo la mayor concentración en Primavera 2006 y para el Cobre se obtuvo la mayor concentración en Primavera 2006.

De todos los metales analizados en Aguas No Filtradas, los elementos encontrados en mayor concentración fueron Fe, Mn, Cu. Para el Hierro se obtuvo la mayor concentración en Primavera 2006. Para Manganeseo se obtuvo la mayor concentración en Otoño 2007 y para Cobre se obtuvo la mayor concentración en Primavera 2006.

SUMMARY

During the last few years, the Nature Sanctuary Carlos Anwandter, located in Valdivia, it has been observed migration and death of the black-neck swan (*cygnus melancoryphus*) and also a deterioration in water and sediments due to the anthropogenic pollution found in Cruces river. Because of this, samples of water and sedimentation were taken in Cruces river and tributaries such as Nanihue and Cudico rivers in order to evaluate the pollution in these three rivers.

For doing this research, nineteen points were selected, located in Cruces, Nanihue and Cudico rivers, where samples of water and sediment were taken in the Fall and Spring of 2006 and Fall of 2007. The following metals were analyzed, Cd, Pb, As, Hg, Cu, Fe, Mn, Al, both water and sediments, using Spectrometry of Atomic Absorption in its flame mode, attached to an Hydrides Generator for As and “Cool Vapor” to determine Hg.

Of all the metals taken in the sediments, high concentration of Fe, Mn and Cu were found.

Of all the metals analyzed in filtered water, the elements found in higher concentration were Fe, Mn, Cu. The highest concentration for Iron was in the Spring of 2006. For Manganese the highest concentration was found in the Spring of 2006 and for Cupper was in also in during the Spring of 2006.

Of all the metals analyzed in non-filtered water, the elements found in the highest proportion were Fe, Mn, Cu. The highest concentration for Iron was in the Spring of 2006. For Manganese the highest concentration was found in the Fall of 2007 and for Cupper was during the Spring of 2006.

INTRODUCCIÓN

A la hora de hablar de metales pesados, surgen varias definiciones para un mismo término. Así encontramos a Harrison & Hoare, 1980 quienes al referirse a los metales pesados los definen como un conjunto de elementos químicos clasificados como elementos de transición y no transición, estos últimos pertenecen a los grupos III, IV, V y VI de la tabla periódica, aunque dentro de ellos se encuentren elementos como As el cual es un metaloide. También relacionan este concepto desde el punto de vista nutricional al asociarlo con el término “metales trazas”, en cuyo significado se indica la presencia de los metales en un determinado organismo como un requerimiento esencial y el cual debe presentarse en bajas concentraciones.

Para llevar a cabo sus funciones, los organismos vivos requieren de diversos iones inorgánicos esenciales como son: Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- . Otros iones, que también se hallan en el ambiente son ya sea tóxicos y sin alguna actividad biológica asociada (por ejemplo, los metales pesados Pb^{2+} , Hg^{2+} , Cd^{2+} , Ag^+), o bien, son esenciales, pero son tóxicos cuando se encuentran en concentraciones relativamente elevadas (tal como Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+}) (Moreno&Devars,1999).

Los metales pesados se definen arbitrariamente como aquellos metales cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Dichos metales se encuentran en forma natural en la corteza terrestre en diferentes concentraciones (PNUMA, 1980). Estos elementos también son llamados “metales trazas” que se presentan a bajas concentraciones en organismos, aunque dicho término puede simplemente implicar la presencia de un requerimiento esencial de un determinado metal en un organismo (Nelson, 1996; Rozas, 2001).

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 las 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, etc., 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).

La contaminación por metales pesados puede ser de origen natural o antropogénico. Estos entran a los diferentes ambientes provenientes de fuentes como depositación atmosférica, actividad volcánica, que libera vapores y ceniza, uso de combustibles fósiles, la minería y metalurgia, descargas industriales y urbanas, utilización de pesticidas y herbicidas. Muchos metales pesados son muy usados en tuberías, baterías, cables, pigmentos (pinturas), gasolina, soldaduras y productos de acero (Paredes, 1998).

El estudio de los metales pesados radica su importancia en las características que estos presentan, tales como: su alta persistencia, rápida acumulación por los organismos vivos, efectos difícilmente detectables a corto plazo, y su elevada toxicidad, entre otras. Por lo general, la toxicidad de los metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, del estado de oxidación en que se encuentre el metal, de su capacidad de enlace con otros compuestos o de su interacción con los ácidos nucleicos, proteínas y enzimas, que responden a funciones celulares, produciendo alteraciones en los tejidos y órganos de los seres vivos. Por otra parte, estos son utilizados como indicadores de contaminación ambiental, ya que, su presencia en

algas, moluscos o peces, es usada para establecer el grado de contaminación del ambiente acuático (Díaz, 1993).

La contaminación de las aguas se inicia en la Revolución Industrial, aproximadamente hace unos 200 años, debido al incremento rápido de la población mundial (Dekov *et al.*, 1998), la que condujo a una urbanización muy localizada creando problemas tanto en la calidad como en la cantidad del agua (Förstner *et al.*, 1990; Vink *et al.*, 1999). A partir de esto, los esfuerzos para lograr la eliminación de los contaminantes generados por el hombre no han sido capaces de ajustarse ni al ritmo de incremento en la cantidad de desechos industriales ni al crecimiento demográfico, lo cual ha provocado a menudo la transformación de las aguas de ríos, lagos y costas en depósitos de residuos en los que el equilibrio natural está severamente perturbado y en muchos casos totalmente aniquilado (Förstner & Wittmann, 1981; Rovira, 1993).

Según Ahumada (1994) los sedimentos marinos y estuariales son una matriz ambiental que por su origen integra en el tiempo los cambios geoquímicos que ocurren en la columna de agua. De tal forma que estudios de mediano y largo plazo pueden aportar interesantes antecedentes en la historia de alteración de un área (Nelson, 1996). Las concentraciones de metales pesados en sedimentos generalmente son más altas que las encontradas en el agua, razón por la cual son ampliamente utilizados como indicadores de la contaminación que han sufrido los ecosistemas marinos (Soto, 2001).

Conforme a Waldichuck (1974), Langston (1990) y Fortoul *et al.* (1996) la exposición a concentraciones muy altas de metales pesados puede llevar a la muerte de los individuos, así como, la exposición a concentraciones más bajas por periodos prolongados produce el mismo efecto letal (Paredes, 1998). Los efectos subletales de los metales pesados, en una gran variedad de organismos, conducen a cambios en su morfología o histología; fisiología (crecimiento,

desarrollo, capacidad de nado, respiración y circulación); bioquímica (química sanguínea, actividades enzimáticas), y endocrinología, conducta y reproducción (Bryan, 1976). El incremento de metales pesados en sistemas marinos (esteros, lagunas, bahías) ha provocado la degradación del ecosistema produciendo mortandad principalmente en los estadios larvales y juveniles de aquellas especies que tienen la propiedad de ser organismos filtradores (Soto, 2001). Si bien los metales tienen un origen natural, que provienen de la erosión y lixiviación de las rocas madres, los cuales son transportados por los ríos y/o la atmósfera (Ahumada & Contreras, 1999), durante las últimas décadas han aumentado considerablemente sus concentraciones en las zonas industrializadas, contaminando la atmósfera, la cubierta sedimentaria y las aguas, sistemas que corresponden al soporte de todo el componente biótico (Aracena, 2003).

Hipótesis de Trabajo.

En los últimos años en el Río Cruces han aumentados las actividades antropogénicas, como la actividad agrícola, industrial, descarga de diferente efluentes líquidos, el aumento de la población, lo cual coincide con el aumento de la contaminación del Río.

Se debería encontrar altas concentraciones de metales pesados en las muestras de agua y sedimento recolectadas en el Río Nanihue, Cudico y Cruces, lo cual se debe a los desechos y sustancias químicas vertidas a las aguas de los ríos, provenientes de las actividades antropogénica las cuales han aumentados en los últimos años.

Objetivos Generales.

- Determinar la concentración de metales pesados en muestras de sedimento y agua recolectados en los Ríos Nanihue, Cudico y Cruces.
- Determinar si han aumentado las concentraciones de metales pesados en estos Ríos.

Objetivos Específicos.

- Tomar muestras de sedimento en los puntos de muestreo determinados.
- Tomar muestras de agua en los puntos de muestreo determinados.

- Detectar y cuantificar mediante Espectrometría de Absorción Atómica Cd, Pb, Cu, Fe, Mn, Al, As y Hg en sedimento en los diferentes puntos de muestreo.

- Detectar y cuantificar mediante Espectrometría de Absorción Atómica Cd, Pb, Cu, Fe, Mn, Al, As y Hg en agua en los diferentes puntos de muestreo.

- Determinar las posibles fuentes de contaminación en el Río Nanihue, Cudico, Cruces, en la ciudad de Valdivia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio.

El río Cruces es un río de Chile que nace en los faldeos del volcán Villarrica. Al sur de la Isla Teja se une al río Valdivia para luego desembocar en el Océano Pacífico en la bahía de Corral. El río pasa en su trayecto por las localidades de San José de la Mariquina, Punucapa y Valdivia en ese orden. Poco antes de unirse a Valdivia lo atraviesa el puente Cruces, que comunica a la isla Teja con el continente por el sur.

Muestreo.

Para realizar el estudio se recolectaron muestra de Sedimento y Agua en forma estacional, Otoño, Primavera, Otoño. Las fechas de recolección para el primer muestreo 16 de junio 2006, el segundo muestreo 17 noviembre del 2006, finalmente el tercer muestreo en Abril del 2007.

Sedimento.

Las muestras fueron recolectadas en bolsas de plásticos y una vez en el laboratorio se vaciaron en vasos precipitados los cuales fueron llevados a la estufa a 90° C para que el contenido líquido se evapore a sequedad y luego se muele, se obtiene el sedimento. Se pesa 1 g de sedimento en balanza analítica por duplicado para Cd, Cu, Fe, Mn, Al se comienza la digestión ácida agregando 10 ml de mezcla Nitrosulfúrica (4 partes de HNO₃ y 1 parte de H₂SO₄), con el fin de digerir la materia orgánica y liberar los metales de la muestra. El sistema se mantuvo sobre una placa térmica a unos 100°C, por una hora, evitando que se evapore a sequedad. Posteriormente se agregan 5 ml de perhidrol 1:1 (H₂O₂), para completar la digestión de la materia orgánica,

luego se filtra y se vuelve a colocar en la placa y se espera hasta que el volumen de la solución disminuya a menos 10 ml, se deja enfriar y su contenido se trasvasija a un matraz aforado de 10 ml completando el volumen con agua desionizada luego se filtra y se traspasa a un frasco pequeño. Para determinar Pb se pesan 1g en duplicado y se sigue el mismo procedimiento anteriormente mencionado pero en vez de agregar 10 ml de mezcla Nitrosulfúrica se agregan 10 ml de HNO₃ concentrado.

Para determinar Hg y As se pesan 0.5 g muestras de sedimento, todas en duplicado y se comienza la digestión ácida agregando 1 ml de H₂O₂ (30%) y 6 ml de HNO₃ concentrado. Posteriormente se colocan en el horno Microondas Millestone, modelo Ethos 1600 (Anexo 2, Imagen N° 3).

Aguas.

Se tomaron las muestras de agua en envases plásticos, luego se divide en dos muestras de 500 ml cada una, una de estas muestras se filtra al vacío y la otra muestra no se filtra, enseguida se traspasan a un vaso precipitado de 1000 ml se agrega a cada muestra 1 ml HNO₃ concentrado, se colocan a la placa térmica a 100 ° C, para evaporar a sequedad el contenido líquido.

Posteriormente se dejó enfriar y se agregaron 20 ml de HNO₃ 1M, los cuales se filtraron y se traspasaron a envases plásticos pequeños. En botellas de 50 ml se recolectó 2 muestras de agua una se filtró y la otra no. La solución obtenida de todas las muestras, tanto para las muestras de agua como sedimento fueron leídas en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica UNICAM, modelo M-5 en su modalidad de Llama (ANEXO 2, Imagen N° 1).

RESULTADOS

Sedimento

Los resultados de los metales encontrados en los ríos Nanihue, Cudico y Cruces, son mencionados en el ANEXO 3 (TABLAS DE RESULTADOS), desde la tabla N°1 a la tabla N°3 y el ANEXO 4 (GRÁFICOS).

Cadmio:

La mayor concentración de este metal se encontró en el segundo muestreo en el punto El Belloto, con un valor de 18.5×10^{-2} mg/Kg. La menor concentración se encontró en el primer muestreo en el punto Nanihue 5, con un valor 2.77×10^{-2} mg/Kg.

Plomo:

En este metal la mayor concentración se encontró en el primer muestreo en el punto El Belloto, con un valor de 41.2 mg/Kg. La menor concentración se encontró en el tercer muestreo en el punto Nanihue 1, con un valor 2.94 mg/Kg.

Hierro:

Al realizar el análisis de este metal en las estaciones de muestreo escogidas para el desarrollo de este estudio, se pudo determinar que la mayor concentración se presentó en el segundo muestreo en el punto Nanihue y Cudico 1, con un valor 51.0×10^3 mg/Kg. La menor concentración se obtuvo en el primer muestreo en el punto Puente Cudico, con un valor de 26.2×10^3 mg/Kg.

Manganeso:

Este metal presenta su más alta concentración en el tercer muestreo en el Puente Cudico, con un valor de 54.0×10^2 mg/Kg. Su menor concentración se obtuvo en el segundo muestreo en el punto Nanihue 6, con un valor de 3.59×10^2 mg/Kg.

Arsénico:

La mayor concentración encontrada en este elemento fue durante el segundo muestreo en el punto Salida Bañados, con un valor de 7.17 mg/Kg. La menor concentración encontrada fue en el primer muestreo en el punto El Belloto, con un valor de 1.34 mg/Kg.

Mercurio:

Este metal presenta su mayor concentración en el tercer muestreo en el punto Nanihue 1, con un valor 0.095 mg/Kg. Su menor concentración se obtuvo en el segundo muestreo en el punto Nanihue y Cudico 1, con un valor de 0.005 mg/Kg.

Cobre:

El cobre se detectó en mayor concentración en el primer muestreo en el punto El Belloto, con un valor de 43.1 mg/Kg. La más baja concentración se encontró en el primer muestreo, en el punto Nanihue 3, con un valor de 20.7 mg/Kg.

Aluminio:

El Aluminio por su parte alcanzó su mayor concentración en el segundo muestreo en el punto Salida Bañados con una concentración 53.8×10^3 mg/Kg. La menor concentración fue en el tercer muestreo en el punto Nanihue 1, con un valor de 21.6×10^3 mg/Kg.

Aguas Filtradas

Los resultados de los metales encontrados en los ríos Nanihue, Cudico y Cruces, son mencionados en el ANEXO 3 (TABLAS DE RESULTADOS), desde la tabla N°4 a la tabla N°6 y ANEXO 4 (GRÁFICOS).

Cadmio:

Este metal se encontró concentraciones bajo el límite de detección del equipo, es decir menor que 0.001 mg/L.

Hierro:

La mayor concentración de este metal se encontró durante el segundo muestreo en el Puente Nanihue con un valor de 98.4×10^{-2} mg/L. La menor concentración se encontró en primer muestreo en el punto Puente Cudico, con un valor de 9.15×10^{-3} mg/L.

Manganeso:

Para el Manganeso la mayor concentración encontrada fue en el segundo muestreo en el punto Nanihue 6, con un valor de 66.0×10^{-3} mg/L. La menor concentración se obtiene durante el primer muestreo en los puntos Nanihue 5 y Cudico 3, con un valor de 0.0006 mg/L.

Arsénico:

Para el Arsénico las concentraciones se encuentran bajo el límite de detección del equipo, es decir menor que 0.001 mg/L, en los tres muestreos.

Mercurio:

Para el Mercurio en los tres muestreos las concentraciones se encontraron bajo el límite de detección del equipo, es decir menor que 0.001 mg/L.

Cobre:

La concentración más alta para el Cobre se detectó en el segundo muestreo en el punto San Martín, con un valor 50.5×10^{-3} mg/L. En tanto la concentración más baja se detectó en el segundo muestreo en el punto Nanihue 6, con un valor de 2.8×10^{-3} mg/L.

Aluminio:

Muestras se perdieron en el incendio, producido en la Facultad de Ciencias de la Universidad Austral.

Aguas No Filtradas

Los resultados de los metales encontrados en los ríos Nanihue, Cudico y Cruces, son mencionados en el ANEXO 3 (TABLAS DE RESULTADOS), desde la tabla N°7 a la tabla N°9.

Cadmio:

Para el primero y segundo muestreo las concentraciones fueron bajas. Para el tercer muestreo la concentración más alta se detectó en punto Nanihue 2, con una concentración de 0.009 mg/L y la concentración más baja detectada fue en el punto, Puente Nanihue y Puente Cudico, con un valor 0.0001 mg/L respectivamente.

Hierro:

Este metal obtiene su mayor concentración en el segundo muestreo en el punto Cudico 2, con un valor 2.0 mg/L. La menor concentración se detectó en el tercer muestreo en el punto Nanihue y Cudico 1 con un valor 0.002 mg/L.

Manganeso:

La concentración más alta para este metal se detectó en el tercer muestreo en el punto, Puente Nanihue con un valor 0.080 mg/L. La concentración más baja se detectó en el segundo muestreo en el punto San Martín, con un valor 0.001 mg/L.

Arsénico:

Para el Arsénico las concentraciones se encuentran bajo el límite de detección del equipo, es decir menor que 0.001 mg/L.

Mercurio:

Para el Mercurio en los tres muestreos las concentraciones se encontraron bajo el límite de detección del equipo, es decir menor que 0.001 mg/L.

Cobre:

La concentración más alta detectada en este metal fue en el segundo muestreo en el punto Nanihue y Cudico 1, con un valor 32.4×10^{-3} mg/L. La concentración más baja se encontró en el primer muestreo en el punto Cudico 3, con un valor de 1.35×10^{-3} mg/L.

Aluminio:

Las muestras se perdieron en el incendio de la Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile.

DISCUSIÓN

Sedimento

Las concentraciones obtenidas en el siguiente estudio fueron comparadas con los criterios de contaminación de metales en sedimentos establecida por la Agencia de Protección Ambiental de U.S. (U.S. EPA, 1991) (Anexo 5, Tabla N°1), el Ministerio de Ontario, Canadá (OME, 1991) (Anexo 5, Tabla N° 2) y USEPA (1077) (Anexo 5, Tabla N° 3).

Cadmio.

Los valores obtenidos en sedimento para Cadmio se encuentran bajos los rangos de contaminación, establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USA/EPA, 1991), los valores detectados fluctúan desde 2.77×10^{-2} mg/kg a 18.5×10^{-2} mg/kg.

Plomo.

En el caso del Plomo, sobrepasa la concentración en el punto El Belloto correspondiente al primer muestreo con un valor de 41.2 mg/kg, este punto caería en el rango de contaminación moderada de acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USA/EPA, 1991), los restantes puntos se encuentran en el rango no contaminado.

Hierro.

En el caso del Hierro el valor más bajo 2.62×10^4 mg/kg, el cual está sobre el valor de referencia, 1.7×10^4 mg/kg de Hierro, de acuerdo USEPA (1977).

Manganeso.

El Manganeso, sobrepasa en todos sus puntos los rangos establecidos por USEPA (1977), con un valor 300 mg/kg.

Arsénico.

Todos los puntos, están dentro del rango de sedimentos no contaminados según la USA/EPA y Canadá/OME (1991).

Mercurio.

En el caso del Mercurio, de acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USA/EPA, 1991), para que exista contaminación la concentración debe ser mayor a 1.0 ppm, lo cual no ocurre en este caso, los valores fluctúan desde $(0.5 - 9.5) \times 10^{-2}$ mg/kg.

Cobre.

El Cobre, en la mayoría de los puntos se encuentran en el rango de contaminación moderada establecido por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USA/EPA, 1991) y Canadá/OME (1991), excepto en el primer muestreo, el punto Nanihue 1 con un valor, 21.5 mg/kg, Nanihue 3 con un valor, 20.7 mg/kg y en el segundo muestreo, el punto Nanihue 2 con un valor 21.1 mg/kg, los cuales se encuentran en el rango no contaminado.

En el estudio realizado por Contreras (2006) (ANEXO 5, Tabla N° 4 y N° 5), en el Santuario de la Naturaleza, la concentración promedio de Hierro en las muestras de sedimento recolectadas en el sector del río Cruces fue 7.28×10^4 mg/kg en peso seco, concentración superior a la detectada en

el estudio actual, la cual alcanza un valor de 3.69×10^4 mg/kg en el Río Cruces. En el estudio efectuado por Saldivia (2005) (ANEXO 5, Tabla N° 6) en el Santuario de la Naturaleza y Humedales adyacentes, la concentración promedio fue de 4.23×10^4 mg/Kg en peso seco, un poco mayor al detectado en el estudio actual. Para el análisis de Manganeseo en el estudio de Contreras (2006) (ANEXO 5, Tabla N°4 y N°5) se determinó una concentración promedio 954 mg/kg, en el estudio actual se determinó una concentración promedio en Río Cruces 1074 mg/kg, concentración ligeramente mayor, al comparar con el estudio de Saldivia (2005) (ANEXO 5, Tabla N° 6) en el Santuario de la Naturaleza y Humedales adyacentes, se determinó una concentración 1170 mg/kg similar al estudio actual. Al comparar los resultados actuales con estudios anteriores no se observan grandes variaciones.

Al comparar el Río Nanihue para el Hierro con estudios anteriores, en el estudio de Saldivia (2005) (ANEXO 5, Tabla N° 6) la concentración fue 6.39×10^4 mg/kg en el estudio actual la concentración fue 3.91×10^4 mg/kg, en el estudio actual fue menor. Para el Río Cudico la concentración en el estudio de Saldivia (2005) (ANEXO 5, Tabla N° 6) la concentración fue 3.63×10^4 mg/kg, en el estudio actual fue 3.56×10^4 mg/kg, se observan concentraciones similares.

Para el Manganeseo la concentración en el Río Nanihue en el estudio de Saldivia (2005) (ANEXO 5, Tabla N° 6) fue 1.65×10^3 mg/kg en el estudio actual fue 1.31×10^3 mg/kg la concentración fue menor en el último. En el caso del Río Cudico en el estudio de Saldivia (2005) (ANEXO 5, Tabla N° 6) la concentración fue 5.9×10^2 mg/kg en el estudio actual la concentración fue 16.9×10^2 mg/kg el cual es superior.

Para el metal Cobre en el Río Cruces en el estudio de Saldivia (2005) (ANEXO 5, Tabla N° 6) la concentración fue 55.95 mg/kg, en el estudio de Contreras (2006) (ANEXO 5, Tabla N° 4 y N° 5)

fue de 40.65 mg/kg, en el estudio actual la concentración fue 36.44 mg/kg la cual fue menor a los estudios anteriores.

Al comparar el metal Cobre en el Río Nanihue la concentración en el estudio de Saldivia (2005) (ANEXO 5, Tabla N° 6) fue 53.7 mg/kg en el estudio actual la concentración fue 28.28 mg/Kg el cual fue menor. En el caso del Río Cudico, en el estudio de Saldivia (2005) (ANEXO 5, Tabla N° 6) la concentración 53 mg/kg en el estudio actual la concentración fue 28.88 mg/kg, la cual fue menor.

Para el Mercurio en el Río Cruces en el estudio de Saldivia (2005) (ANEXO 5, Tabla N°6) la concentración fue 0.083 mg/kg en el estudio actual fue 0.055 la cual fue menor. En el Río Nanihue para el Mercurio en el estudio de Saldivia (2005) (ANEXO 5, Tabla N° 6) la concentración fue de 0.085 mg/kg, en el estudio actual la concentración es 0.048 mg/kg, la concentración fue menor. En el Río Cudico la concentración en el estudio de Saldivia (2005) (ANEXO 5, Tabla N° 6) fue 0.08 mg/Kg, en el estudio actual es 0.053 mg/Kg la cual fue menor.

Para el Plomo en el Río Cruces la concentración en el estudio de Saldivia (2005) (ANEXO 5, Tabla N° 7) la concentración fue 7.10 mg/kg, en el estudio actual la concentración es 6.49 mg/kg inferior al estudio de Saldivia (2005). El Plomo, en el Río Nanihue la concentración en el estudio de Saldivia (2005) (ANEXO 5, Tabla N° 6) fue 5.88 mg/kg, en el estudio actual la concentración fue 5.5 mg/kg, la cual fue inferior. En el Río Cudico, en el estudio de Saldivia (2005) (ANEXO 5, Tabla N° 6) fue 6.89 mg/kg, en el estudio actual la concentración es 6.0 mg/kg, el cual fue inferior.

Para el metal Aluminio en el Río Cruces en el estudio de Contreras (2006) (ANEXO 5, Tabla N° 4 y N° 5) la concentración fue de 4.10×10^4 mg/kg, en el estudio actual la concentración fue 3.74×10^4 mg/kg el cual fue menor.

Los resultados de los elementos encontrados en los ríos Nanihue, Cudico y Cruces, son mencionados en el ANEXO 3 (TABLAS DE RESULTADOS), desde la tabla N°1 a la tabla N°3.

Al comparar la concentración de Hierro en los tres Ríos, Río Nanihue la concentración promedio fue 3.91×10^4 mg/kg, para el Río Cudico es 3.56×10^4 mg/kg, y el Río Cruces 3.69×10^4 mg/kg, las concentraciones son similares para los tres Ríos.

Al comparar la concentración de Manganeseo en los tres Ríos, Río Nanihue la concentración promedio es 13.1×10^2 mg/kg, en el Río Cudico 18.7×10^2 mg/kg, para el Río Cruces 10×10^2 mg/Kg, las concentraciones son similares en los tres Ríos.

Al comparar la concentración de Cobre en los tres Ríos, para el Río Nanihue la concentración promedio fue 28.28 mg/kg, en el Río Cudico 28.88 mg/kg, y para el Río Cruces 36.44 mg/kg, las concentraciones son similares para los tres Ríos.

En el caso del Cadmio la concentración promedio en el Río Nanihue es 8.2×10^{-2} mg/kg, para el Río Cudico la concentración promedio es 9.8×10^{-2} mg/kg, para el Río Cruces es 10.9×10^{-2} mg/kg, las concentraciones son similares en los tres Ríos.

Para el Plomo la concentración promedio en Río Nanihue es 5.5 mg/kg, en el Río Cudico la concentración promedio es 6.0 mg/kg. Se observo una alta concentración en el Primer muestreo.

El Arsénico presentó las siguientes concentraciones, en el Río Nanihue es 3.03 mg/kg, Río Cudico la concentración es 4.4 mg/kg, y en el Río Cruces es 4.4 mg/kg, las concentraciones son similares en los tres Ríos.

Para el Mercurio, las concentración en el Río Nanihue fue 4.88×10^{-2} mg/kg, para el Río Cudico la concentración fue 5.3×10^{-2} mg/kg y en el Río Cruces fue 5.57×10^{-2} mg/kg, las concentraciones son similares en los tres Ríos.

Para el Aluminio las concentraciones fueron, para el Río Nanihue fue 38.0×10^3 mg/kg, en el Río Cudico la concentración fue 37.8×10^3 mg/kg, y en el Río Cruces fue 37.4×10^3 mg/kg, las concentraciones son similares en los tres Ríos.

Al comparar las concentraciones en los tres ríos, se observan concentraciones similares en los elementos Hierro, Cadmio, Cobre, Arsénico, Mercurio, Aluminio, Plomo, Manganeseo.

Al comparar los resultados actuales con estudios de otros estuarios, para el Cobre en un estudio realizado en el estuario de Reloncaví el año 2007 se observa una concentraciones menor en el estudio actual, en el estudio de Reloncaví (2007) las concentraciones fluctúan 8 – 94 (mg/Kg) en el estudio actual fluctúan 21- 43 (mg/Kg).

Aguas Filtradas y No Filtradas.

Al comparar las concentraciones obtenidas en las muestras de agua del Río Nanihue, Río Cudico, Río Cruces, en los tres muestreos, tanto en Aguas Filtradas y No Filtradas 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. N° 90 de 2000 del Ministerio Secretaria General de la Presidencia (Anexo 5, Tabla N° 8), todos los metales se encuentra bajo el límite permitido. Al comparar las muestras de aguas con los criterios establecidos en la Norma Chilena Oficial (NCh409/1.Of2005), para Agua Potable (Anexo 5, Tabla N° 9 y N° 10), el metal que supera el límite máximo permitido es el Hierro.

Ríos Nanihue, Cudico y Cruces.

Los resultados de los metales encontrados en los ríos Nanihue, Cudico y Cruces, son mencionados en el ANEXO 3 (TABLAS DE RESULTADOS), desde la tabla N°4 a la tabla N°9.

Cobre.

En el caso del **Cobre** las concentraciones en Aguas Filtradas fluctúan 0.0062 mg/L – 0.051 mg/L, en Aguas No Filtradas la concentración fluctúan 0.00135 mg/L – 0.0324 mg/L. Se encontró mayor concentración en Aguas Filtradas que en Aguas No Filtradas, esta diferencia podría deberse a una contaminación del filtro que se utilizó durante el procedimiento en el laboratorio.

Cadmio.

Para el **Cadmio** en el Primer y Segundo muestreo, se detectaron concentración bajo el límite de detección del equipo. En el Tercer muestreo de Aguas No Filtradas, las concentraciones fluctúan desde 0.0001 mg/L – 0.009 mg/L.

Hierro.

En el caso del **Hierro** se obtuvieron concentraciones en Aguas Filtradas como en No Filtradas, las concentraciones fluctúan, en Aguas Filtradas, entre 0.00920 mg/L a 0.984 mg/L, mientras que en Aguas No Filtradas, fluctúan entre 0.0023 mg/L a 2.01 mg/L. Se encontró mayor concentración de Hierro en Aguas No Filtradas.

Manganeso.

Para el **Manganeso**, en Aguas Filtradas se determinó mayor concentración en el Segundo y Tercer muestreo, las concentraciones fluctúan entre 0.0006 mg/L a 0.066 mg/L. En Aguas No Filtradas las concentraciones fluctúan entre 0.0011 mg/L a 0.080 mg/L. Se encontró mayor concentración en Aguas No Filtradas.

Mercurio y Arsénico.

Para los elementos **Mercurio** y **Arsénico** no se detectaron concentraciones que fuesen medibles por el equipo.

Los resultados de los elementos encontrados en los ríos Nanihue, Cudico y Cruces, son mencionados en el ANEXO 3 (TABLAS DE RESULTADOS), desde la tabla N°4 a la tabla N°9.

Aguas Filtradas.

Al comparar la concentración de Hierro en los tres Ríos, Río Nanihue la concentración promedio fue 0.187 mg/L, y para el Río Cudico la concentración fue 0.186 mg/L, las concentraciones promedio fueron similares para los dos Ríos. Para el Río Cruces no se tomaron muestras.

Al comparar la concentración de Manganeso en los tres Ríos, para el Río Nanihue la concentración promedio fue 0.0103 mg/L, para el Río Cudico la concentración es 0.0108 mg/L, las concentraciones fueron similares en ambos Ríos. Para el Río Cruces no se tomaron muestras.

Al comparar la concentración de Cobre en los tres Ríos, para el Río Nanihue la concentración promedio la concentración fue 16.4×10^{-3} mg/L, para el Río Cudico fue 17.44×10^{-3} mg/L, en el

Río Cruces la concentración fue la siguiente 21.06×10^{-3} , las concentraciones fueron similares en los tres Ríos.

Aguas No Filtradas.

Al comparar la concentración de Hierro en los tres Ríos, para el Río Nanihue la concentración promedio fue 0.568 mg/L, en el Río Cudico la concentración fue 0.630 mg/L, las concentraciones fueron similares en ambos Ríos. Para el Río Cruces no se tomaron muestras.

Al comparar la concentración de Manganeseo en los tres Ríos, para el Río Nanihue la concentración promedio fue 29.6×10^{-3} mg/L, y para el Río Cudico la concentración fue 30.4×10^{-3} mg/L, las concentraciones fueron similares en los dos Ríos. Para el Río Cruces no se tomaron muestras.

Al comparar la concentración de Cobre en los tres Ríos, para el Río Nanihue la concentración promedio fue 5.630×10^{-3} mg/L, para el Río Cudico fue 6.316×10^{-3} mg/L, en el Río Cruces la concentración fue la siguiente 4.8×10^{-3} mg/L, las concentraciones fueron similares en los tres Ríos.

Para los metales Hierro, Manganeseo, Cobre al ser comparado en los tres Ríos se observan concentraciones similares.

Puntos de Alta Concentración.

Río Cruces:

En el Río Cruces, se encontró alta concentraciones en el punto Santa María en Sedimento, Aguas Filtradas y No Filtradas.

Río Nanihue:

Para el Río Nanihue, las altas concentraciones se encontraron el punto El Belloto, Puente Nanihue, Nanihue 5, y Nanihue 6 tanto en Sedimento, Aguas Filtradas y No Filtradas. Se observa que a medida que se acerca a la confluencia de los Ríos Nanihue y Cudico aumentan las concentraciones.

Los puntos donde se observan altas concentraciones es la confluencia de los Ríos Nanihue y Cudico tanto el 1 y 2, y los puntos cercanos a ellos también se observan altas concentraciones.

Río Cudico:

Los puntos donde se encontró altas concentraciones son el Puente Cudico, Cudico 2 y Cudico 3 tanto en Sedimento, Aguas Filtradas y No Filtradas.

Se observa que las concentraciones aumentan a medida que se acerca a la confluencia de los Ríos Cudico y Nanihue. Para el Cudico 3 las concentraciones son similares a los puntos de unión de los Ríos Nanihue y Cudico, el punto uno y dos.

CONCLUSIÓN

Sedimento.

- Los elementos encontrados en mayor concentración en los tres muestreos fueron, Fe, Cu, Mn, y Al.
- Los elementos encontrados en menor concentración en los tres muestreos fueron, Pb, Cd, As y Hg.
- De acuerdo a las concentraciones promedio obtenidas en este estudio tenemos el siguiente orden para los elementos $Fe > Al > Mn > Cu > Pb > As > Cd > Hg$.
- Se observan similares concentraciones, no se obtuvieron diferencias significativas en los tres muestreos para Hierro, Manganeso, Cadmio, Aluminio, Cobre, Mercurio, Arsénico.

Al comparar las tres áreas de estudios Río Nanihue, Río Cudico, Río Cruces.

Se debe tener en cuenta que en el Primer Muestreo no se recogieron muestras del Río Cruces.

- Al comparar las concentraciones en los tres Ríos, se observan concentraciones similares en los elementos Hierro, Cadmio, Cobre, Arsénico, Mercurio, Aluminio, Plomo, Manganeso.
- Se observa la siguiente tendencia, en el Río Nanihue, desde el Puente Nanihue hasta Nanihue 6 disminuye, al igual que en el Río Cudico desde el Puente Cudico hasta el Cudico 3, y aumentan en los puntos de confluencia de los Ríos Nanihue y Cudico. En el Río Cruces las concentraciones son constantes.

- Para el Hierro, en el Río Cruces las concentraciones fueron en el siguiente orden de mayor a menor, Contreras (2006), Saldivia (2005), estudio actual. En el Río Nanihue las concentraciones fueron menor en el presente estudio comparado con el estudio de Saldivia, (2005), pero en el caso del Río Cudico se obtuvo mayor concentración en el presente estudio (sin grandes diferencias).
- Para Manganeseo en el presente estudio tanto en los Ríos Nanihue, Cudico y Cruces, comparado con el estudio de Saldivia (2005) y Contreras (2006), las concentraciones son similares.
- Las concentraciones de Cobre fueron menor en el presente estudio comparado con el estudio de Saldivia (2005) y Contreras (2006) en las tres Ríos.
- Las concentraciones de Aluminio fueron menor en el presente estudio, comparado con el estudio de Contreras (2006) en el Río Cruces.
- Las concentraciones de Plomo fueron menor en el presente estudio comparado con el estudio de Saldivia (2005) en el Río Cruces, Nanihue y Cudico. Se observaron concentraciones muy altas en el primer muestreo comparado con los restantes en el presente estudio.
- En el caso del Mercurio las concentraciones fueron menor en el presente estudio en los tres Ríos muestreados, comparado con el estudio de Saldivia (2005).

Dos de los elementos encontrados en mayor concentración Hierro y Aluminio en Sedimento, podría ser por la presencia de sus correspondientes sulfatos. El Sulfato de Aluminio ha sido utilizado históricamente para tratar todo tipo de aguas, ya sea para el consumo humano como

para mejorar la calidad de los efluentes industriales o cloacales, éste se produce a partir de distintas materias primas: una que no posee Hierro mayormente utilizada por las papeleras y otra que incorpora hasta una cantidad de Hierro que ronda el 10% del contenido de Aluminio (Sulfato de Aluminio enriquecida con Hierro); este Sulfato está siendo utilizado en mayor medida en el tratamiento de aguas, siendo obtenido a partir de materias primas desarrolladas para cumplir con las exigencias para este uso. El Sulfato de Aluminio con Hierro posee la gran ventaja de actuar con dos cationes y a su vez incorpora una cantidad de sólidos en suspensión del orden del uno y medio porcentual que le confiere mayor eficiencia y más amplios rangos de operación (Contreras, 2006).

Aguas Filtradas.

- Los elementos encontrados en mayor concentración en los tres muestreos fueron Fe, Mn y Cu.
- Para los elementos Cd, As, Hg presentaron concentraciones menores al límite de detección del equipo.
- De acuerdo a las concentraciones promedio obtenidas en este estudio tenemos el siguiente orden para los metales $Fe > Mn > Cu$.
- Las concentraciones más altas para Fe se presentaron en el segundo muestreo, (Primavera del 2006).

- Las concentraciones más altas para Mn se presentaron en el segundo muestreo, (Primavera del 2006).
- Las concentraciones más altas para Cu se presentaron en el segundo muestreo, (Primavera 2006).
- Existe una variación temporal de los metales encontrados en mayor cantidad. Para Mn, Fe, Cu las mayores concentraciones se presentaron en el segundo muestreo el cual corresponde a Primavera 2006, y las menores concentraciones se presentaron en Otoño del 2006 y 2007.
- Al comparar las concentraciones de Mn en Otoño del 2006 y 2007 se observa una mayor concentración en Otoño del 2006.
- Al comparar las concentraciones de Cu en Otoño del 2006 y 2007 se observa una mayor concentración en Otoño del 2007.
- Al comparar las concentraciones de Fe en Otoño del 2006 y 2007 se observa una mayor concentración en Otoño del 2006.

Al comparar las tres áreas de estudios Río Nanihue, Río Cudico, Río Cruces.

Se debe tener en cuenta que en el Primer Muestreo no existen muestras del Río Cruces.

Para el **Fe** se observa lo siguiente:

- Se observan concentraciones similares en el Río Nanihue y Río Cudico.
- El punto El Belloto la concentración es baja comparada con el punto Puente Nanihue, en los tres muestreos.
- En el Río Nanihue, desde el punto El Puente Nanihue hasta el punto Nanihue 6 se observa una disminución, y no se detecta concentración en la confluencia de los Ríos Nanihue y Cudico en el punto 1 y 2, en los tres muestreos.
- En el Río Cudico, desde el punto El Puente Cudico hasta el punto el Cudico 2 se observa una disminución.

Para el **Mn** se observa lo siguiente:

- Se observan concentraciones similares en el Río Nanihue y Río Cudico.
- El punto El Belloto la concentración es baja comparada con el punto Puente Nanihue, en el primer muestreo.
- En el Río Nanihue, se observa alta concentraciones en los orígenes del Río y a medida que avanza, disminuye la concentración y vuelve aumentar en la confluencia de los Ríos Nanihue y Cudico en el punto 2.

- En el Río Cudico, desde el punto El Puente Cudico hasta el Cudico 3 se observa disminución, luego un aumento en la confluencia de los Ríos Nanihue y Cudico en el punto 2, en los tres muestreos.
- En el Río Cruces las concentraciones son menores a 0.001 mg/L, las cuales no son detectadas por el equipo. (En el segundo y tercer muestreo).

Para el **Cu** se observa lo siguiente:

- Se observan concentraciones similares en el Río Nanihue y Cudico.
- El punto El Belloto la concentración es baja comparada con el punto Puente Nanihue, en los tres muestreos.
- En el Río Nanihue, se observan concentraciones altas en el origen del Río y vuelve aumentar la concentración en la confluencia de los Ríos Nanihue y Cudico.
- En el Río Cudico, se va observando un aumento a medida que se acerca a la confluencia de los Ríos Nanihue y Cudico.

Aguas No Filtradas.

- Los elementos encontrados en mayor concentración en los tres muestreos fueron, Fe, Mn y Cu.
- El elemento encontrado en menor concentración en los tres muestreos fue Cd.
- Para el As y Hg presentaron concentraciones menores al límite de detección del equipo.
- De acuerdo a las concentraciones promedio obtenidas en este estudio tenemos el siguiente orden para los metales $Fe > Mn > Cu > Cd$.
- Las concentraciones más altas para Fe se presentaron en el segundo muestreo, (Primavera del 2006).
- Las concentraciones más altas para Mn se presentaron en el tercer muestreo, (Otoño del 2007).
- Las concentraciones más altas para Cu se presentaron en el segundo muestreo, (Primavera 2006).
- Al comparar las concentraciones de Cu en Otoño del 2006 y 2007 se observa una mayor concentración en Otoño del 2007.
- Al comparar las concentraciones de Mn en Otoño del 2006 y 2007 se observa una mayor concentración en Otoño del 2007.

Al comparar las tres áreas de estudios Río Nanihue, Río Cudico, Río Cruces.

Se debe tener en cuenta que en el Primer Muestreo no existen muestras del Río Cruces.

Para **Fe** se observa lo siguiente:

- Se observan concentraciones similares en el Río Nanihue y Río Cudico.
- El punto El Belloto la concentración es baja comparada con el punto Puente Nanihue.
- Desde el punto Puente Nanihue hasta el Nanihue 6 va disminuyendo, y luego aumenta hasta la confluencia de los Ríos Nanihue y Cudico en el punto 2.
- En el Río Cudico, desde el Puente Cudico hasta la confluencia de los Ríos Nanihue y Cudico en el punto 1 va disminuyendo, y aumenta en el punto 2 en la confluencia de estos Ríos, en el tercer muestreo.

Para **Mn** se observa lo siguiente:

- Se observan concentraciones similares en el Río Nanihue y Río Cudico.
- El punto El Belloto la concentración es baja comparada con el punto Puente Nanihue, en el primer y tercer muestreo.
- En el Río Nanihue, en los primeros puntos las concentraciones son similares, y desde el punto Nanihue 6 hasta las confluencias de los Ríos Nanihue y Cudico en el punto 2 va disminuyendo.

- En el Río Cudico, desde el punto el Puente Cudico hasta el Cudico 2 va aumentando la concentración, luego disminuye hasta en la confluencia de los Ríos Nanihue y Cudico en el punto 2, primer y tercer muestreo.

Para **Cu** se observa lo siguiente:

- Se observan concentraciones similares en el Río Cruces, Nanihue y Cudico.
- El punto El Belloto la concentración es baja comparada con el punto Puente Nanihue, en el primer y tercer muestreo.
- En el Río Nanihue en los primeros puntos va disminuyendo y luego aumenta hasta la confluencia de los Ríos Nanihue y Cudico en el punto 2.
- En el Río Cudico desde el Puente Cudico hasta el Cudico 3 las concentraciones son constantes y luego aumenta hasta la confluencia de los Ríos Nanihue y Cudico en el punto 2.

Comparación de Aguas Filtradas y No Filtradas.

- Para Aguas Filtradas y sin Filtrar el metal encontrado en mayor concentración fue el Fe, y la mayor concentración se observó en el segundo muestreo para ambas Aguas, (Primavera 2006).
- Al comparar las concentraciones de Aguas Filtradas y Sin Filtrar para el metal Fe, se observa mayor concentración en Aguas sin Filtrar.
- Para el metal Mn se observó en Aguas Filtradas en el segundo muestreo (Primavera 2006) la mayor concentración y en Aguas No Filtradas en el tercer muestreo (Otoño 2007).
- Al comparar las concentraciones de Aguas Filtradas y Sin Filtrar para el metal Mn, se observa mayor concentración en Aguas sin Filtrar.
- En el caso del metal Cu se observó las mayores concentraciones en el segundo muestreo tanto en Aguas Filtradas y Sin Filtrar.
- Al comparar las concentraciones de Aguas Filtradas y Sin Filtrar para el metal Cu, se observa mayor concentración en Aguas Filtradas, lo cual se puede deber a una contaminación de algún instrumento utilizado en el laboratorio.
- Para Aguas Filtradas y No Filtradas, los elementos As y Hg presentaron concentraciones menores a 0.001 mg/L para ambos metales, bajo el límite de detección del equipo.

Lo que diferencia el estudio del sedimento con otro tipo de matrices, es que este tiene la ventaja de reflejar las condiciones existentes tiempo atrás, mientras para el caso de la toma de muestras de

agua esta da una visión puntual en el momento de la recolección, dicho de otro modo, mediante el análisis del agua se obtiene una imagen fija (foto) de la situación existente en el momento de la toma de la muestra, por el contrario mediante el uso de sedimento y especies bioacumuladoras (caso de *Scirpus californicus*) se obtiene una visión retrospectiva (película) de lo sucedido tiempo atrás (Contreras, 2006).

Los elementos encontrados en altas concentraciones en el Río Cruces, Nanihue, Cudico, tanto en Sedimento, Aguas Filtradas y No Filtradas fueron Fe, Mn y Cu, Al, estas altas concentraciones se cree que se deben a las actividades antropogénicas que han aumentado estos últimos años.

Los elementos encontrados en menores concentraciones en el Río Cruces, Nanihue, Cudico, tanto Sedimento, Aguas Filtradas y No filtradas fueron Pb, Cd, As y Hg.

Para las Aguas Filtradas y No filtradas las mayores concentraciones se obtuvieron en Primavera del 2006, existe una variación temporal de los metales encontrados en mayor concentración.

Se observa la siguiente tendencia, tanto en Sedimento y Aguas, en los puntos el Belloto, Puente Nanihue, Puente Cudico son puntos que se encuentran en lo orígenes de los Ríos Nanihue y Cudico, las concentraciones son altas esto podría deberse a focos de contaminación, al igual se encuentra menor cantidad de agua en estos sectores lo cual aumenta la concentración.

Se observa la siguiente tendencia en la confluencia de los Ríos Nanihue y Cudico en los puntos 1 y 2, al igual que los puntos cercanos a estos, lo cual podría deberse a una turbulencia que se origina en esos puntos por lo cual se van acumulando los elementos, ya que no existen industrias cercanas a estos lugares.

Se observaron altas concentraciones en Primavera, lo cual puede deberse a contaminaciones externas en los Ríos.

Al comparar las concentraciones del estudio actual con estudios anteriores, 2004 – 2005 de Saldivia y CONAMA – UACH, Contreras 2006, se observa una disminución de las concentraciones de elementos traza en el Río Cruces, Río Nanihue y Río Cudico, lo que coincide con un mayor control de las emisiones por parte de las autoridades Nacionales.

Al analizar las muestras de sedimento y aguas se encontraron altas concentraciones de metales pesados y al comparar el estudio actual con estudios anteriores se ha observado una disminución de estos. Por lo tanto la hipótesis planteada en este trabajo está parcialmente aceptada ya que las concentraciones han bajado en los años 2006 y 2007 periodo en el cual se realizó el presente estudio.

LITERATURA CITADA

Ahumada, R. (1994) Nivel de Concentración e Índice de Bioacumulación para Metales Pesados (Cd, Cr, Hg, Cu, Pb y Zn) en Tejidos de Invertebrados Bentónicos de Bahía San Vicente, Chile. *Rev. Biol. Mar.*, Valparaíso, 29 (1): 77 – 87.

Ahumada, R. y Contreras, S. (1999) Contenido de metales traza (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr, V y Zn) en sedimento de los fiordos y canales adyacentes a campo de hielo sur. *Cienc. Tecnol. Mar.* 22, 47-58.

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.

Aracena, C. (2003) Comparación del Contenido de Metales Trazas en Sedimentos de los Lagos Villarrica y Calafquén, Distrito de los Lagos Araucanos, Centro Sur de Chile. Tesis, Escuela de Biología Marina, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, 92pp.

Aragonez, N., Palacios, M., Avello, A. et al, (2001) Nivel de arsénico en abastecimientos de agua de consumo de origen subterráneo en la comunidad de Madrid. *Rev. Esp. Salud Pública.* 75(5), 421-432.

Baran, E. (1994) Química Bioinorgánica. Mc. Graw-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A. pp.245.246.

Baran, J. (1995) Química Bioinorganica. Mc. Graw-HILL/INTERAMERICANA, Madrid. 321pp.

Bryan, (1976) Mecanismos de Toxicidad y de Tolerancia a los Metales Pesados. En: C. Cervantes, R. Moreno (Eds) Contaminación Ambiental por Metales Pesados, Impacto en los Seres Vivos. AGT Editor. México, D.F: 11 – 40.

Contreras, Y. (2006) Determinación de Metales Traza (Ni, Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Al) en Totora (*Scirpus Californicus*) y Sedimento en el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, Río Cruces, Valdivia. Tesis, Escuela de Química y Farmacia, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, 34 pp.

Dekov, V.M., Araujo, F., Van Grieken, R. and Subramanian, V. (1998) Chemical composition of sediments and suspended matter from the Cauvery and Brahmaputra rivers (India). *The Science of the Total Environment* 212, 89-105.

Díaz, O.P. (1993) “*Tagelus dombeii* como Indicador de la Calidad del Agua Marina en la Zona Costera de la Bahía San Vicente (VIII región, Chile) y del riesgo de Contaminación por Mercurio y Metilmercurio de origen antrópico”. Tesis para optar al Grado de Doctor en Ciencias Ambientales, Centro EULA. Universidad de Concepción.

Eisler, R. (2000) Handbook of Chemical Risk Assessment. Health, Hazard to Humans, Plants and Animals. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 650 pp.

Fortoul, T., Osorio, L., Tovar, A., Salazar, D., Castilla, M. E. & Olaiz – Fernández, G. (1996) Metals in Lung Tissue from Autopsy Cases in Mexico City Residents: Comparison of Cases from 1950s and the 1980s. *Environmental Health Perspectives*, vol. 104 (6): 630 – 632.

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

Förstner, U., Ahlf, W., Calmano, W. and Kersten, M. (1990) Sediment criteria development. In: Heling D, Rothe P, Förstner U, and Stoffers P (Eds), *Sediments and environmental Geochemistry*. Berlin: *Springer-Verlag*, pp 311-338.

Förstner, U. and Wittmann, G.T.W. (1981) Heavy metal pollution in the aquatic environment (2nd Ed). *Spring-Verlag*. Berlin. Heidelberg New York, pp 486.

Gray, N. (1996) Calidad del agua potable: problemas y soluciones. Acribia, Zaragoza. España, 365pp.

Harrison, P. and Hoare, R. (1980) Metals in Biochemistry, Chapman & Hall, London, Chap. N°1. 78pp.

Ikemoto, T., Kunito. T., Tanaka, H., Baba, N., Miyazaki, N. and Tanabe, S. (2004) Detoxification Mechanism of heavy metals in marine mammals and seabirds. Interaccion Of selenium, zinc and cadmium in liver. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 47, 402-412

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

IPCS (Internacional Programme on Chemical Safety) (2001) Environmental Health Criteria 221, Zinc, World Health Organization, Geneva, Suiza.

Kosnett, M, MD, MPH (2005) Quelantes e intoxicaci n por metales pesados. En: Farmacolog a b sica y cl nica 9^a Ed.: 957-968. Manual Moderno, México

Langston, W.J. (1990) Toxic Effects of Metals in the Incidence of Metal Pollution in Marine Ecosystems. En: R.W. Furness and P.S. Rainbow (Eds.) Heavy Metals in the Marine Environments: 101 – 122. CRC Press, Florida.

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.

Moreno & Devars, (1999) Abundancia de los Metales Pesados en la Biosfera. En: C. Cervantes, R. Moreno (Eds) Contaminación Ambiental por Metales Pesados, Impacto en los Seres Vivos. *AGT Editor. México, D.F:* 1 – 10.

Nelson, P. (1996) Concentración de Metales Pesados en Invertebrados, Helófitos y Sedimento del Complejo Estuarial Valdiviano. Tesis, Escuela de Biología Marina. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile. 52 p

OMS (1980) 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.

Paredes, M. (1998) Determinación de Metales Pesados en dos Especies de Bivalvos del Estuario de Valdivia y la Bahía de Corral (X Región) Mediante Análisis Electrotérmico. Tesis, Escuela de Biología Marina. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile. 57p.

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

PNUMA (1980) Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. “El Estado del Medio Ambiente”

Rovira, J.V. (1993) Estudio de la contaminación por metales pesados del Río Jarama. Tesis Doctoral. Madrid, pp 360.

- Rosas, H. (2001)** Estudio de la Contaminación de Metales Pesados en la Cuenca del Llobregat. Tesis Doctoral. Instituto de Ingeniería Minera y Recursos Naturales. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Saldivia (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. 162 p.
- Soto, M. (2001)** Biodisponibilidad de Metales Pesados (Cd, Cu y Pb) en Sedimentos Marinos Superficiales Procedentes de las Principales Zonas Ostrícolas del Estado de Sonora. Tesis, Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Sonora.
- Waldichuk, M. (1974)** Some biological concerns in heavy metals pollution. En: Verenberg, F.J. & W.B. Verenberg (Eds.) Pollution and physiology of marine organisms. Academic Press, New York: 1 – 45.
- Vink, R., Behrendt, H. and Salomons, W. (1999)** Development of the heavy metal pollution trends in several European rivers: an analysis of point diffuse sources. *Water Science Technology* 39(12), 215-223.

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

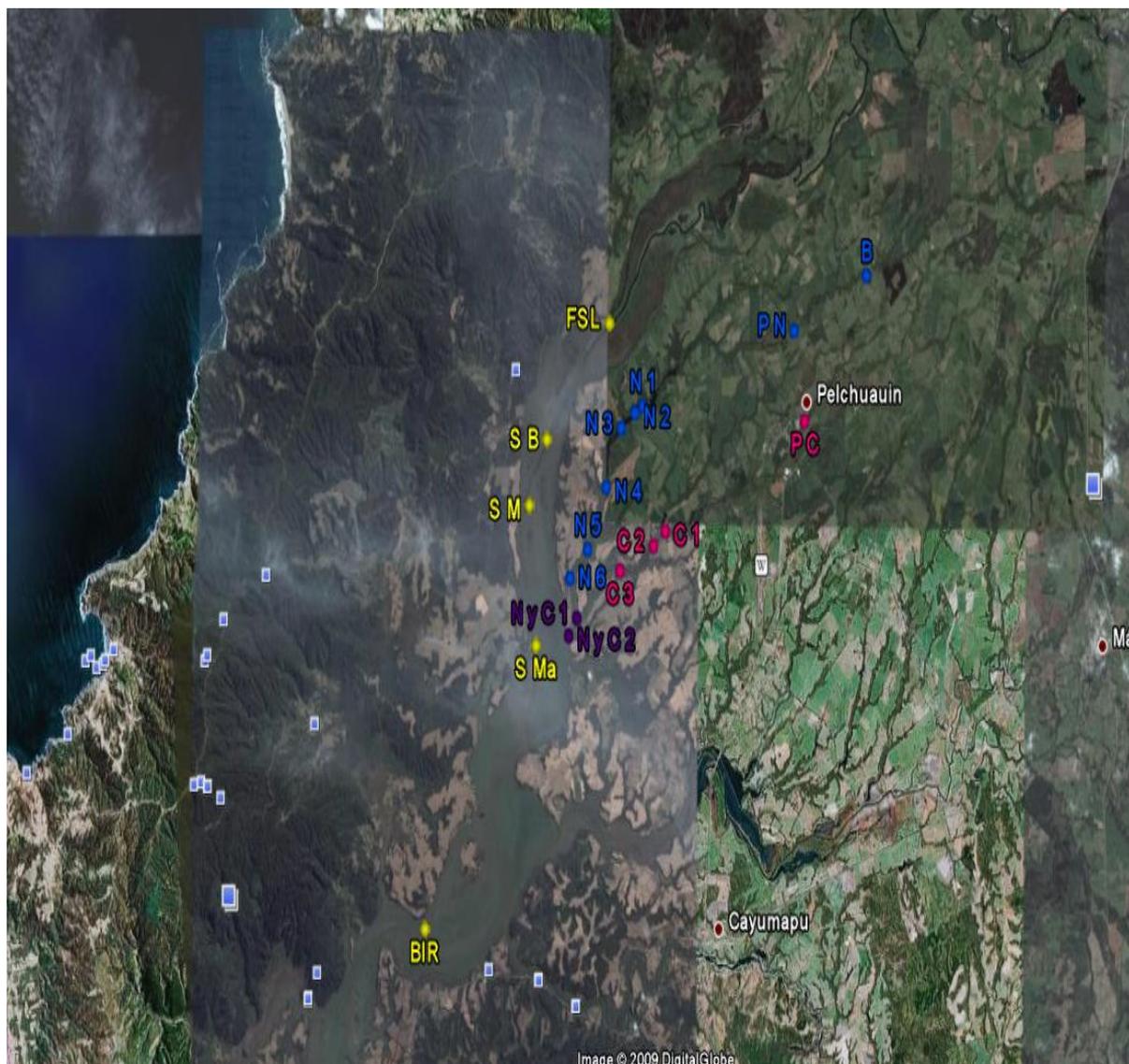
ANEXO 1

Ubicación geográfica de los distintos lugares muestreados

Tabla N° 1: Ubicación geográfica de las estaciones visitadas.

Puntos	Unidades Geográfica.
El Belloto	W 73° 0.2' 40''
Pte.Nanihue	W 73° 0.2' 26,9''
Nanihue 1	W 73° 0.8' 6.8''
Nanihue 2	W 73° 0.8' 17,2''
Nanihue 3	W 73° 0.8' 37.3''
Nanihue 4	W 73° 0.8' 57,8''
Nanihue 5	W 73° 0.9' 25,4''
Nanihue 6	W 73° 0.9' 50.5''
Pte.Cudico	W 73° 0.4' 8.2 ''
Cudico 1	W 73° 0.7' 31.5''
Cudico 2	W 73° 0.7' 48,2''
Cudico 3	W 73° 0.8' 37.3''
Nan. y Cud. 1	W 73° 0.9' 40.6''
Nan. y Cud. 2	W 73° 0.9' 51.1''
Fuerte San Luis	W 73° 0.8' 56.8''
Salida Bañados	W 73° 10' 26.6''
San. Martín	W 73° 11' 2.9''
Sta. María	W 73° 10' 45.1''
Bajo Isla Rialejo	W 73° 13' 18.2''

Tabla N° 2: Mapa de Ubicación.



B: El Belloto, PN: Puente Nanihue, Nanihue 1: N1, Nanihue 2: N2, Nanihue 3: N3, Nanihue 4: N4, Nanihue 5: N5, Nanihue 6: N6, Pte. Cudico: PC, Cudico 1: C1, Cudico 2: C2, Cudico 3: C3, Nan. y Cud. 1: N y C1: Nan. y Cud. 2: N y C2, Fuerte San Luis: FSL, Salida Bañados: SB, San Martín: SM, Santa María: S Ma, Bajo Isla Rialejo: BIR.

ANEXO 2

Metodología de tratamiento de las muestras

Procedimiento Analítico de Digestión Ácida en Horno Microondas.

Una vez pesados 0.5 gramos de sedimento previamente secadas, en los vasos del horno microondas Milestone modelo Ethos 1600, se procede a adicionar a cada uno de los vasos 6 mL de HNO₃ concentrado y 1 mL de H₂O₂ al 30 %, posteriormente se cierra cada uno de los vasos, y son colocados en el horno microondas, luego se digita el programa diseñado para la digestión de sedimento, según lo especificado por el manual de procedimientos.

Step	Time	Power	Press	Temp1	Temp2
1	00:02:00	250	0	0	0
2	00:02:00	0	0	0	0
3	00:06:00	25	0	0	0
4	00:05:00	400	0	0	0
5	00:05:00	600	0	0	0

Vent 00:05:00 Rtrctrl o Twist on.

Programa Utilizado para el Lavado de los vasos del Horno Microondas.

Para el lavado de cada uno de los vasos del microondas se deben adicionar 4 ml de HNO₃ concentrado. Luego se introducen en el Horno Microondas y se digita el programa de lavado.

Step	Time	Power	Press	Temp1	Temp2
1	00:05:00	240	0	0	0
2	00:08:00	360	0	0	0

Análisis a la llamaPreparación de los estándares:

Para la determinación de la concentración de los elementos Cadmio, Cobre, Hierro, Manganeso y Aluminio en Sedimento, se realizó la preparación de tres estándares, para cada uno de los elementos.

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

C.estándar (mg/L)	Cd	Cu	Fe	Mn	Al	Pb
1	0.05	0.5	1	0.5	5	0.5
2	0.1	1	2.5	1	25	1
3	0.25	2	5	2	50	2

Todos los estándares de estos elementos se prepararon a partir de estándares certificados, cuya concentración es de 1000 ppm.

El equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica (AAS), una vez leídas las muestras entrega la concentración corregida de cada una de ellas. 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 muestra, tiempo de medición, método y tipo de llama, así como la concentración de cada uno de los estándares preparados para la curva de calibración. Para que este proceso se pueda realizar, es necesario que antes de proceder a la lectura se realice el ingreso de los siguientes datos: nombre, peso y volumen de cada una 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 HNO_3 , 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 Hg^{2+} 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 HNO_3 y se afora con agua desionizada a 50 mL final.

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 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 90°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 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 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 ($1\mu\text{g}/1000\text{ ng}$).

A_{St} : Volumen del estándar.

V_M : Volumen de la muestra.

Imagen 1. Equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica UNICAM, modelo M - 5



Imagen 2. Espectrofotómetro de Absorción Atómica, Perkin Elmer, modelo 3110 y un generador de Hidruro.



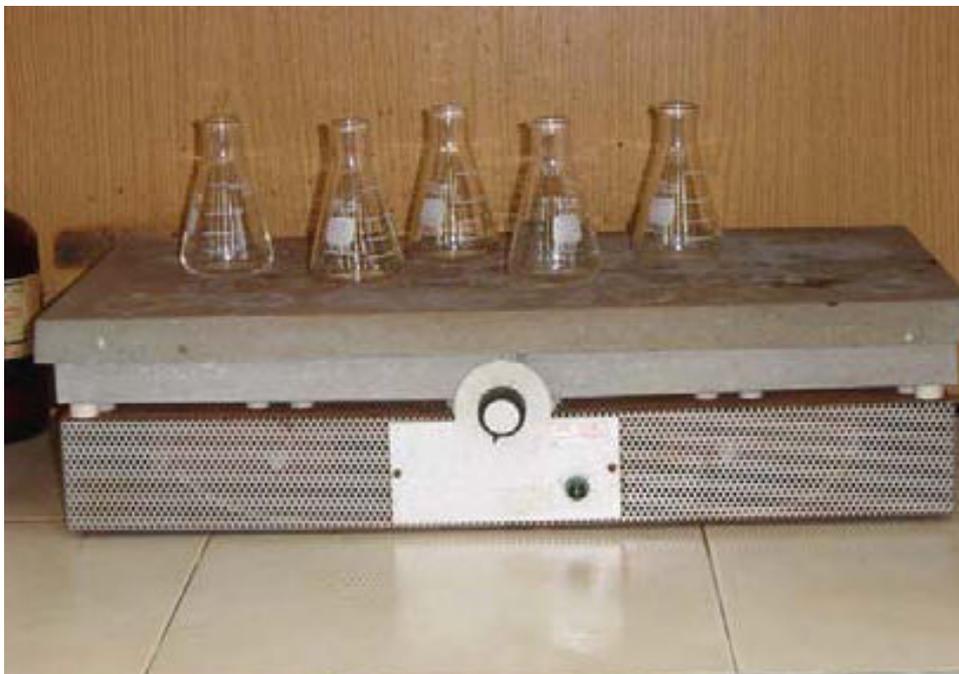
Imagen 3. Horno Microondas **Milestone**, modelo Ethos 1600, utilizado para realizar digestión ácida en Sedimento.



Imagen 4. Placa térmica, utilizada para evaporar a sequedad las muestras de Agua.



Imagen 5. Placa Térmica, utilizada para realizar la digestión ácida de los Sedimento.



ANEXO 3

Descripción de Metales

Descripción de Metales Analizados.

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).

No existe evidencia de que el cadmio es biológicamente esencial o benéfico; por el contrario ha sido implicado como la causa de numerosas muertes humanas y varios efectos nefastos en peces y vida silvestre. Se le atribuyen efectos carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos.

En concentraciones suficientes es tóxico para toda forma de vida, incluyendo microorganismos, plantas, animales y el hombre. En su forma catiónica normal, como Cd^{2+} , este elemento presenta fuertes analogías químicas con dos elementos esenciales, el Zn^{2+} y el Ca^{2+} , y de alguna manera, estas analogías dan cuenta de sus principales efectos tóxicos (Baran, 1995).

El **Plomo (Pb)** y sus compuestos han sido conocidos por el hombre por mas de 7000 años, y lo peligroso del Pb es que 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).

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 **Arsénico (As)** está presente en cantidades ínfimas en todo tipo de rocas, suelos, agua y aire (IPCS, 2001). El arsénico elemental se obtiene por reacción del trióxido de arsénico (As_2O_3) con carbón vegetal. El As_2O_3 es un subproducto de las operaciones de fundición de metales. Se ha estimado que el 70% de la producción mundial de arsénico se utiliza en el tratamiento de la madera como arseniato de cobre y cromo, el 22% en productos químicos de uso agrícola y el resto en la obtención de vidrio, productos farmacéuticos y aleaciones no ferrosas. La extracción y fundición de metales no ferrosos y la utilización de combustibles fósiles son los principales 11 procesos industriales que contribuyen a la contaminación antropogénica del aire, el agua y el suelo con arsénico (IPCS, 2001).

El arsénico inorgánico fue una de las primeras sustancias químicas considerada carcinógena, habiéndose confirmado que su inhalación produce cáncer de pulmón y su ingestión cáncer de piel en humanos. No obstante, mientras que la valoración de riesgo realizada para la vía inhalatoria ha sido aceptada, existen discrepancias sobre la evaluación del riesgo realizada para la ingesta. Aunque no existen datos concluyentes, se sospecha que su ingestión podría aumentar el riesgo de cáncer en otras localizaciones (hígado, tracto gastrointestinal, vejiga, riñón y sistema hematopoyético) (Aragones *et al*, 2001).

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 mercurio es tóxico en cualquiera de sus formas. Aun en su forma elemental suele ser más tóxico de lo que habitualmente se presupone, produciendo enfermedades crónicas que afectan ante todo a los que están en continuo contacto con él (Baran, 1995). En su forma oxidada habitual, como Hg^{2+} , el mercurio es un agente tóxico muy agudo, fundamentalmente porque a pH fisiológico es muy soluble y no es precipitado por ninguno de los aniones mayoritariamente presentes en los fluidos biológicos. Pero aún más tóxico resultan sus derivados organometálicos, como el $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ y especialmente el catión $(\text{CH}_3)\text{Hg}^{2+}$, los que son generados por bacterias alquilantes. La especial toxicidad de estos compuestos se puede explicar en base a su carácter ambivalente lipofílico/hidrofílico, lo que permite penetrar con mucha facilidad las membranas (Baran, 1995). Este metal se acumula preferentemente en fracciones mitocondriales y nucleares lisosomales, del hígado de las aves (Ikemoto *et al.*, 2004). Algunos de sus síntomas de toxicidad en aves marinas son: incoordinación muscular, hiporeactividad, hipoactividad, lentitud, caída del párpado, tranquilidad, efectos en el crecimiento, reproducción, metabolismo y comportamiento (Eisler, 2000).

El **Cobre (Cu)** es abundante en el medio ambiente y esencial para el crecimiento y metabolismo de todos los organismos vivos (Eisler, 2000). Las fuentes naturales de exposición al cobre son el polvo arrastrado por el viento, los volcanes, la vegetación en descomposición, los incendios forestales y la dispersión marina. Entre las emisiones antropogénicas cabe mencionar los hornos de fusión, las fundiciones y refinamiento 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).

En el ser humano, la toxicidad bioquímica del cobre, cuando supera el control homeostático, se debe a sus efectos en la estructura y la función de biomoléculas como el ADN, las membranas y las proteínas, directamente o mediante mecanismos con intervención de radicales de oxígeno. El cobre y sus compuestos no son carcinogénicos, mutagénicos ni teratogénicos pero en concentraciones elevadas, algunos estudios sugieren que es un potencial carcinogénico en roedores; mutagénico en roedores, ovejas y saltamontes; y teratogénico en pescado y animales pequeños de laboratorio (Eisler, 2000).

El **Hierro (Fe)** es soluble en su estado ferroso (Fe^{2+}) y se oxida en presencia de aire a la forma insoluble férrica (Fe^{3+}). Es un metal extraordinariamente común y se encuentra en grandes cantidades en suelos y rocas, aunque normalmente en forma insoluble. Sin embargo debido a un número de complejas reacciones que se suceden de forma natural en el suelo, se pueden formar formas soluble de hierro que puede contaminar cualquier agua que lo atraviese (Gray, 1996).

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 **Manganeso (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).

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).

La toxicidad de manganeso en humanos, se manifiesta con efectos neurotóxicos donde predominan en un inicio perturbaciones psicomotoras agudas, trastorno de la marcha y en un estado más avanzado se observa una psicosis maniática o depresión y con parkinsonismo (OMS,1980).

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).

Un rol eventual del aluminio podría ser el de actuar inhibiendo alguna etapa en la síntesis de neurotransmisores, como lo sugieren recientes estudios *in vitro*, que demostraron claramente que es capaz de inhibir la síntesis de la tetrahidrobiopterina, un cofactor esencial en la hidroxilación de tirosina y triptofano durante la biosíntesis de neurotransmisores. También se ha descrito una encefalopatía, aparentemente relacionada a la acumulación de excesos de aluminio, en pacientes

sometidos durante muchos años a hemodiálisis. En estos tratamientos se suelen utilizar compuestos de aluminio en las soluciones de diálisis a efectos de reprimir hiperfosfatemias, a los que se agrega el aluminio ya de por sí presente en el agua. Todo esto, sumado a los problemas renales, que no permiten una adecuada excreción del metal, favorece su acumulación tóxica. También se ha determinado que el Al (III) puede ser retenido y acumulado en el hueso, lo que demuestra otra vez su gran afinidad por el fosfato (Baran, 1994).

ANEXO 4

Resultados: Tablas

Tabla N° 1: Concentración (mg/Kg) de metales traza en Sedimento durante la estación de Otoño 2006, primer muestreo.

METALES								
Punto de Muestreo	Cd (mg/kg) $\times 10^2$	Pb (mg/kg)	Fe (mg/kg) $\times 10^{-3}$	Mn (mg/kg) $\times 10^{-2}$	As (mg/kg)	Hg (mg/kg) $\times 10^2$	Cu (mg/kg)	Al (mg/kg) $\times 10^{-3}$
El Belloto	9.36	41.2	35.7	6.04	1.34	N.E	43.1	N.E
Pte.Nanihue	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
Nanihue 1	10.1	20.1	47.0	14.7	3.65	N.E	21.5	N.E
Nanihue 2	9.79	20.1	29.2	5.41	6.18	N.E	27.3	N.E
Nanihue 3	7.07	17.3	42.0	37.2	3.52	N.E	20.7	N.E
Nanihue 4	5.32	23.5	40.3	8.61	1.66	N.E	30.3	N.E
Nanihue 5	2.77	29.5	36.4	9.84	1.98	N.E	29.1	N.E
Nanihue 6	6.17	34.1	49.4	10.1	2.90	N.E	33.9	N.E
Pte.Cudico	10.2	39.3	26.2	16.5	2.16	N.E	32.0	N.E
Cudico 1	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
Cudico 2	8.20	24.3	31.6	8.86	3.01	N.E	27.2	N.E
Cudico 3	8.70	36.1	30.3	5.77	4.73	N.E	29.9	N.E
Nan. y Cud. 1	10.7	33.0	45.8	14.0	3.29	N.E	40.2	N.E
Nan. y Cud. 2	10.9	31.5	46.1	12.5	2.93	N.E	36.9	N.E
Fuerte San Luis	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
Salida Bañados	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
San. Martín	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
Sta. María	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
Bajo Isla Rialejo	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E

(N.E) Muestras que no existen: No se tomaron las muestras o se perdieron en el incendio.

Tabla N° 2: Concentración (mg/Kg) de metales traza en Sedimento durante la estación de Primavera 2006, segundo muestreo.

METALES								
Punto de Muestreo	Cd (mg/kg) $\times 10^2$	Pb (mg/kg)	Fe (mg/kg) $\times 10^{-3}$	Mn (mg/kg) $\times 10^{-2}$	As (mg/kg)	Hg (mg/kg) $\times 10^2$	Cu (mg/kg)	Al (mg/kg) $\times 10^{-3}$
El Belloto	18.5	8.19	46.2	40.3	2.60	5.6	25.1	53.3
Pte.Nanihue	12.4	7.98	33.4	10.2	2.76	2.4	28.4	38.1
Nanihue 1	12.8	4.30	33.7	6.41	2.83	6.1	27.2	39.0
Nanihue 2	10.6	4.61	37.4	8.79	3.62	0.7	21.1	41.0
Nanihue 3	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
Nanihue 4	9.50	5.25	36.4	9.40	3.43	5.5	24.2	32.6
Nanihue 5	11.4	5.48	49.0	18.9	2.36	2.7	37.6	42.8
Nanihue 6	10.9	5.59	33.0	3.59	2.71	0.9	33.9	47.4
Pte.Cudico	17.5	8.36	40.3	35.3	4.34	4.4	30.0	43.2
Cudico 1	13.6	4.87	40.1	16.0	4.36	1.8	26.1	38.0
Cudico 2	11.8	7.52	46.3	18.3	4.02	6.0	32.5	44.7
Cudico 3	13.2	5.43	40.4	12.2	4.73	3.7	27.1	43.8
Nan. y Cud. 1	8.88	7.02	51.0	20.5	2.74	0.5	40.2	46.7
Nan. y Cud. 2	10.4	5.77	41.7	14.6	6.10	9.0	36.9	37.0
Fuerte San Luis	9.08	6.14	35.8	7.82	4.08	3.3	35.4	44.3
Salida Bañados	11.5	6.70	41.5	10.3	7.17	2.7	39.8	53.8
San. Martín	11.1	7.58	35.9	9.59	3.72	6.5	36.7	39.9
Sta. María	15.5	8.34	39.0	12.7	5.25	6.0	36.9	42.0
Bajo Isla Rialejo	7.34	6.90	32.1	8.98	3.85	5.4	33.4	39.9

(N.E) Muestras que no existen: No se tomaron las muestras o se perdieron en el incendio.

Tabla N° 3: Concentración (mg/Kg) de metales traza en Sedimento durante la estación Otoño 2007, tercer muestreo.

METALES								
Punto de Muestreo	Cd (mg/kg) $\times 10^2$	Pb (mg/kg)	Fe (mg/kg) $\times 10^{-3}$	Mn (mg/kg) $\times 10^{-2}$	As (mg/kg)	Hg (mg/kg) $\times 10^2$	Cu (mg/kg)	Al (mg/kg) $\times 10^{-3}$
El Belloto	3.88	7.22	N.E	13.7	3.05	5.8	N.E	35.7
Pte.Nanihue	6.05	6.57	N.E	16.8	4.09	4.9	N.E	39.3
Nanihue 1	7.86	2.94	N.E	7.63	2.33	9.5	N.E	21.6
Nanihue 2	12.2	5.56	N.E	8.32	2.97	6.3	N.E	44.9
Nanihue 3	6.76	3.65	N.E	11.7	3.30	6.0	N.E	25.6
Nanihue 4	6.37	4.99	N.E	9.65	2.49	6.7	N.E	31.4
Nanihue 5	8.39	4.03	N.E	7.36	3.34	8.8	N.E	28.0
Nanihue 6	8.44	5.89	N.E	15.4	3.84	2.7	N.E	37.1
Pte.Cudico	8.77	7.22	N.E	54.0	5.09	8.6	N.E	33.0
Cudico 1	7.57	4.34	N.E	14.2	4.66	6.9	N.E	28.0
Cudico 2	4.14	4.30	N.E	12.7	6.68	3.2	N.E	28.0
Cudico 3	5.17	6.23	N.E	15.0	5.83	8.0	N.E	35.0
Nan. y Cud. 1	8.18	6.00	N.E	10.6	4.87	6.6	N.E	37.0
Nan. y Cud. 2	4.64	6.63	N.E	12.1	5.47	8.6	N.E	39.1
Fuerte San Luis	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
Salida Bañados	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
San. Martín	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
Sta. María	4.02	6.54	N.E	10.7	4.98	8.2	N.E	35.6
Bajo Isla Rialejo	N.E	5.15	N.E	12.2	3.04	4.5	N.E	26.0

(N.E) Muestras que no existen: No se tomaron las muestras o se perdieron en el incendio.

Tabla N° 4: Concentración (mg/L) de metales trazas en Aguas Filtradas durante la estación de Otoño 2006, primer muestreo.

METALES							
Punto de Muestreo	Cd (mg/L)	Fe (mg/L) x10³	Mn (mg/L) x10⁴	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Cu (mg/L) x10³	Al (mg/L)
El Belloto	*	47.2	13.5	*	*	7.60	N.E
Pte.Nanihue	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
Nanihue 1	*	81.4	83.5	*	*	13.1	N.E
Nanihue 2	*	30.2	9.51	*	*	6.25	N.E
Nanihue 3	*	23.9	19.3	*	*	6.21	N.E
Nanihue 4	*	18.3	69.0	*	*	8.20	N.E
Nanihue 5	*	59.7	6.10	*	*	10.5	N.E
Nanihue 6	*	73.1	34.5	*	*	6.30	N.E
Pte.Cudico	*	9.15	82.5	*	*	6.90	N.E
Cudico 1	*	*	8.50	*	*	7.80	N.E
Cudico 2	*	22.0	9.50	*	*	8.25	N.E
Cudico 3	*	*	6.10	*	*	12.7	N.E
Nan. y Cud. 1	*	*	24.5	*	*	8.40	N.E
Nan. y Cud. 2	*	*	33.6	*	*	12.1	N.E
Fuerte San Luis	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
Salida Bañados	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
San. Martín	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
Sta. María	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
Bajo Isla Rialejo	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E

(*) Valores bajo el límite de cuantificación del equipo, menor que 0.001 mg/L.

(N.E) Muestras que no existen: No se tomaron las muestras o se perdieron en el incendio.

Tabla N° 5: Concentración (mg/L) de metales traza en Aguas Filtradas durante la estación de Primavera 2006, segundo muestreo.

METALES							
Punto de Muestreo	Cd (mg/L)	Fe (mg/L) x10 ²	Mn (mg/L) x10 ³	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Cu (mg/L) x10 ³	Al (mg/L)
El Belloto	*	54.1	22.0	*	*	19.5	N.E
Pte.Nanihue	*	98.4	6.60	*	*	20.7	N.E
Nanihue 1	*	79.6	13.0	*	*	41.8	N.E
Nanihue 2	*	42.7	12.0	*	*	39.8	N.E
Nanihue 3	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
Nanihue 4	*	18.3	7.70	*	*	30.1	N.E
Nanihue 5	*	*	8.80	*	*	46.5	N.E
Nanihue 6	*	1.8	66.0	*	*	2.80	N.E
Pte.Cudico	*	46.7	13.0	*	*	16.6	N.E
Cudico 1	*	42.1	18.0	*	*	28.2	N.E
Cudico 2	*	14.3	17.0	*	*	43.7	N.E
Cudico 3	*	*	8.90	*	*	43.7	N.E
Nan. y Cud. 1	*	2.03	50.0	*	*	21.7	N.E
Nan. y Cud. 2	*	*	43.0	*	*	39.1	N.E
Fuerte San Luis	*	*	1.70	*	*	N.E	N.E
Salida Bañados	*	*	2.30	*	*	N.E	N.E
San. Martín	*	3.1	1.30	*	*	50.5	N.E
Sta. María	*	1.49	1.30	*	*	17.8	N.E
Bajo Isla Rialejo	*	*	29.0	*	*	31.9	N.E

(*) Valores bajo el límite de cuantificación del equipo, menor que 0.001 mg/L.

(N.E) Muestras que no existen: No se tomaron las muestras o se perdieron en el incendio.

Tabla N° 6: Concentración (mg/L) de metales traza en Aguas Filtradas durante la estación de Otoño 2007, tercer muestreo.

METALES							
Punto de Muestreo	Cd (mg/L)	Fe (mg/L) x10 ³	Mn (mg/L) x10 ³	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Cu (mg/L) x10 ³	Al (mg/L)
El Belloto	*	13.4	28.0	*	*	7.65	N.E
Pte.Nanihue	*	36.8	27.0	*	*	12.1	N.E
Nanihue 1	*	28.6	1.00	*	*	16.5	N.E
Nanihue 2	*	24.4	2.60	*	*	11.7	N.E
Nanihue 3	*	9.35	3.60	*	*	15.2	N.E
Nanihue 4	*	35.4	2.50	*	*	11.4	N.E
Nanihue 5	*	*	1.50	*	*	11.8	N.E
Nanihue 6	*	*	2.40	*	*	10.8	N.E
Pte.Cudico	*	43.6	56.0	*	*	8.05	N.E
Cudico 1	*	*	1.90	*	*	10.4	N.E
Cudico 2	*	14.6	3.30	*	*	9.35	N.E
Cudico 3	*	*	1.40	*	*	13.7	N.E
Nan. y Cud. 1	*	*	*	*	*	7.10	N.E
Nan. y Cud. 2	*	42.2	5.60	*	*	8.15	N.E
Fuerte San Luis	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
Salida Bañados	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
San. Martín	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
Sta. María	*	*	*	*	*	6.55	N.E
Bajo Isla Rialejo	*	*	1.10	*	*	10.9	N.E

(*) Valores bajo el límite de cuantificación del equipo, menor que 0.001 mg/L.

(N.E) Muestras que no existen: No se tomaron las muestras o se perdieron en el incendio.

Tabla N° 7: Concentración (mg/L) de metales traza en Aguas No Filtradas durante la estación de Otoño 2006, primer muestreo.

METALES							
Punto de Muestreo	Cd (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L) x10 ³	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Cu (mg/L) x10 ³	Al (mg/L)
El Belloto	*	N.E	5.90	*	*	2.20	N.E
Pte.Nanihue	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
Nanihue 1	*	N.E	16.9	*	*	3.50	N.E
Nanihue 2	*	N.E	17.2	*	*	3.90	N.E
Nanihue 3	*	N.E	14.9	*	*	2.90	N.E
Nanihue 4	*	N.E	16.8	*	*	2.60	N.E
Nanihue 5	*	N.E	27.0	*	*	2.60	N.E
Nanihue 6	*	N.E	25.8	*	*	2.15	N.E
Pte.Cudico	*	N.E	18.9	*	*	2.10	N.E
Cudico 1	*	N.E	23.7	*	*	3.85	N.E
Cudico 2	*	N.E	25.3	*	*	2.85	N.E
Cudico 3	*	N.E	20.5	*	*	1.35	N.E
Nan. y Cud. 1	*	N.E	17.4	*	*	2.35	N.E
Nan. y Cud. 2	*	N.E	11.4	*	*	3.10	N.E
Fuerte San Luis	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
Salida Bañados	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
San. Martín	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
Sta. María	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
Bajo Isla Rialejo	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E

(*) Valores bajo el límite de cuantificación del equipo, menor que 0.001 mg/L.

(N.E) Muestras que no existen: No se tomaron las muestras o se perdieron en el incendio.

Tabla N° 8: Concentración (mg/L) de metales traza en Aguas No Filtradas durante la estación de Primavera 2006, segundo muestreo.

METALES							
Punto de Muestreo	Cd (mg/L)	Fe (mg/L) $\times 10^1$	Mn (mg/L) $\times 10^3$	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Cu (mg/L) $\times 10^3$	Al (mg/L)
El Belloto	*	15.8	28.9	*	*	10.3	N.E
Pte.Nanihue	*	11.3	4.73	*	*	8.55	N.E
Nanihue 1	*	14.1	3.58	*	*	3.50	N.E
Nanihue 2	*	19.0	4.94	*	*	8.75	N.E
Nanihue 3	*	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
Nanihue 4	*	1.18	3.51	*	*	9.15	N.E
Nanihue 5	*	10.7	4.64	*	*	6.90	N.E
Nanihue 6	*	6.29	58.2	*	*	5.45	N.E
Pte.Cudico	*	10.9	15.0	*	*	8.40	N.E
Cudico 1	*	12.4	8.00	*	*	5.60	N.E
Cudico 2	*	20.1	7.93	*	*	7.10	N.E
Cudico 3	*	6.09	5.00	*	*	21.1	N.E
Nan. y Cud. 1	*	4.30	44.7	*	*	32.4	N.E
Nan. y Cud. 2	*	3.29	42.3	*	*	15.0	N.E
Fuerte San Luis	*	*	3.60	*	*	4.50	N.E
Salida Bañados	*	1.30	4.20	*	*	12.3	N.E
San. Martín	*	0.70	1.08	*	*	7.10	N.E
Sta. María	*	0.54	14.5	*	*	4.20	N.E
Bajo Isla Rialejo	*	4.23	1.26	*	*	5.90	N.E

(*) Valores bajo el límite de cuantificación del equipo, menor que 0.001 mg/L.

(N.E) Muestras que no existen: No se tomaron las muestras o se perdieron en el incendio.

Tabla N° 9: Concentración (mg/L) de metales traza en Aguas No Filtradas durante la estación de Otoño 2007, tercer muestreo.

METALES							
Punto de Muestreo	Cd (mg/L) $\times 10^4$	Fe (mg/L) $\times 10^3$	Mn (mg/L) $\times 10^3$	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Cu (mg/L) $\times 10^3$	Al (mg/L)
El Belloto	*	22.1	43.0	*	*	3.55	N.E
Pte.Nanihue	1.00	22.9	80.1	*	*	9.10	N.E
Nanihue 1	7.50	19.0	53.9	*	*	6.45	N.E
Nanihue 2	90.0	32.8	56.8	*	*	7.30	N.E
Nanihue 3	53.5	13.2	59.9	*	*	6.77	N.E
Nanihue 4	3.50	16.8	59.3	*	*	6.20	N.E
Nanihue 5	31.5	3.50	46.3	*	*	3.56	N.E
Nanihue 6	2.00	3.00	44.4	*	*	9.40	N.E
Pte.Cudico	1.00	43.3	52.1	*	*	3.55	N.E
Cudico 1	1.50	26.9	69.9	*	*	6.10	N.E
Cudico 2	2.00	19.2	75.5	*	*	4.40	N.E
Cudico 3	1.50	6.10	42.5	*	*	9.40	N.E
Nan. y Cud. 1	2.00	2.30	24.9	*	*	3.45	N.E
Nan. y Cud. 2	2.00	6.00	28.8	*	*	3.50	N.E
Fuerte San Luis	N.E	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
Salida Bañados	N.E	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
San. Martín	N.E	N.E	N.E	*	*	N.E	N.E
Sta. María	6.00	*	11.8	*	*	3.20	N.E
Bajo Isla Rialejo	1.50	*	14.2	*	*	2.40	N.E

(*) Valores bajo el límite de cuantificación del equipo, menor que 0.001mg/L.

(N.E) Muestras que no existen: No se tomaron las muestras o se perdieron en el incendio.

ANEXO 5

GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Concentración de Cd (mg/kg) en sedimento en las diferentes estaciones.

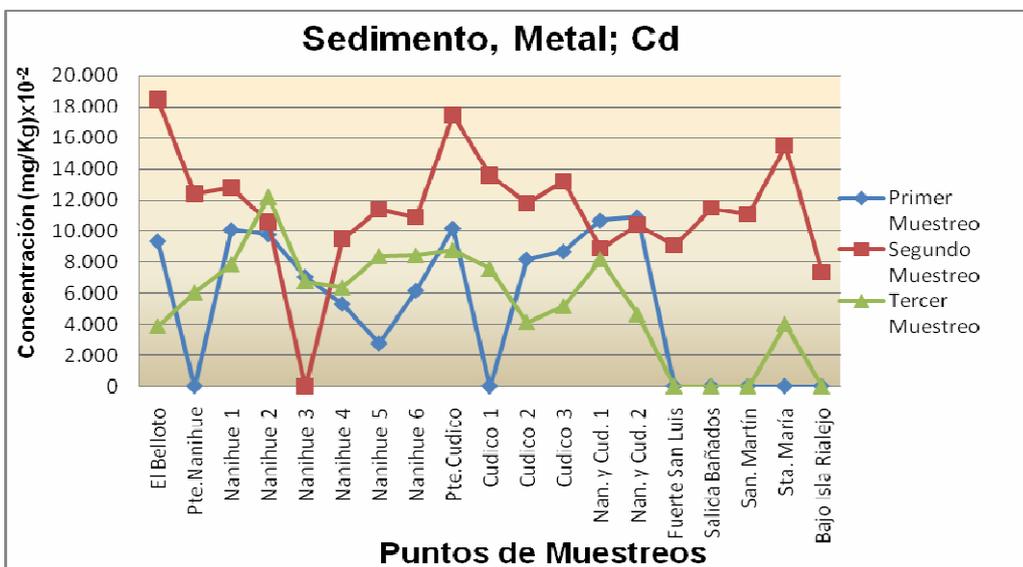


Gráfico N° 2: Concentración de Cd (mg/kg) en sedimento: Río Nanihue en las diferentes estaciones.

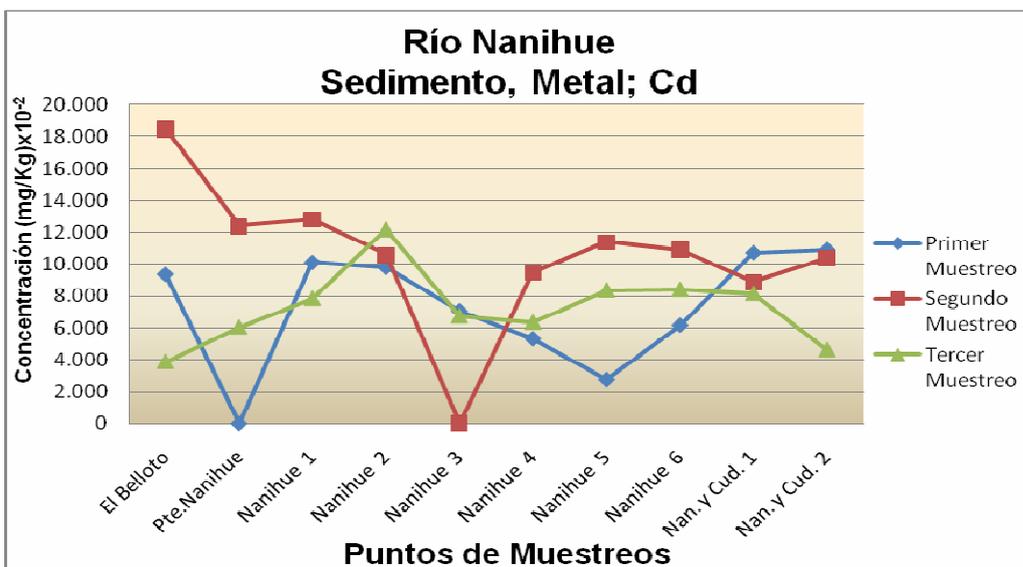


Gráfico N° 3: Concentración de Cd (mg/kg) en sedimento: Río Cudico en las diferentes estaciones.

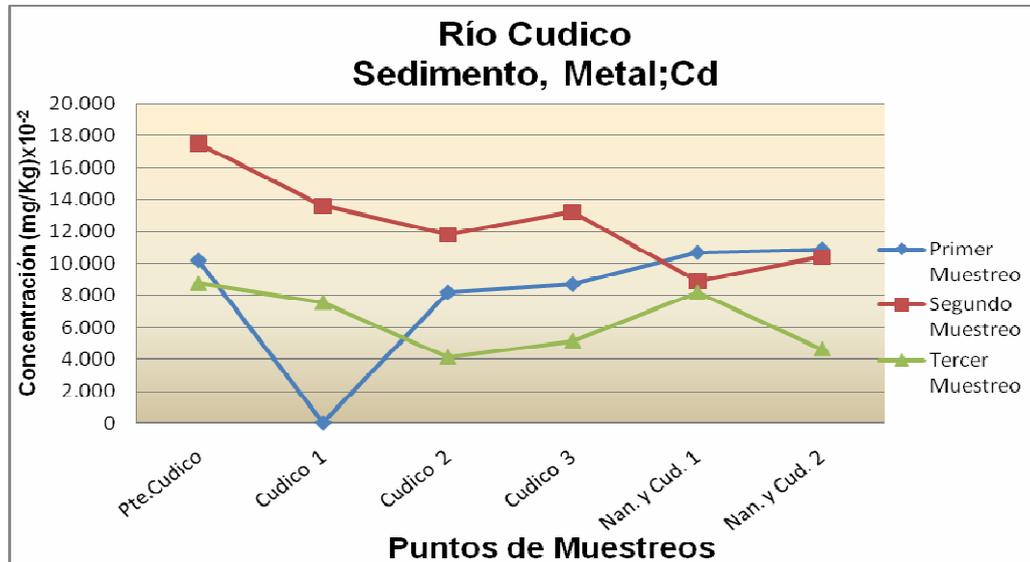


Gráfico N° 4: Concentración de Cd (mg/kg) en sedimento: Río Cruces en las diferentes estaciones.

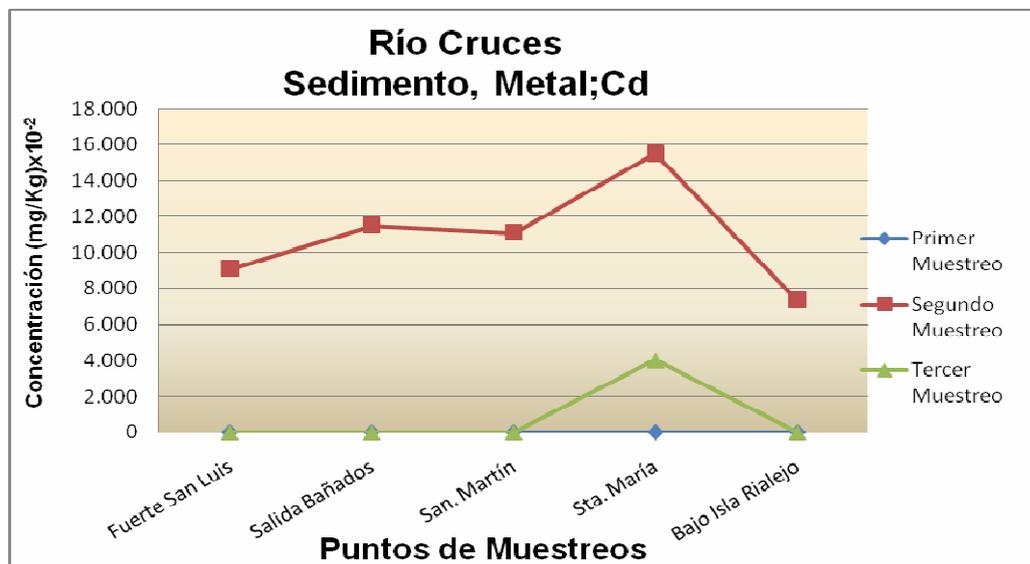


Gráfico N° 5: Concentración de Pb (mg/kg) en sedimento en las diferentes estaciones.

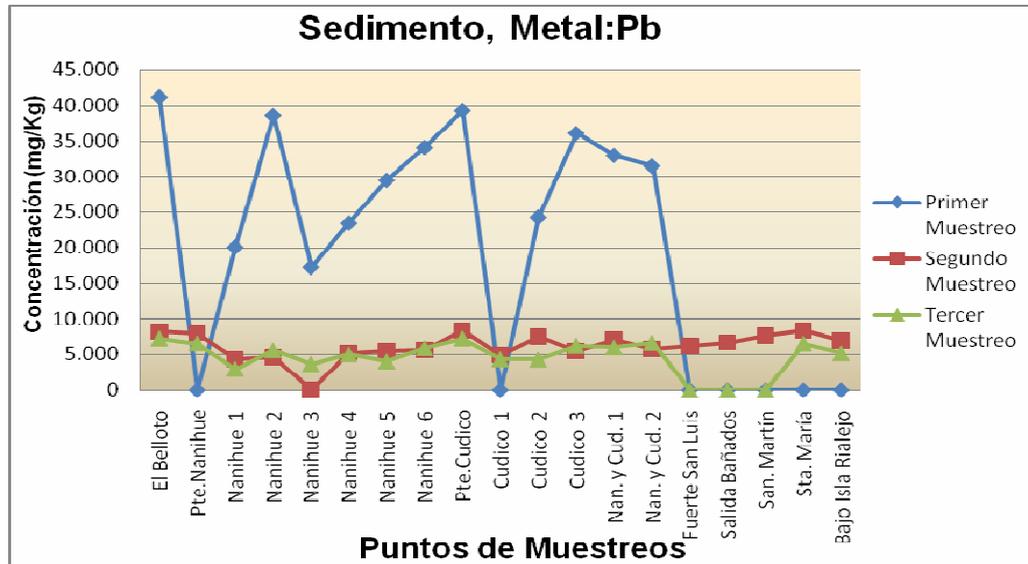


Gráfico N° 6: Concentración de Pb (mg/kg) en sedimento: Río Nanihue en las diferentes estaciones.

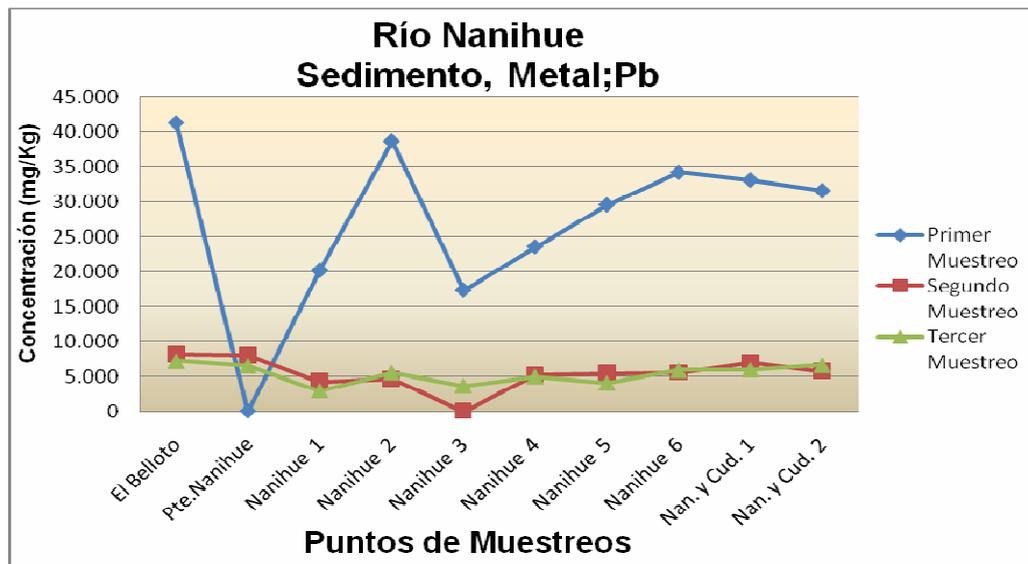


Gráfico N° 7: Concentración de Pb (mg/kg) en sedimento: Río Cudico en las diferentes estaciones.

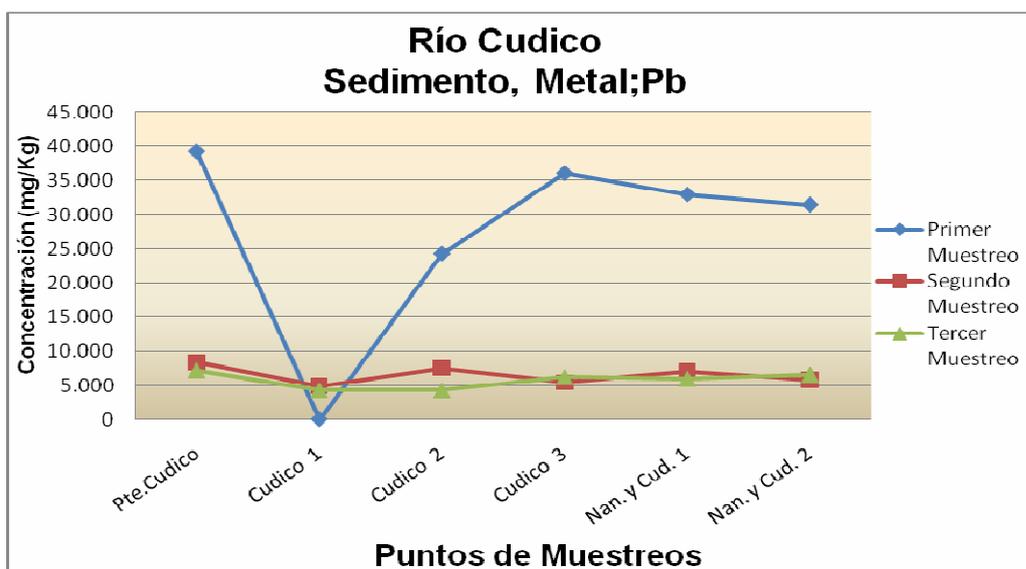


Gráfico N° 8: Concentración de Pb (mg/kg) en sedimento: Río Cruces en las diferentes estaciones.

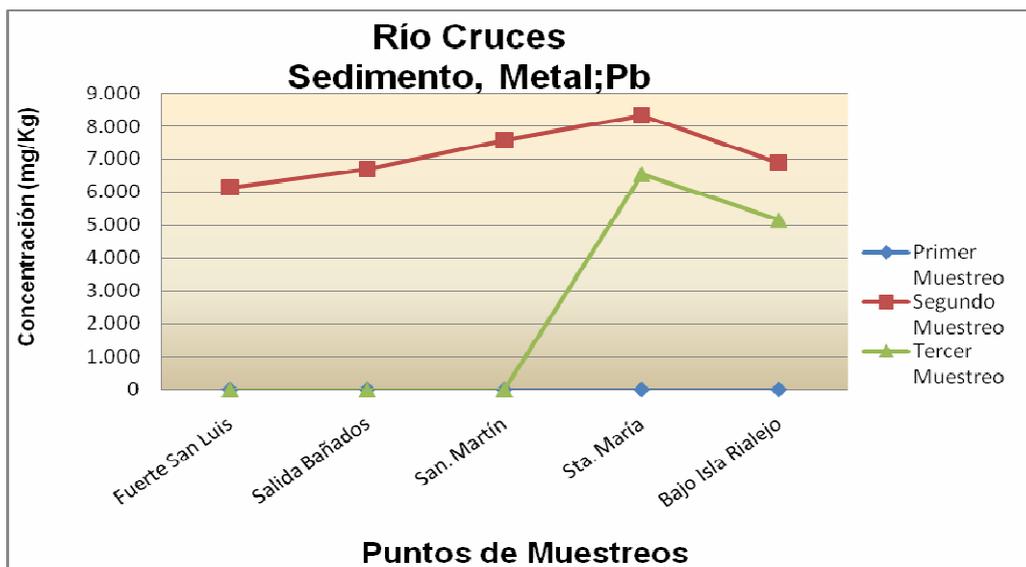


Gráfico N° 9: Concentración de As (mg/kg) en sedimento en las diferentes estaciones.

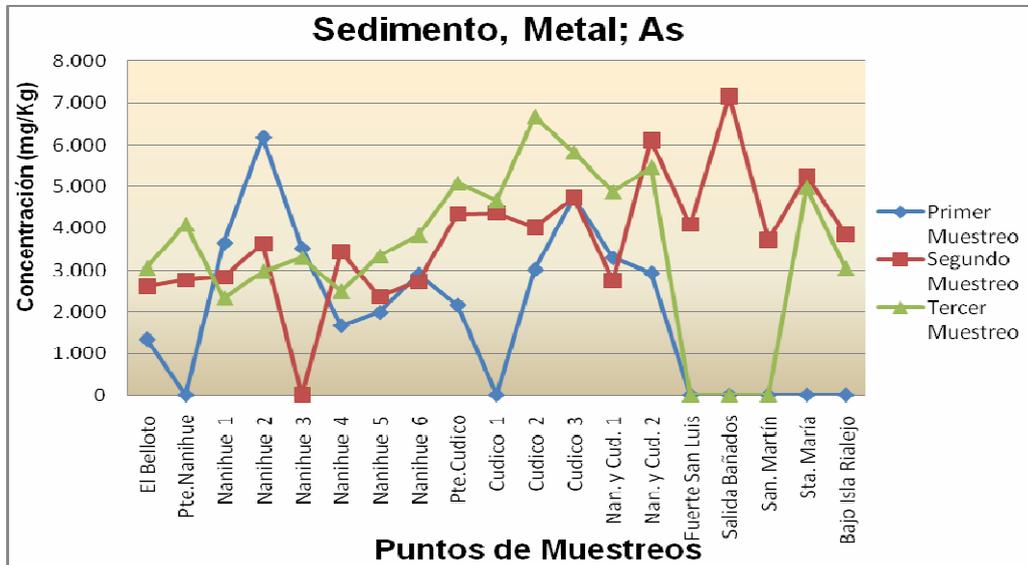


Gráfico N° 10: Concentración de As (mg/kg) en sedimento: Río Nanihue en las diferentes estaciones.

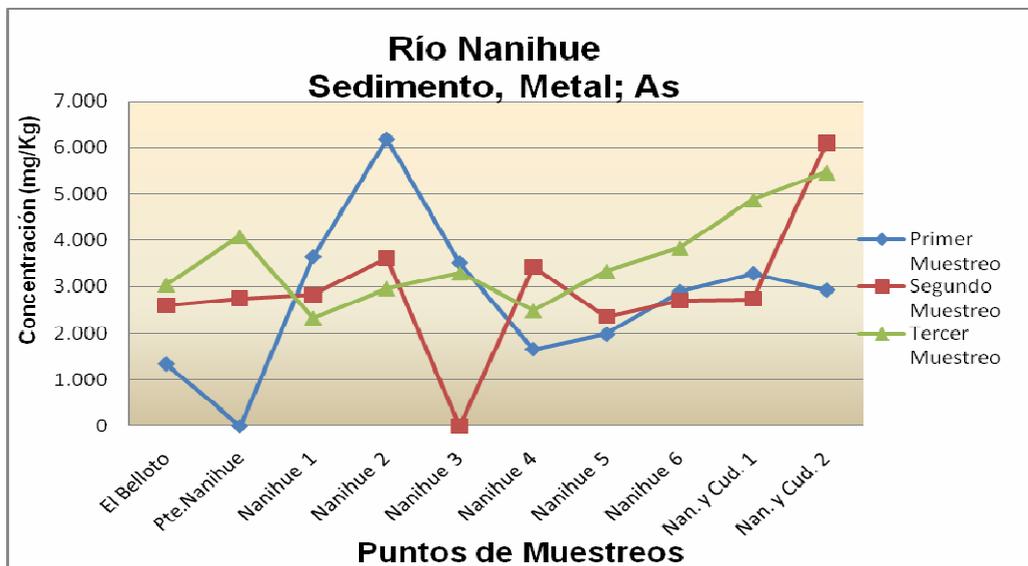


Gráfico N° 11: Concentración de As (mg/kg) en sedimento: Río Cudico en las diferentes estaciones.

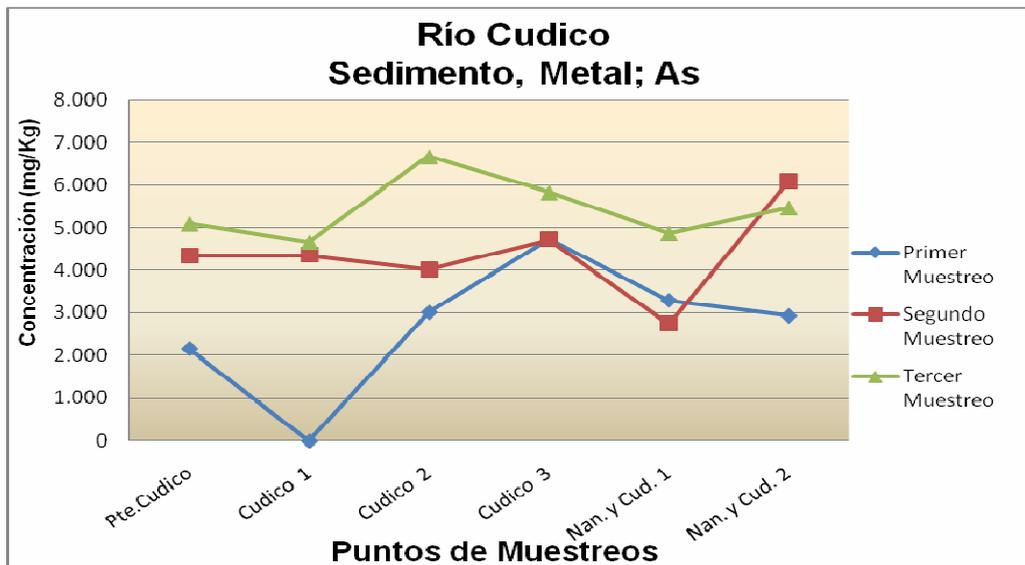


Gráfico N° 12: Concentración de As (mg/kg) en sedimento: Río Cruces en las diferentes estaciones.

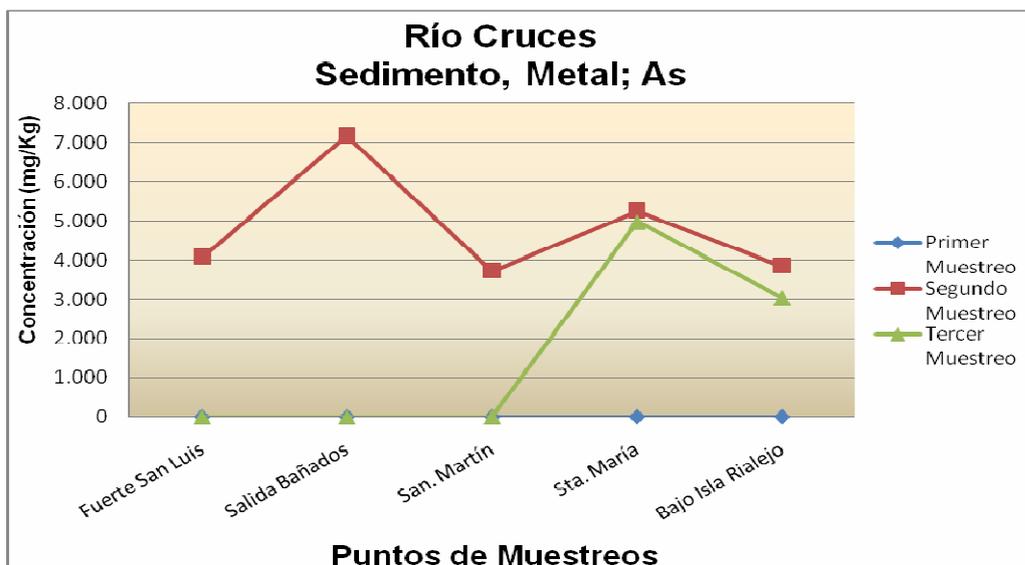


Gráfico N° 13: Concentración de Hg (mg/kg) en sedimento en las diferentes estaciones.

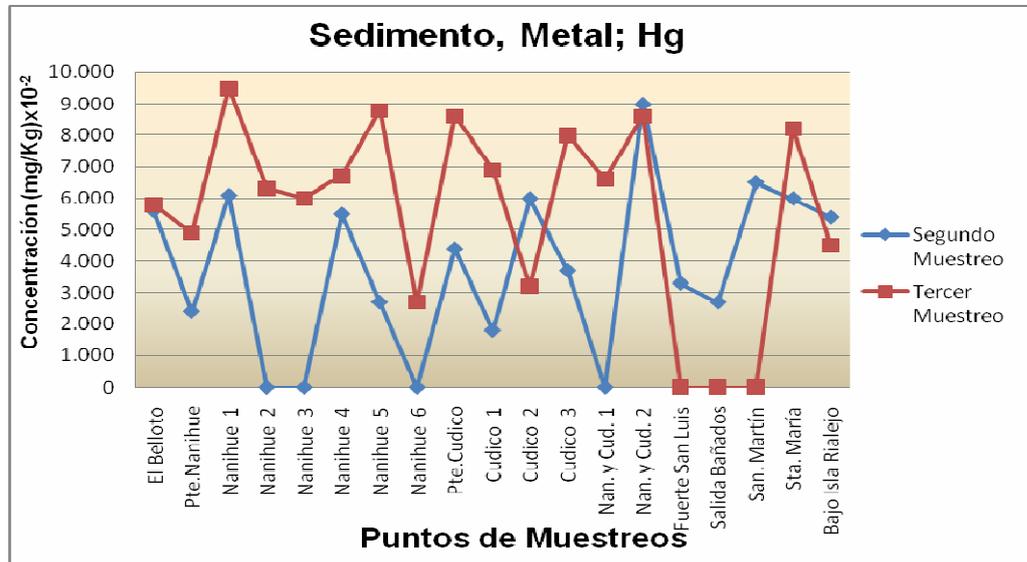


Gráfico N° 14: Concentración de Hg (mg/kg) en sedimento: Río Nanihue en las diferentes estaciones.

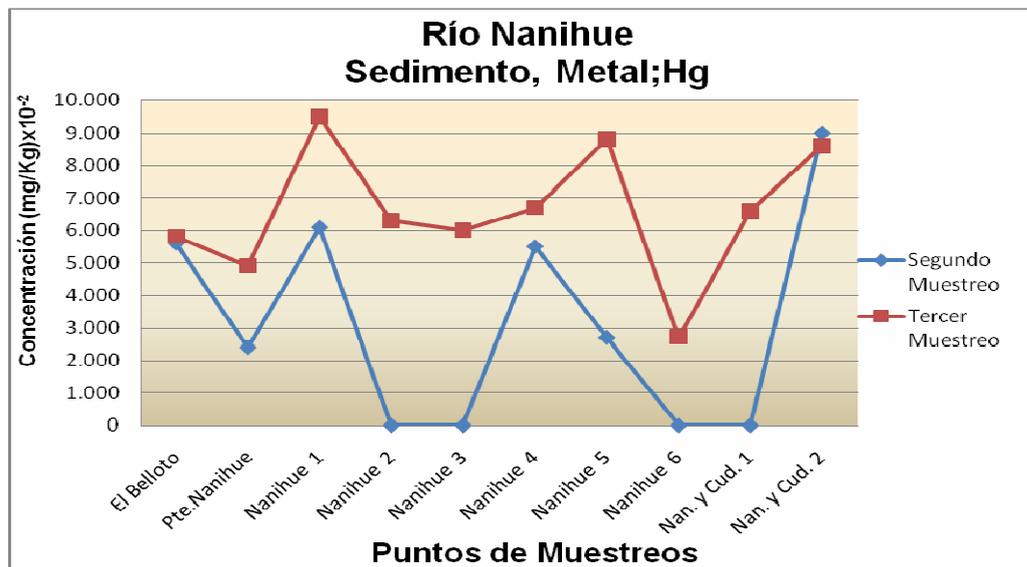


Gráfico N° 15: Concentración de Hg (mg/kg) en sedimento: Río Cudico en las diferentes estaciones.

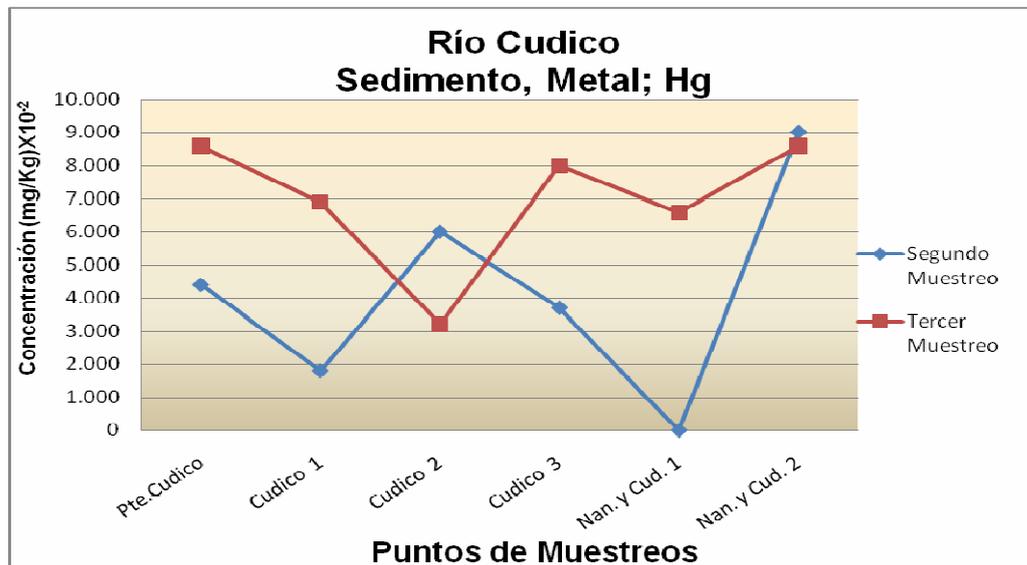


Gráfico N° 16: Concentración de Hg (mg/kg) en sedimento: Río Cruces en las diferentes estaciones.

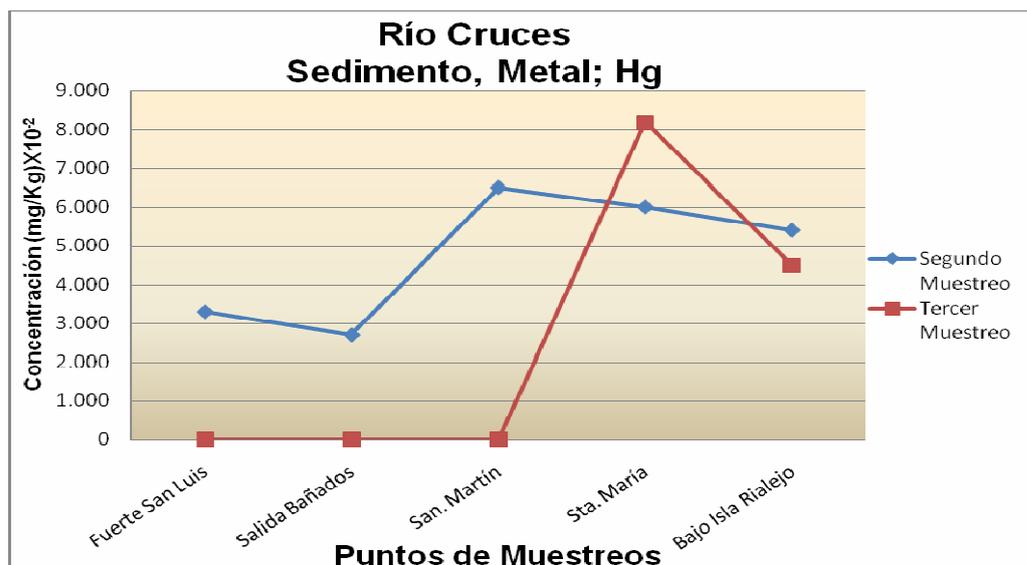


Gráfico N° 17: Concentración de Cu (mg/Kg) en Sedimento: en las diferentes estaciones.

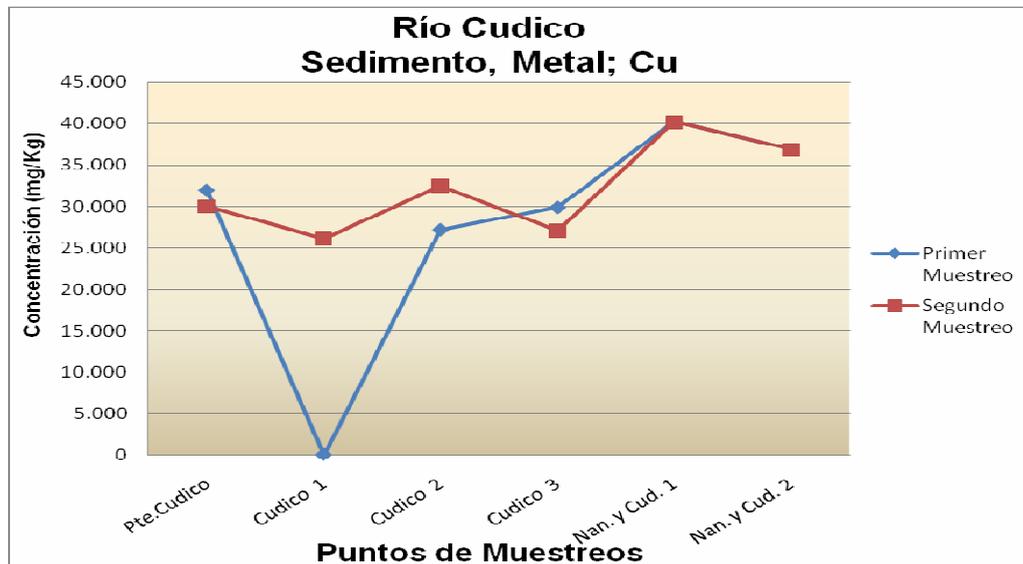


Gráfico N° 18: Concentración de Cu (mg/Kg) en Sedimento: Río Nanihue en las diferentes estaciones.

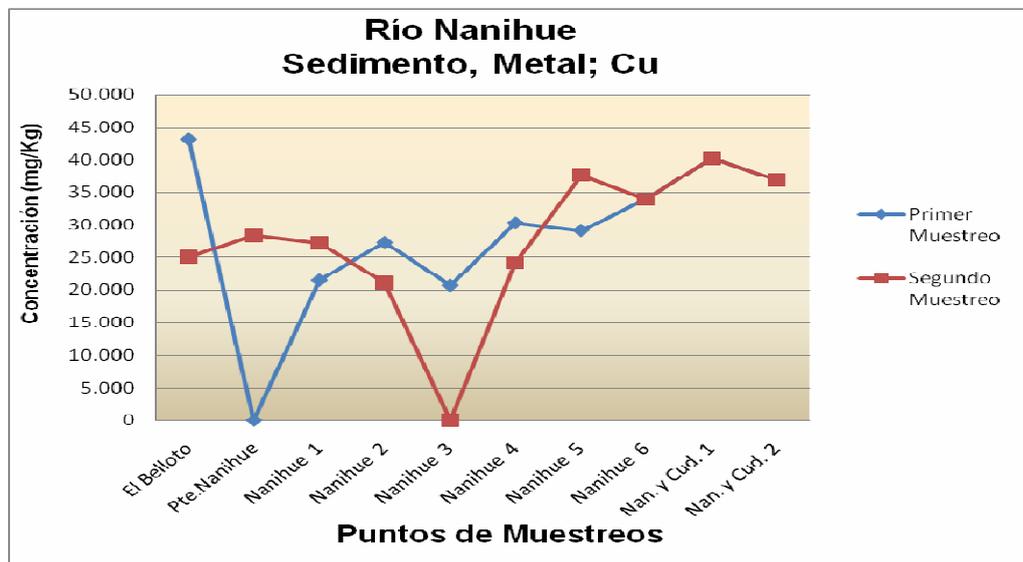


Gráfico N° 19: Concentración de Cu (mg/Kg) en Sedimento: Río Cudico en las diferentes estaciones.

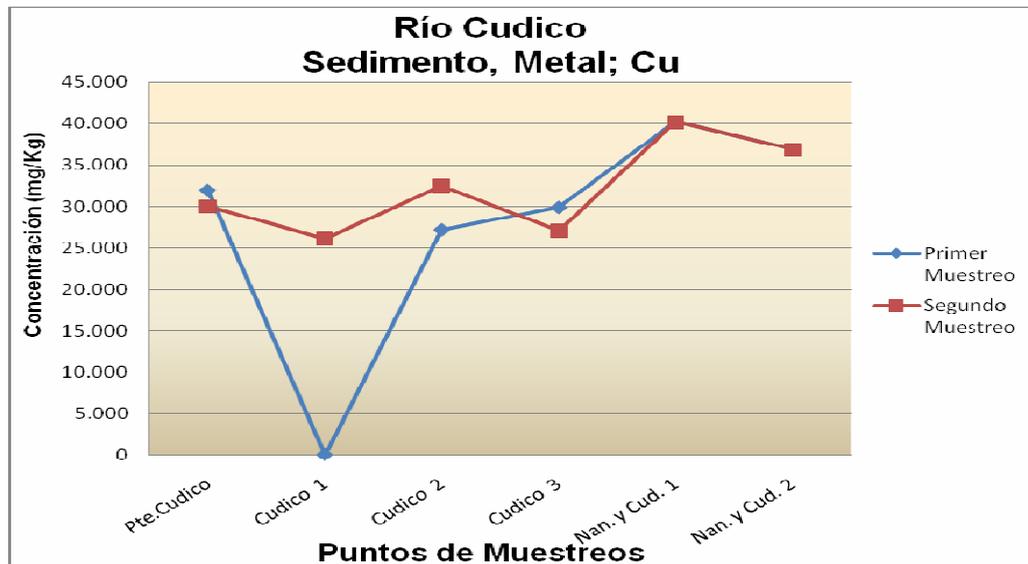


Gráfico N° 20: Concentración de Cu (mg/Kg) en Sedimento: Río Cruces en las diferentes estaciones.

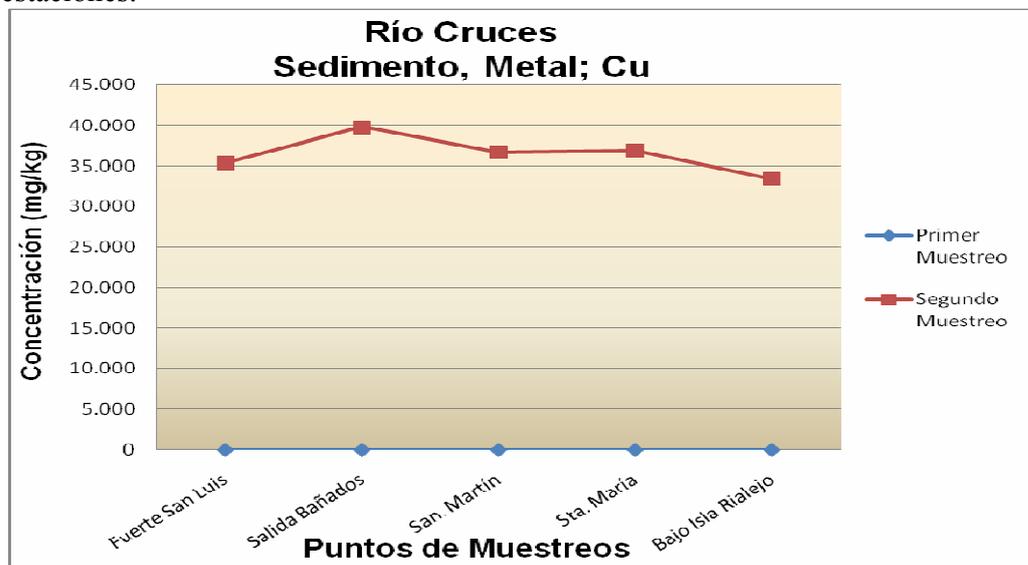


Gráfico N° 21: Concentración de Fe (mg/kg) en sedimento en las diferentes estaciones.

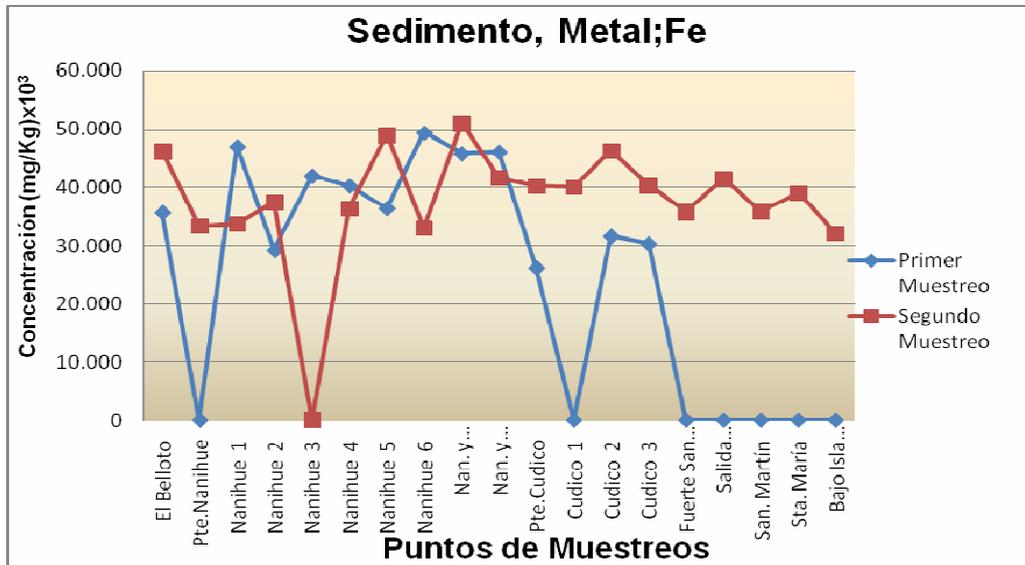


Gráfico N° 22: Concentración de Fe (mg/kg) en sedimento: Río Nanihue en las diferentes estaciones.

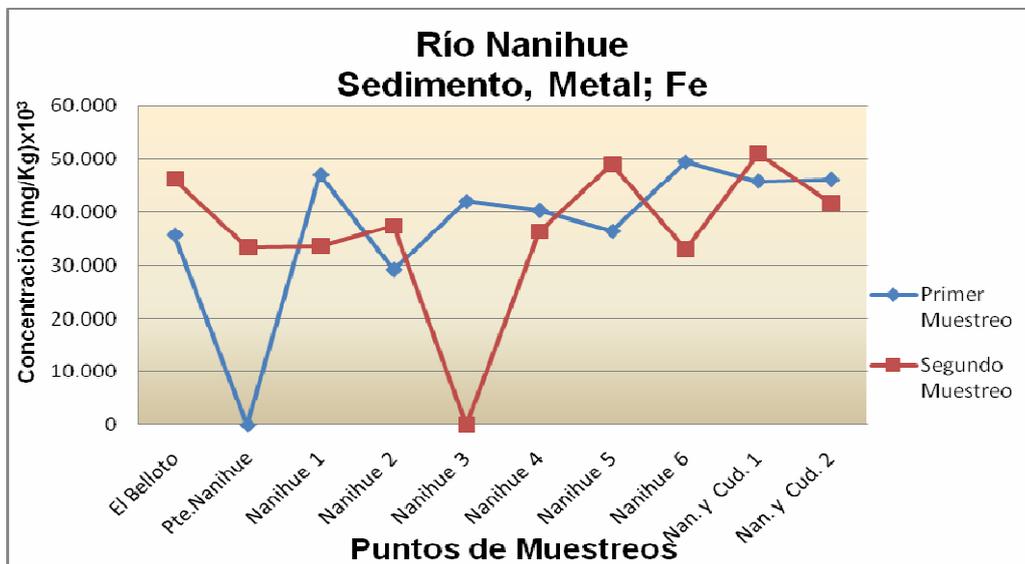


Gráfico N° 23: Concentración de Fe (mg/kg) en sedimento: Río Cudico en las diferentes estaciones.

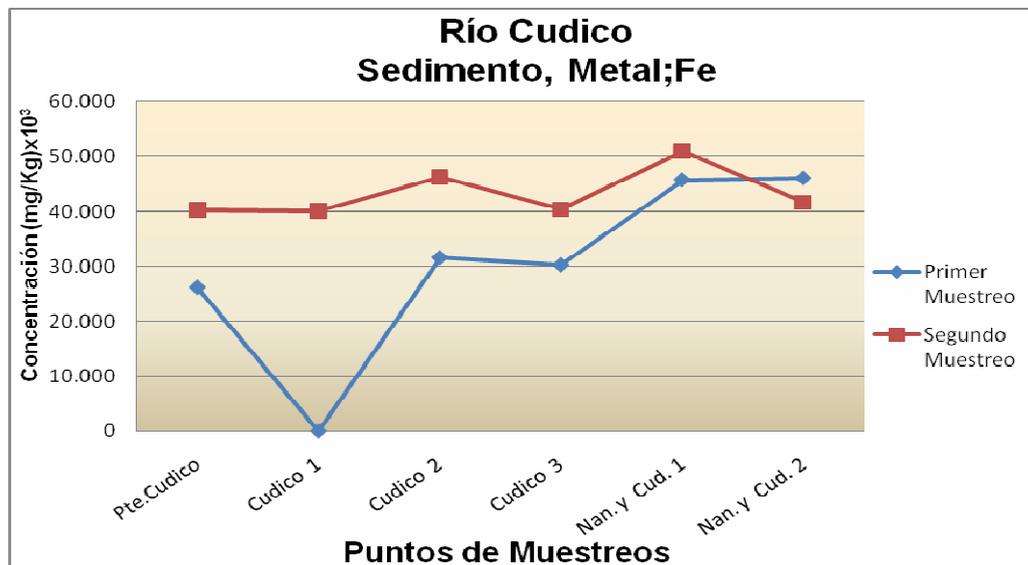


Gráfico N° 24: Concentración de Fe (mg/kg) en sedimento: Río Cruces en las diferentes estaciones.

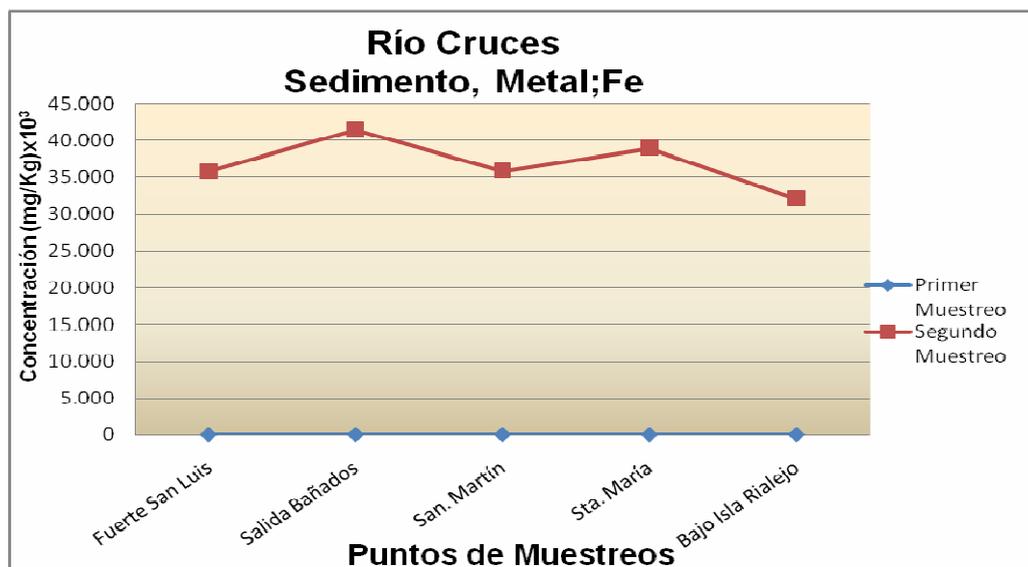


Gráfico N° 25: Concentración de Mn (mg/kg) en sedimento en las diferentes estaciones.

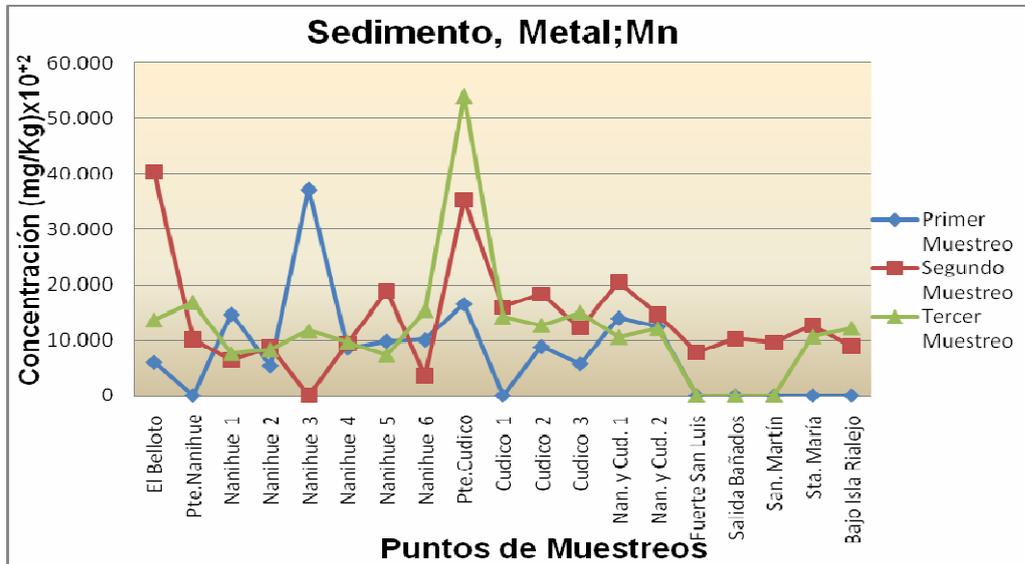


Gráfico N° 26: Concentración de Mn (mg/kg) en sedimento: Río Nanihue en las diferentes estaciones.

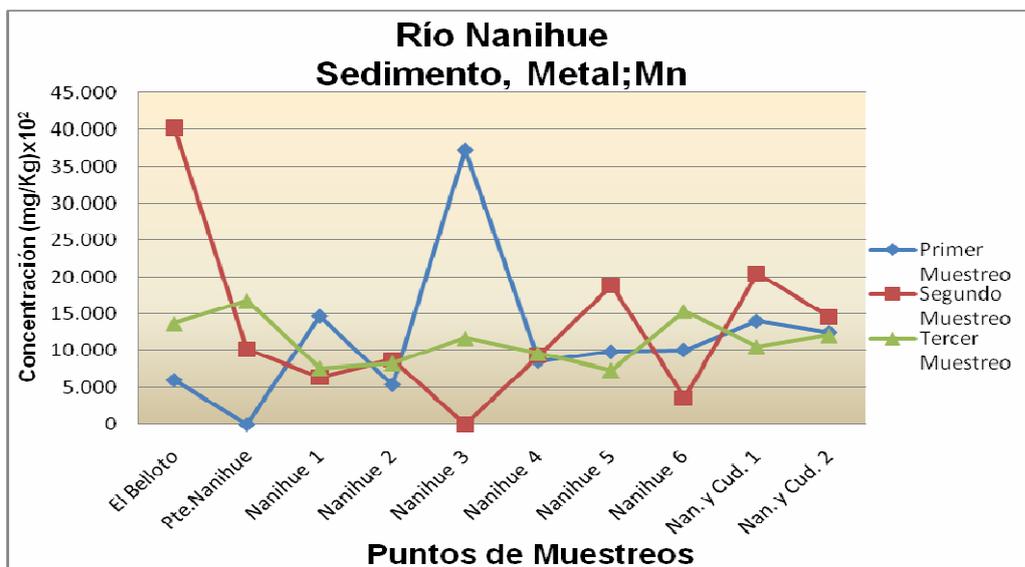


Gráfico N° 27: Concentración de Mn (mg/kg) en sedimento: Río Cudico en las diferentes estaciones.

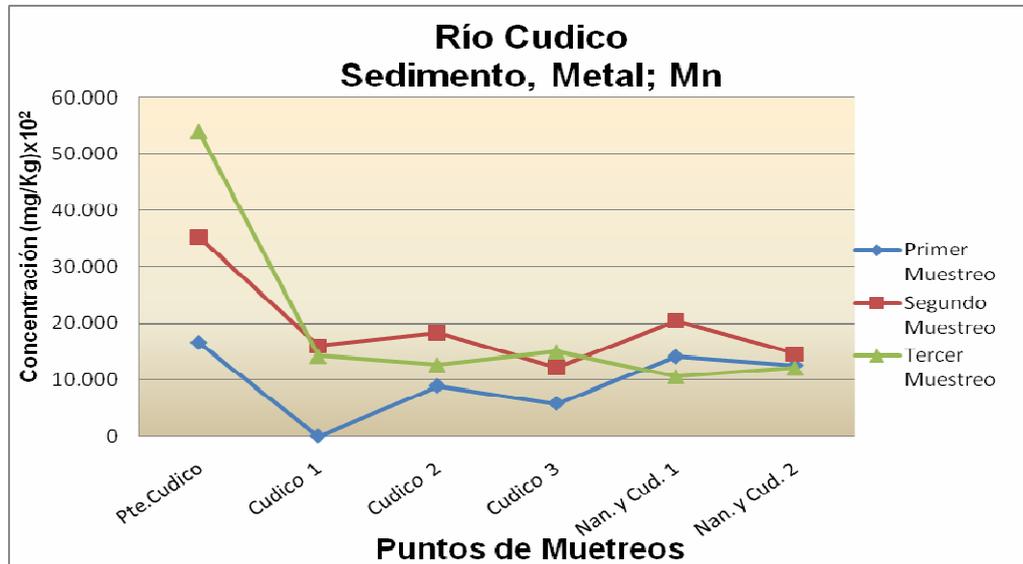


Gráfico N° 28: Concentración de Mn (mg/kg) en sedimento: Río Cudico en las diferentes estaciones.

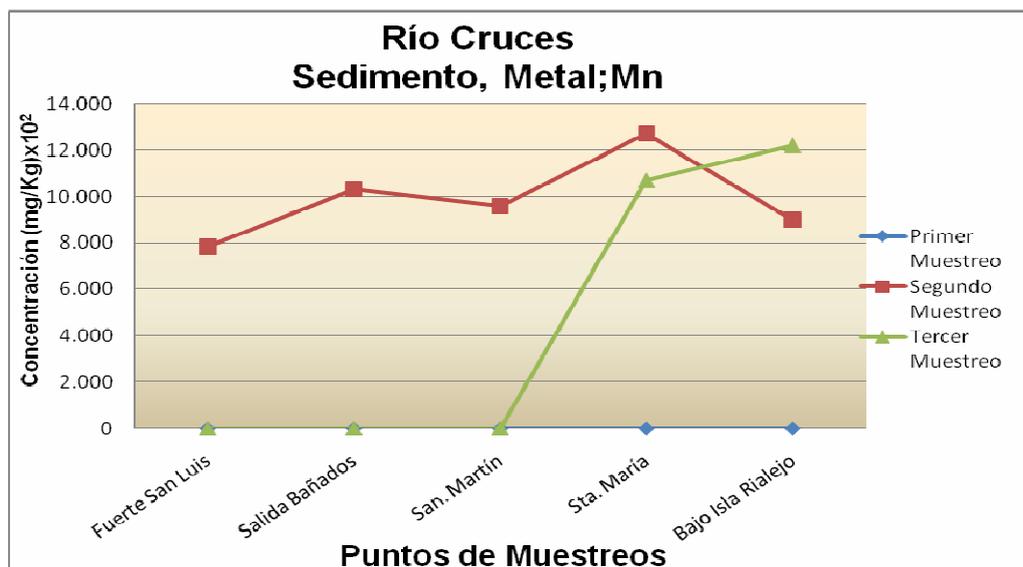


Gráfico N° 29: Concentración de Al (mg/Kg) en Sedimento en las diferentes estaciones.

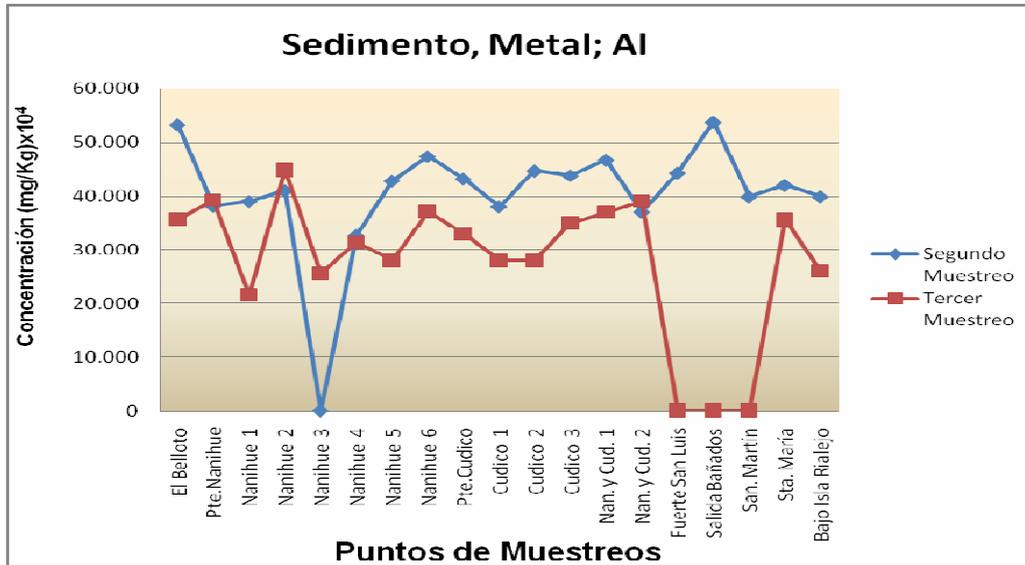


Gráfico N° 30: Concentración de Al (mg/kg) en sedimento: Río Nanihue en las diferentes estaciones.

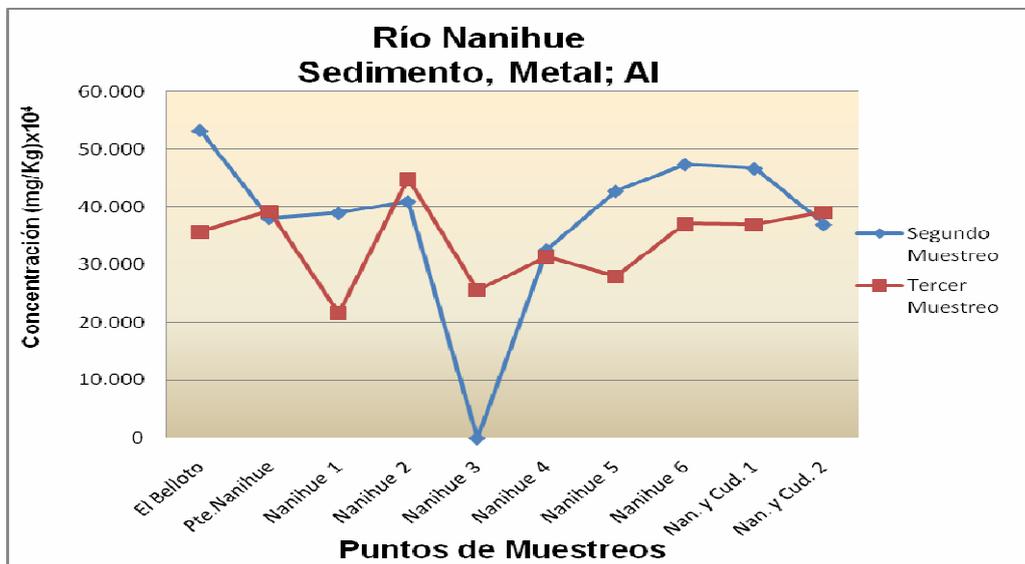


Gráfico N° 31: Concentración de Al (mg/kg) en sedimento: Río Cudico en las diferentes estaciones.

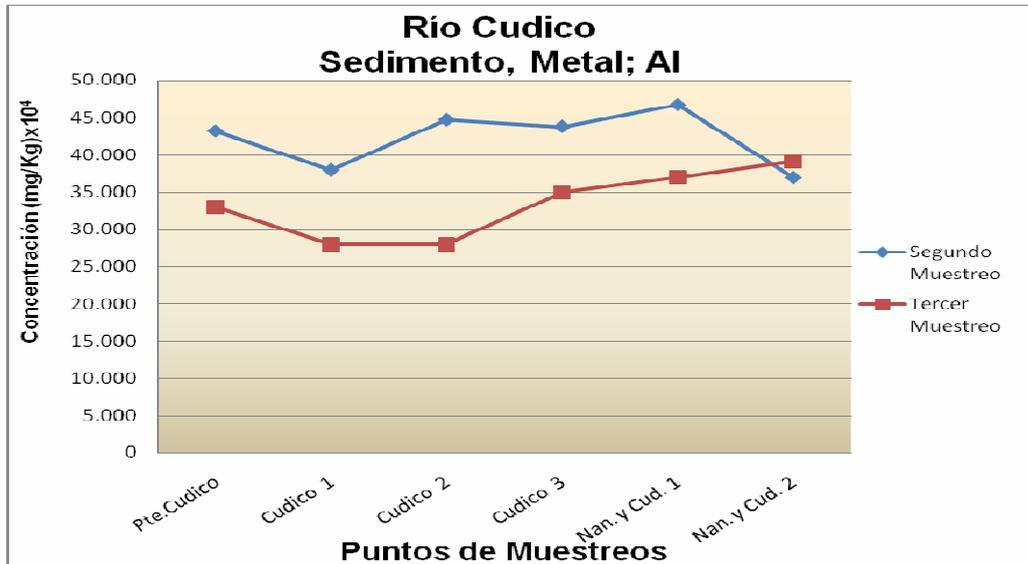


Gráfico N° 32: Concentración de Al (mg/kg) en sedimento: Río Cruces en las diferentes estaciones.

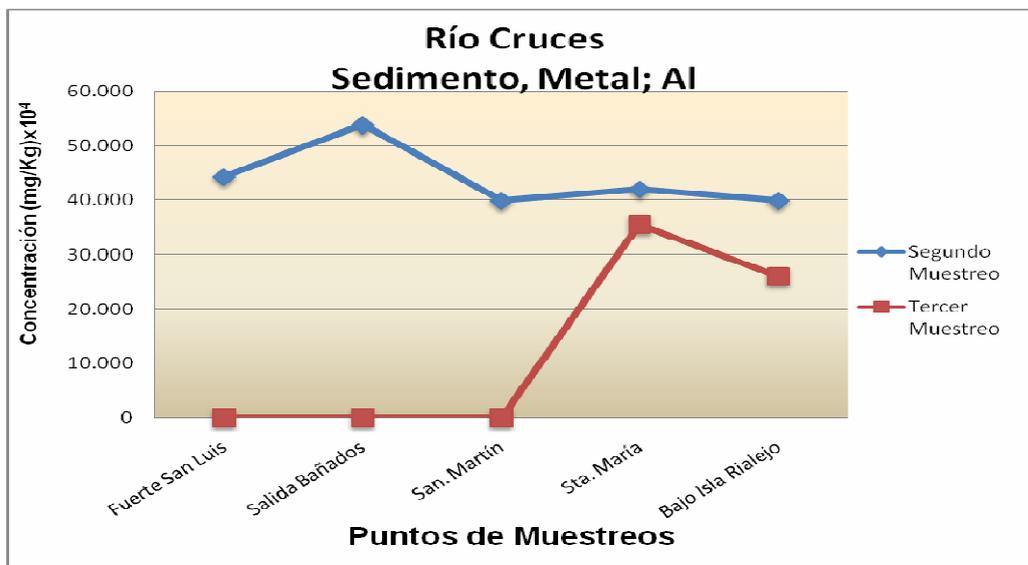


Gráfico N° 33: Concentración de Cu (mg/L) en Aguas Filtradas: en las diferentes estaciones.

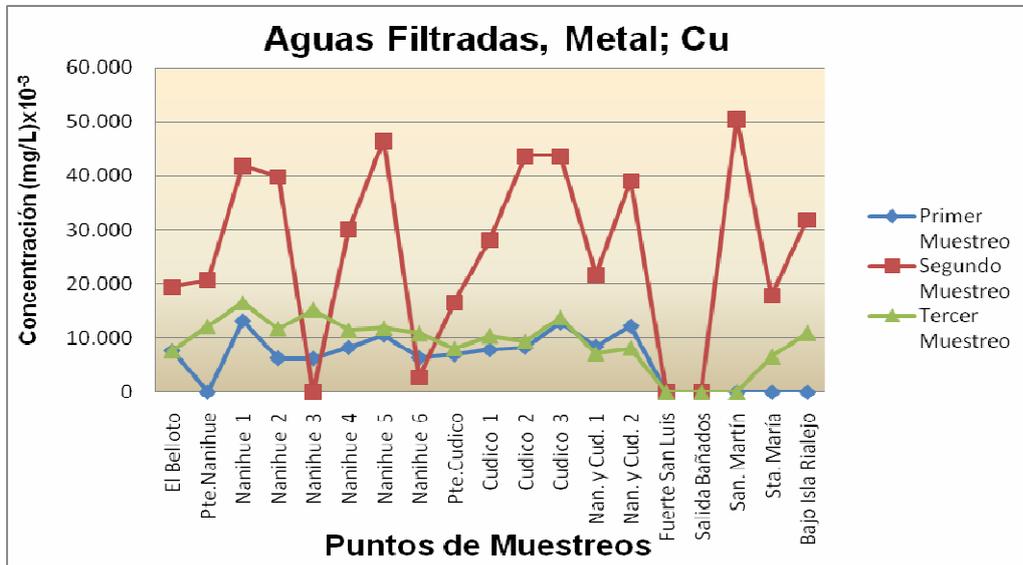


Gráfico N° 34: Concentración de Cu (mg/L) en Aguas Filtradas: Río Nanihue en las diferentes estaciones.

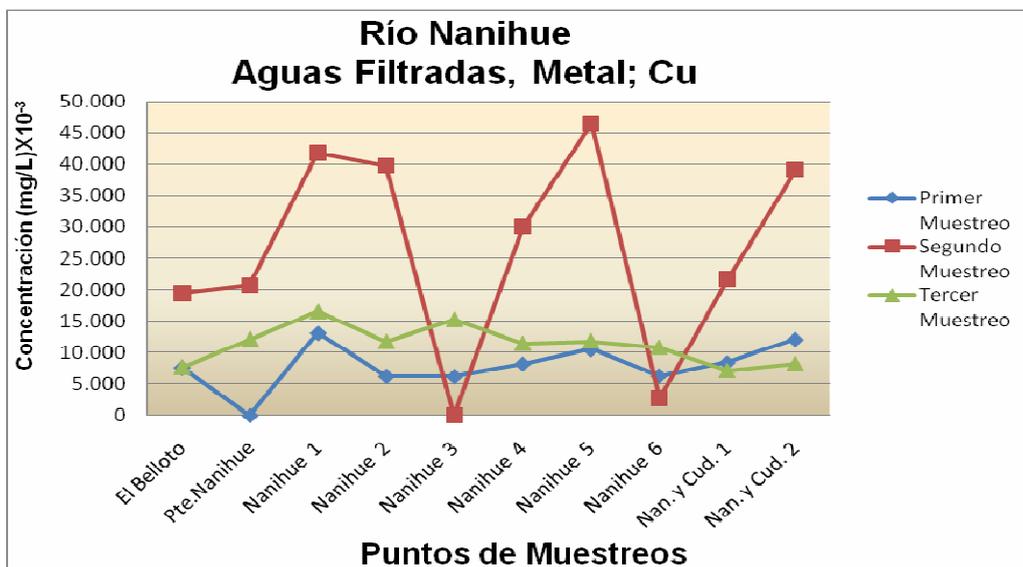


Gráfico N° 35: Concentración de Cu (mg/L) en Aguas Filtradas: Río Cudico en las diferentes estaciones.

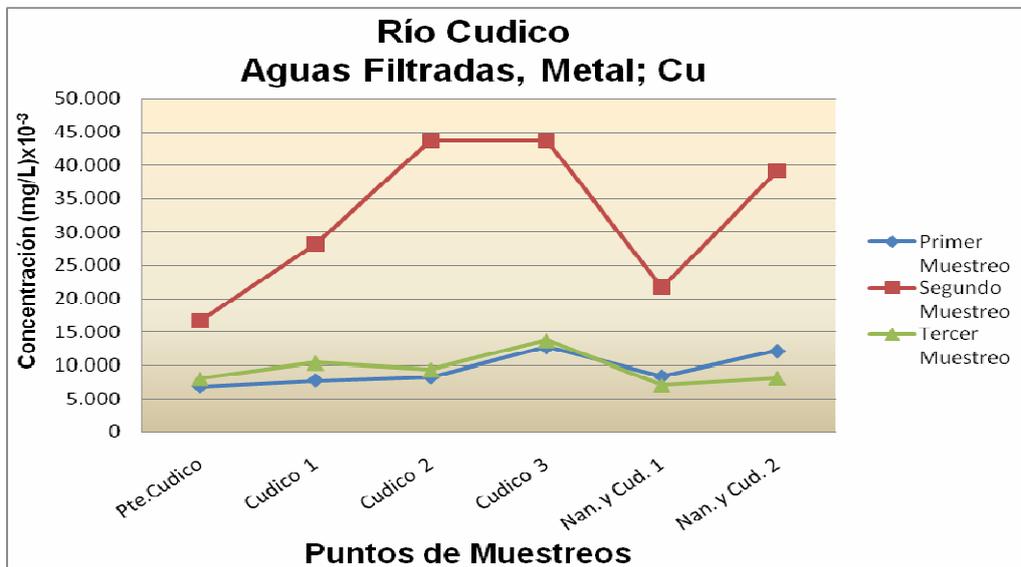


Gráfico N° 36: Concentración de Cu (mg/L) en Aguas Filtradas: Río Cruces en las diferentes estaciones.

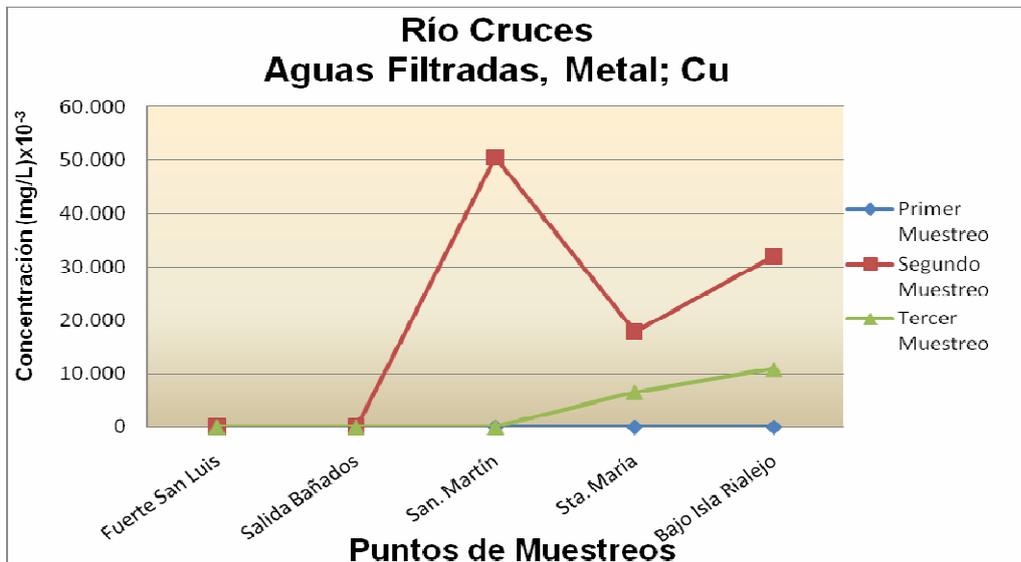
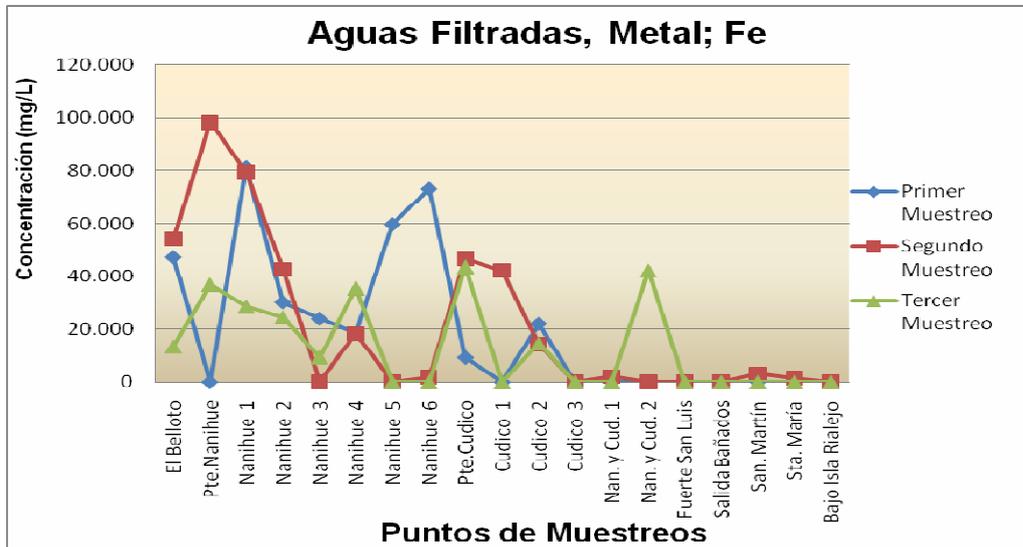
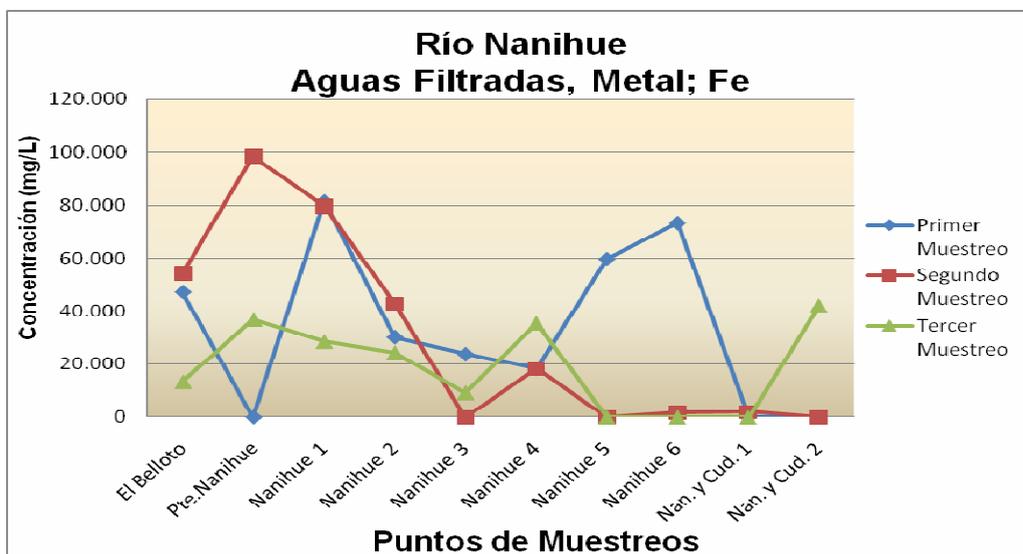


Gráfico N° 37: Concentración de Fe (mg/L) en Aguas Filtradas: en las diferentes estaciones.



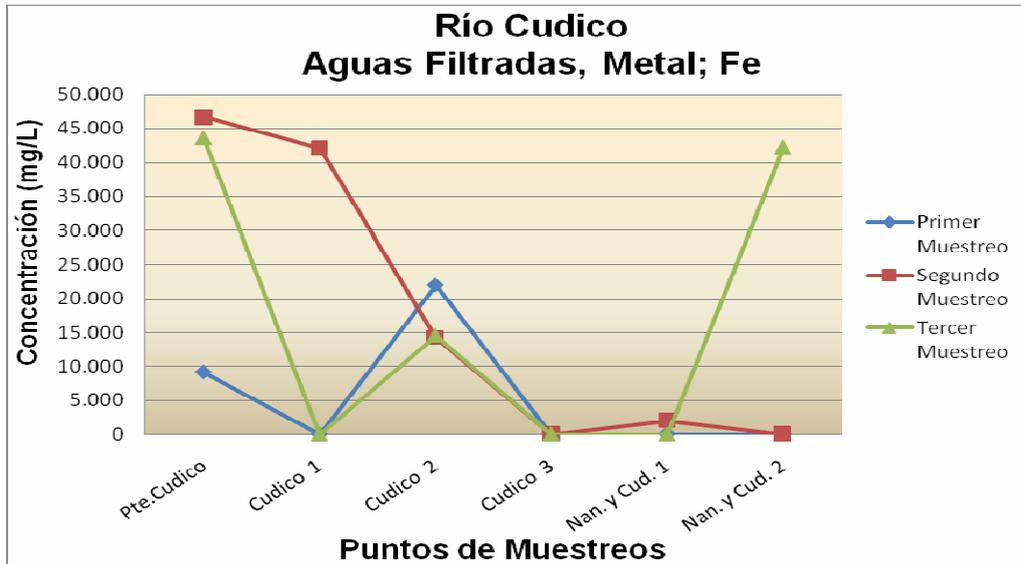
Nota: (mg/L)x10⁻³ para el Primer y Tercer muestreo, (mg/L)x10⁻² para el Segundo muestreo.

Gráfico N° 38: Concentración de Fe (mg/L) en Aguas Filtradas: Río Nanihue en las diferentes estaciones.



Nota: (mg/L)x10⁻³ para el Primer y Tercer muestreo, (mg/L)x10⁻² para el Segundo muestreo.

Gráfico N° 39: Concentración de Fe (mg/L) en Aguas Filtradas: Río Cudico en las diferentes estaciones.



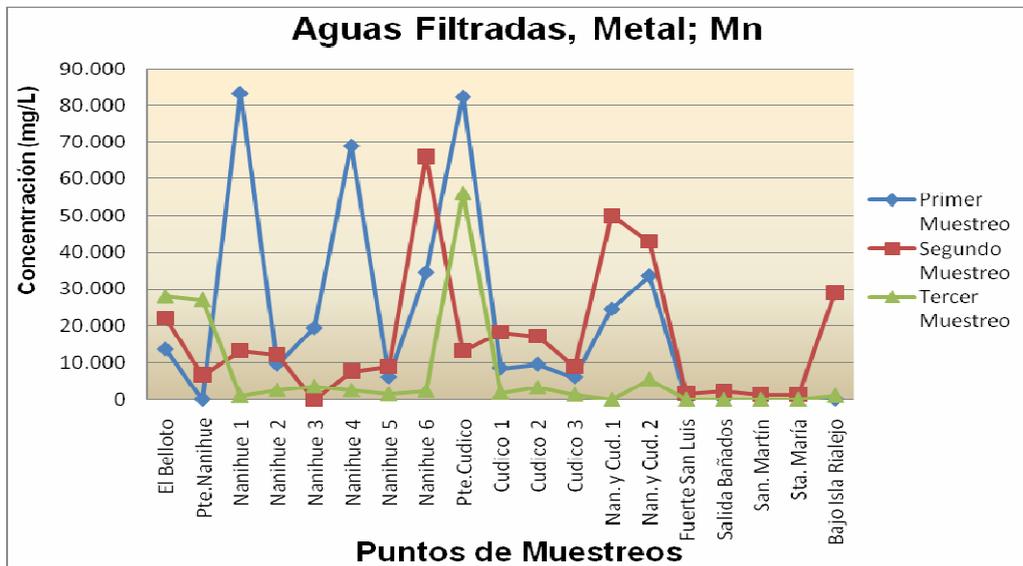
Nota: (mg/L) $\times 10^{-3}$ para el Primer y Tercer muestreo, (mg/L) $\times 10^{-2}$ para el Segundo muestreo.

Gráfico N° 40: Concentración de Fe (mg/L) en Aguas Filtradas: Río Cruces en las diferentes estaciones.



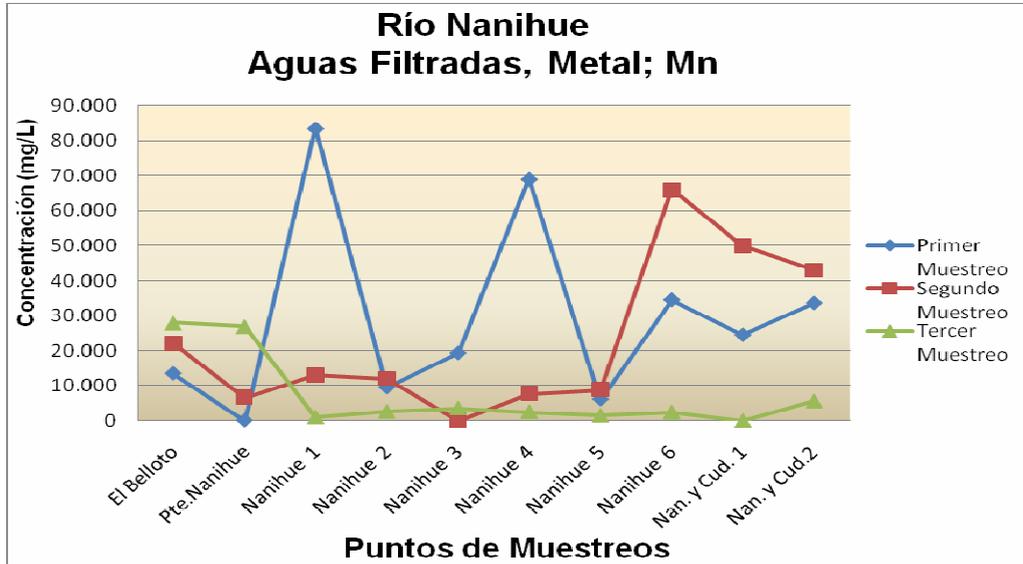
Nota: (mg/L) $\times 10^{-3}$ para el Primer y Tercer muestreo, (mg/L) $\times 10^{-2}$ para el Segundo muestreo.

Gráfico N° 41: Concentración de Mn (mg/L) en Aguas Filtradas: en las diferentes estaciones.



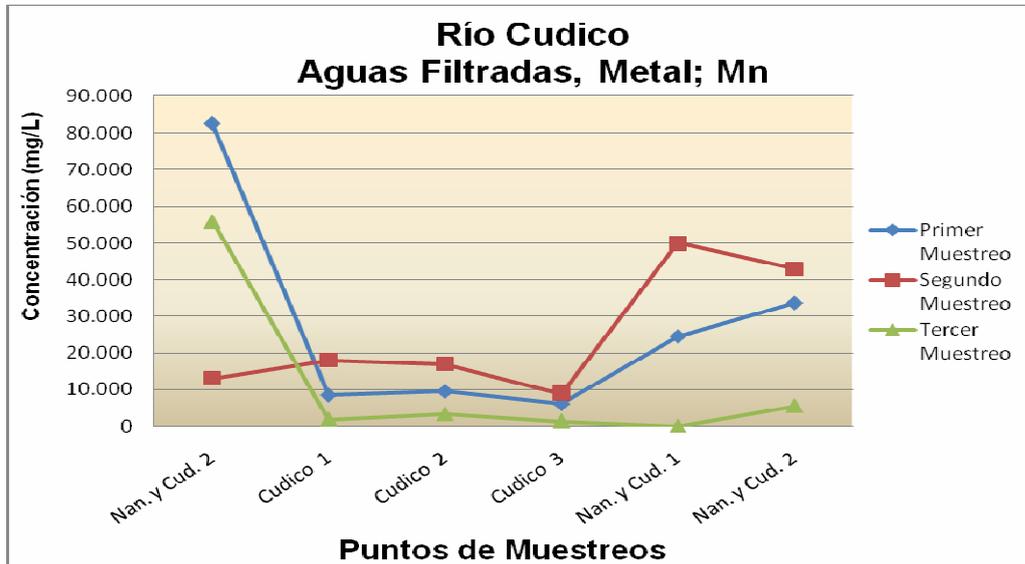
Nota: (mg/L)x10⁻⁴ para el Primer muestreo; (mg/L)x10⁻³ para el Segundo y Tercer muestreo.

Gráfico N° 42: Concentración de Mn (mg/L) en Aguas Filtradas: Río Nanihue en las diferentes estaciones.



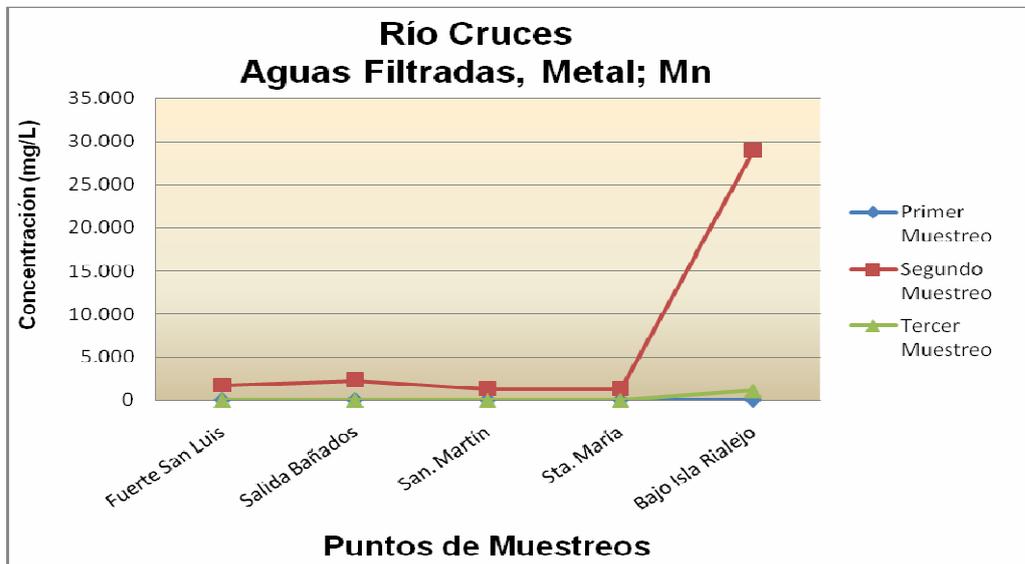
Nota: (mg/L)x10⁻⁴ para el Primer muestreo; (mg/L)x10⁻³ para el Segundo y Tercer muestreo.

Gráfico N° 43: Concentración de Mn (mg/L) en Aguas Filtradas: Río Cudico en las diferentes estaciones.



Nota: (mg/L)x10⁻⁴ para el Primer muestreo; (mg/L)x10⁻³ para el Segundo y Tercer muestreo.

Gráfico N° 44: Concentración de Mn (mg/L) en Aguas Filtradas: Río Cruces en las diferentes estaciones.



Nota: (mg/L)x10⁻⁴ para el Primer muestreo; (mg/L)x 10⁻³ para el Segundo y Tercer muestreo.

Gráfico N° 45: Concentración de Cd (mg/L) en Aguas No Filtradas: en las diferentes estaciones.

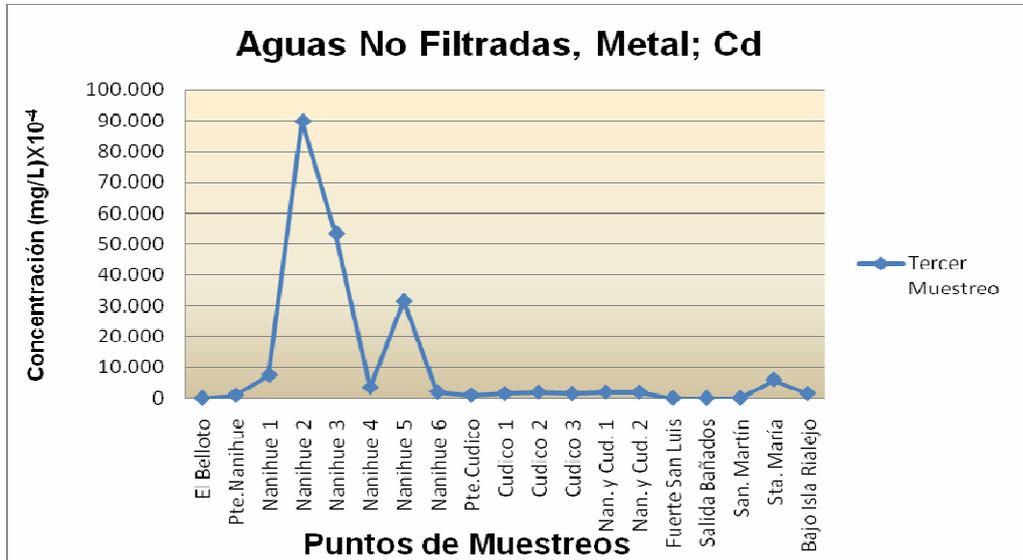


Gráfico N° 46: Concentración de Cd (mg/L) en Aguas No Filtradas: Río Nanihue en las diferentes estaciones.

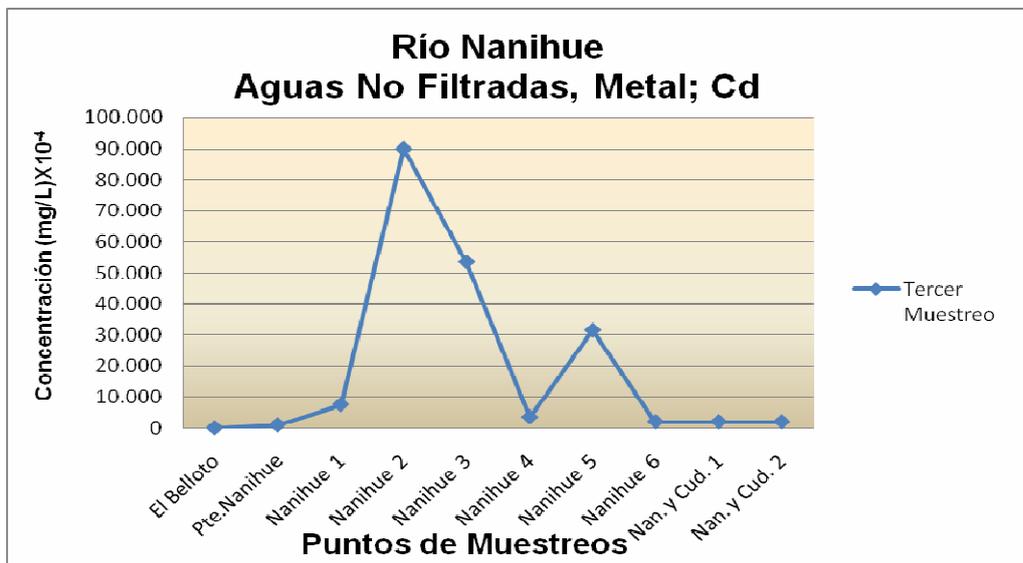


Gráfico N° 47: Concentración de Cd (mg/L) en Aguas No Filtradas: Río Cudico en las diferentes estaciones.



Gráfico N° 48: Concentración de Cd (mg/L) en Aguas No Filtradas: Río Cruces en las diferentes estaciones.

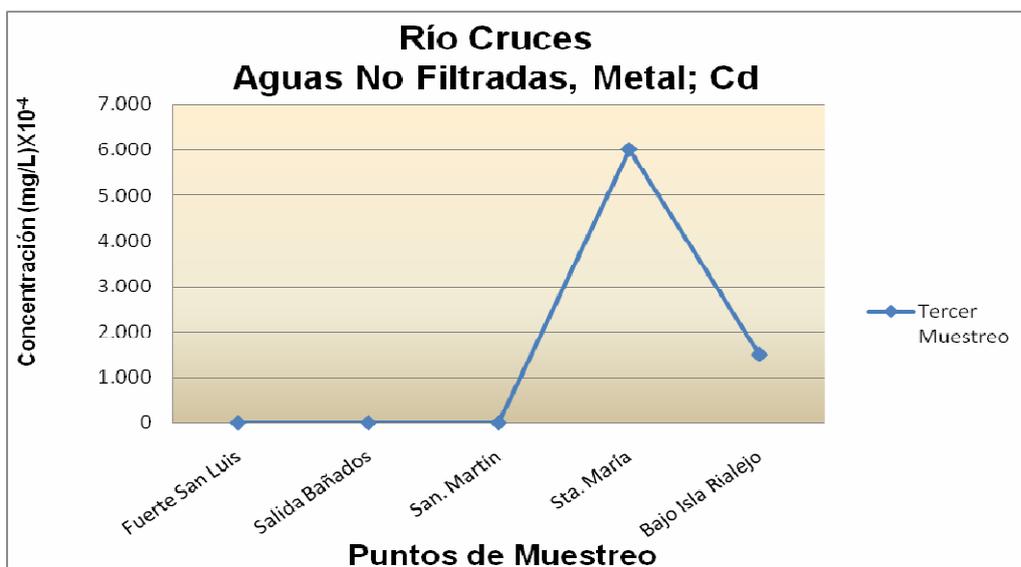


Gráfico N° 49: Concentración de Cu (mg/L) en Aguas No Filtradas: en las diferentes estaciones.

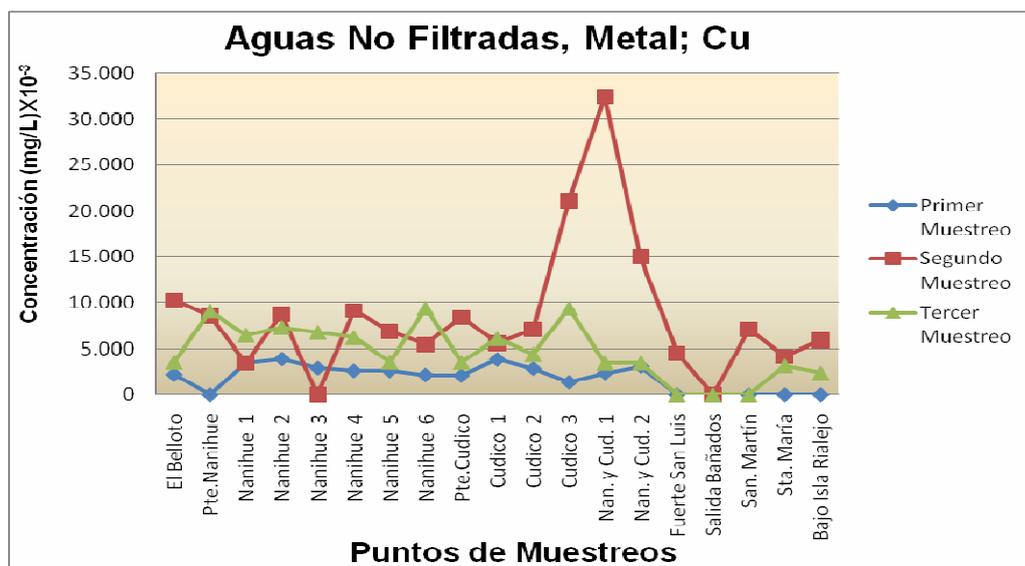


Gráfico N° 50: Concentración de Cu (mg/L) en Aguas No Filtradas: Río Nanihue en las diferentes estaciones.

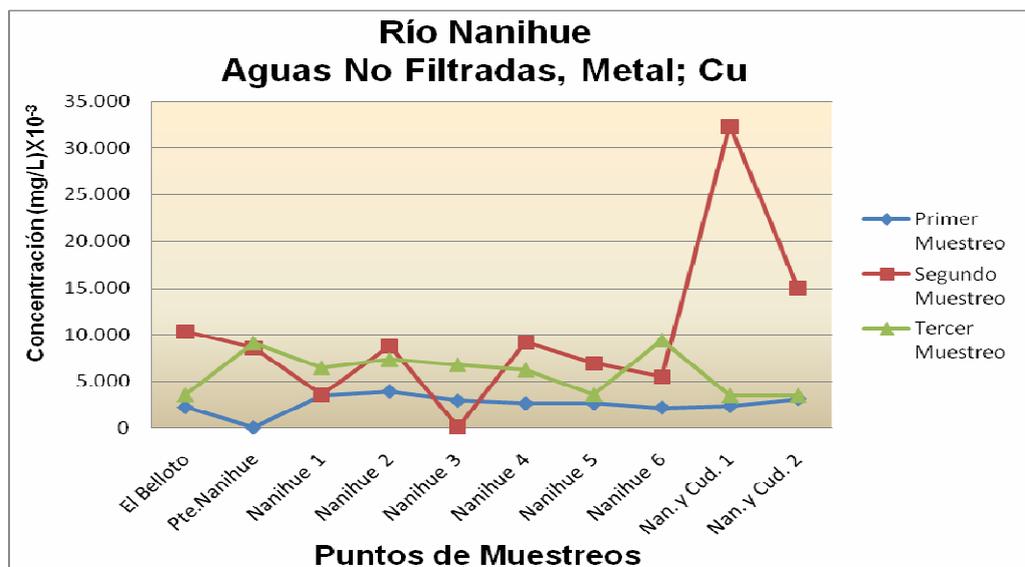


Gráfico N° 51: Concentración de Cu (mg/L) en Aguas No Filtradas: Río Cudico en las diferentes estaciones.

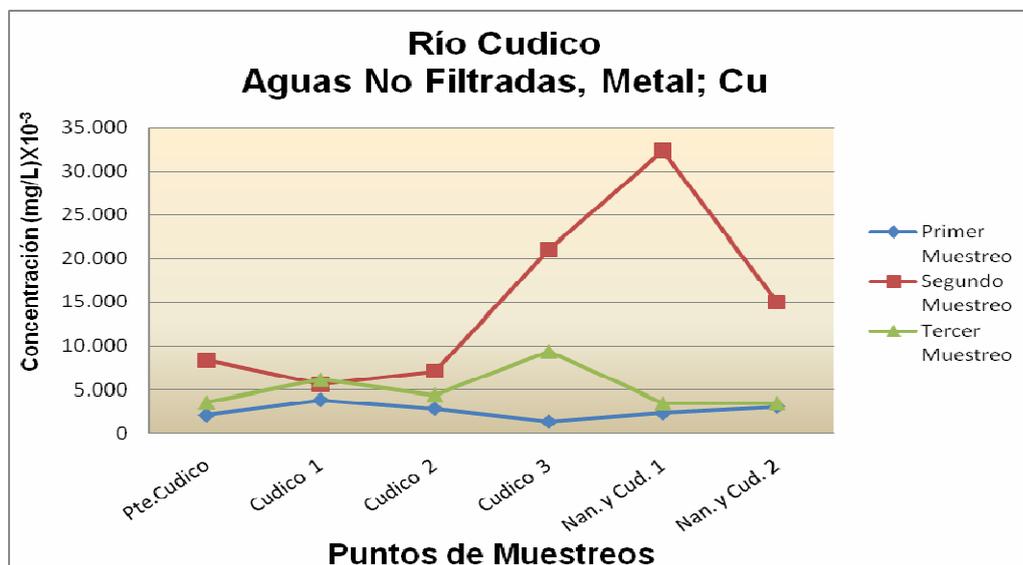


Gráfico N° 52: Concentración de Cu (mg/L) en Aguas No Filtradas: Río Cruces en las diferentes estaciones.

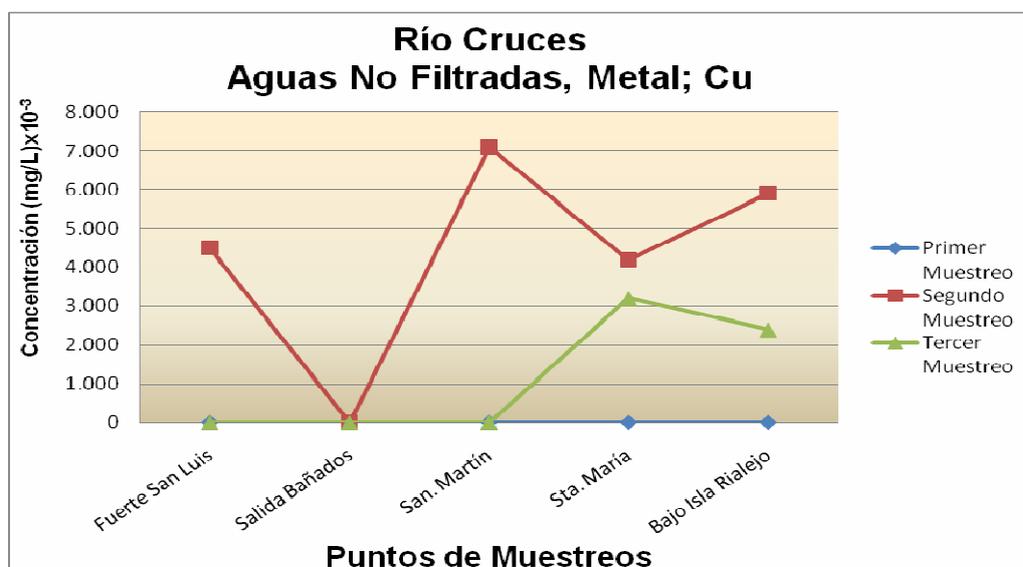
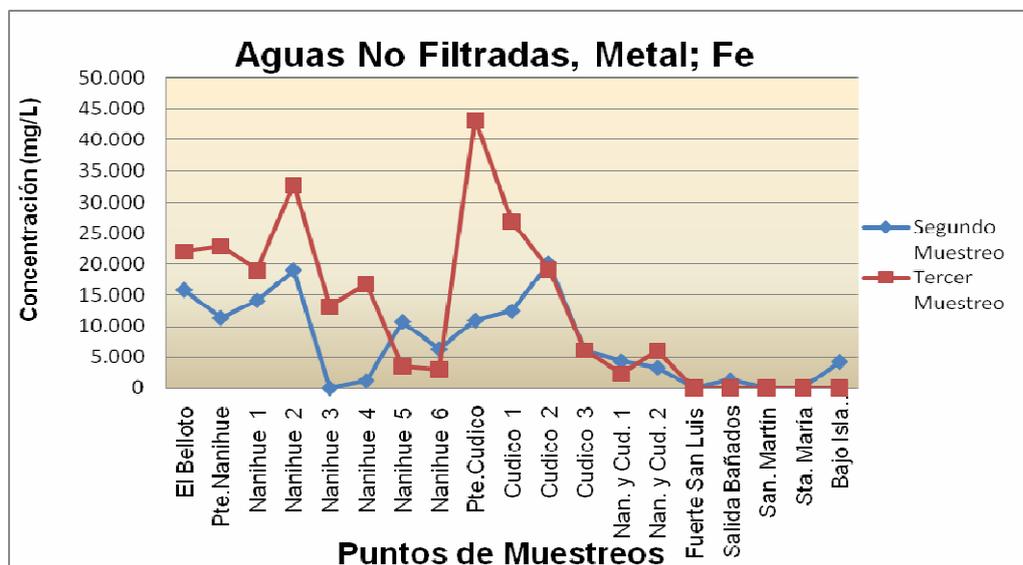
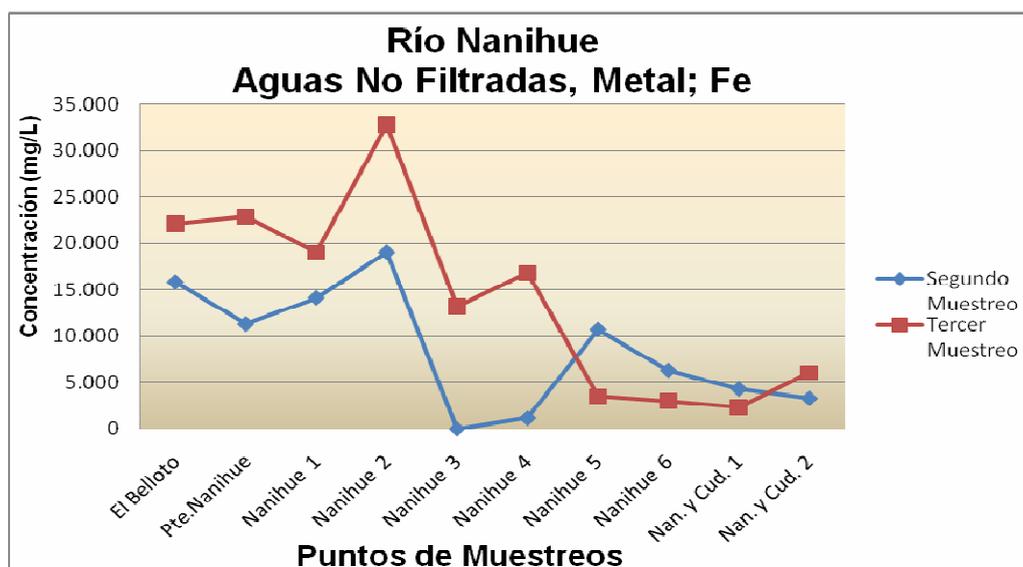


Gráfico N° 53: Concentración de Fe (mg/L) en Aguas No Filtradas: en las diferentes estaciones.



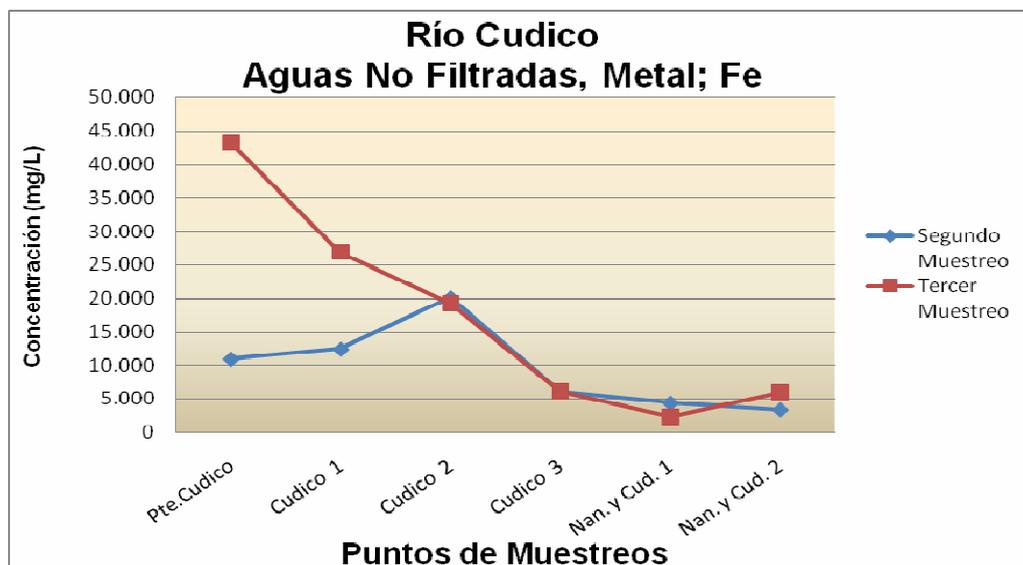
Nota: (mg/L) $\times 10^{-1}$ para el Segundo muestreo; (mg/L) $\times 10^{-3}$ para el Tercer muestreo.

Gráfico N° 54: Concentración de Fe (mg/L) en Aguas No Filtradas: Río Nanihue en las diferentes estaciones.



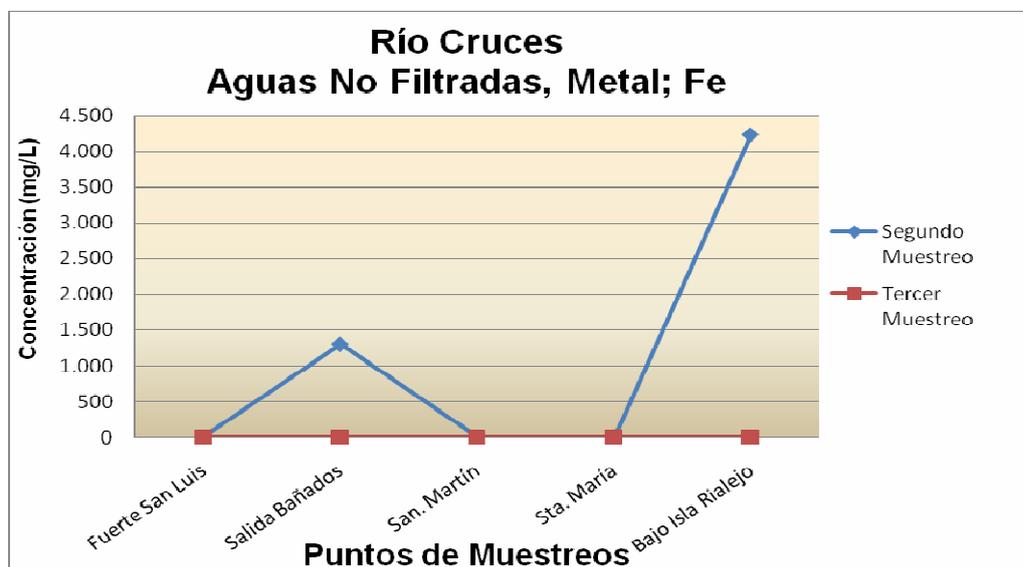
Nota: (mg/L) $\times 10^{-1}$ para el Segundo muestreo; (mg/L) $\times 10^{-3}$ para el Tercer muestreo.

Gráfico N° 55: Concentración de Fe (mg/L) en Aguas No Filtradas: Río Cudico en las diferentes estaciones.



Nota: (mg/L) $\times 10^{-1}$ para el Segundo muestreo; (mg/L) $\times 10^{-3}$ para el Tercer muestreo.

Gráfico N° 56: Concentración de Fe (mg/L) en Aguas No Filtradas: Río Cruces en las diferentes estaciones.



Nota: (mg/L) $\times 10^{-1}$ para el Segundo muestreo; (mg/L) $\times 10^{-3}$ para el Tercer muestreo.

Gráfico N° 57: Concentración de Mn (mg/L) en Aguas No Filtradas: en las diferentes estaciones.

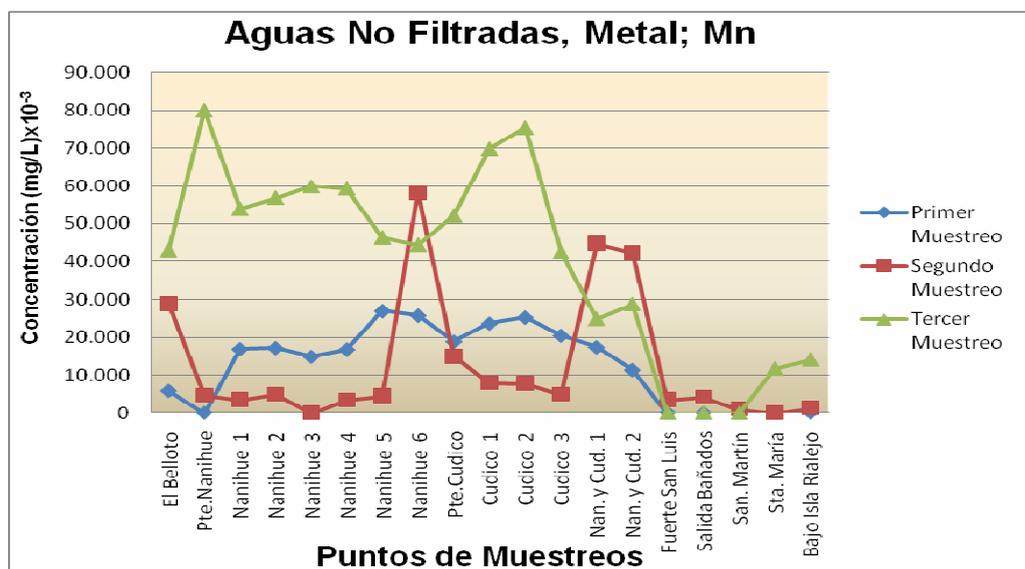


Gráfico N° 58: Concentración de Mn (mg/L) en Aguas No Filtradas: Río Nanihue en las diferentes estaciones.

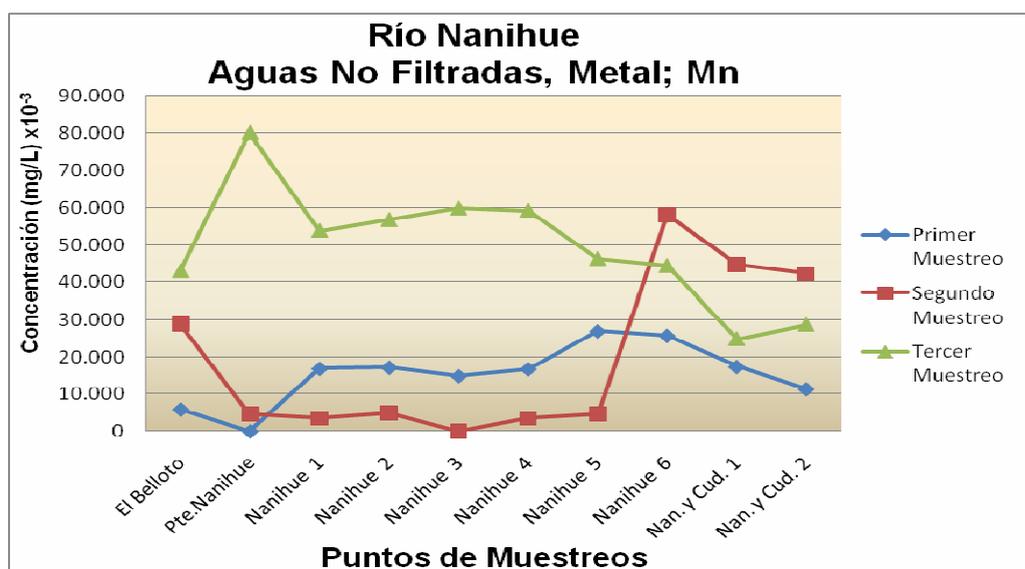


Gráfico N° 59: Concentración de Mn (mg/L) en Aguas No Filtradas: Río Cudico en las diferentes estaciones.



Gráfico N° 60: Concentración de Mn (mg/L) en Aguas No Filtradas: Río Cruces en las diferentes estaciones.



ANEXO 6

Tablas de Referencia

Tabla N° 1: Criterio para la concentración de metales en sedimento establecida por la Agencia de protección Ambiental de Estados Unidos (USA/EPA, 1991). Todas las unidades se expresan en ug/g.

Metal	No contaminado	Contaminación Moderada	Contaminación Alta
Cadmio	-----	-----	>6.0
Cobre	<25	25-50	>50
Cromo	<25	25-75	>75
Mercurio	<1.0	-----	>1.0
Níquel	<20	20-50	>50
Plomo	<40	40-60	>60

Tabla N° 2: Concentración de metales pesados (expresados en ppm) en sedimentos no contaminados según la USA/EPA y Canada/OME. (1991). Fuente: Alarcón, 1997.

Metales	USA/EPA	Canada/OME
As	3-8	8
Cr	25-75	25
Cu	25-50	25
Ni	20-50	25
Pb	40-60	50
Zn	90-200	100

Tabla N°3: Concentración de metales traza, expresadas en ppm en sedimentos no contaminados según USA/EPA y Canada/OME. En el caso de Holanda: B= bueno, E= evaluación, A=alarma (Senten & Charlier, 1991).

Metal	USA/EPA	Canada/OME	Holanda (Soil Anality Note)		
			B	E	A
Arsénico	3 – 8	8	85	85	150
Cromo	25 – 75	25	480	480	100
Cobre	25 – 50	25	35	90	400
Plomo	40 – 60	50	530	530	100
Hierro	*1,7x10 ⁴	-		-	
Manganeso	*300	-		-	

Fuente: Alarcón, 2003.

*Fuente: USEPA 1977.

Tabla N° 4: Concentración (mg/kg) de metales traza en sedimento durante la estación de Primavera, estudio de Contreras 2006.

(<) Valores bajo el límite de cuantificación del equipo.

METALES							
Punto de Muestreo	Ni mg/kg	Cr mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kgx10 ⁻⁴	Mn mg/kgx10 ⁻²	Al mg/kgx10 ⁻⁴
1	30,9	49,1	0,09	46,5	8,19	18,1	4,66
2	26,6	42,9	0,08	42,7	13,3	16,1	5,16
3	27,0	44,7	0,08	45,0	8,96	16,8	3,42
4	27,7	38,4	<0,05	34,7	6,54	7,03	3,53
5	27,8	44,9	0,09	44,1	5,18	13,8	3,78
6	26,4	41,1	0,07	38,8	7,96	9,25	4,46
7	27,5	45,3	<0,05	41,4	9,47	9,82	4,24
8	20,9	30,0	<0,05	20,7	4,63	5,96	2,16
Control	13,4	21,7	0,16	56,1	5,35	1,66	2,55

Fuente: Contreras 2006.

Tabla N° 5: Concentración (mg/kg) de metales traza en sedimento durante la estación de Verano, estudio de Contreras 2006.

(<) Valores bajo el límite de cuantificación del equipo.

METALES							
Punto de Muestreo	Ni mg/kg	Cr mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kgx10⁻⁴	Mn mg/kgx10⁻²	Al mg/kgx10⁻⁴
1	25,0	36,9	0,07	37,2	7,62	13,6	4,39
2	19,0	36,6	<0,05	47,5	8,73	2,62	4,96
3	21,7	24,3	<0,05	27,0	5,13	7,28	2,64
4	26,1	36,0	0,06	35,6	6,28	10,3	3,25
5	26,4	38,1	0,08	41,9	7,86	14,9	3,57
6	25,0	36,6	<0,05	37,5	7,05	8,49	2,95
7	23,1	34,2	0,05	37,9	7,77	6,86	2,77
8	23,9	31,6	<0,05	34,0	6,53	6,31	2,42
Control	12,3	14,5	0,08	45,3	4,44	2,77	2,05

Fuente: Contreras 2006

Tabla N°6: Concentración de metales pesados (mg/Kg peso seco) detectados en mayor concentración en muestras de sedimento, recolectadas en el Santuario de la Naturaleza del Río Cruces y humedales adyacentes, durante el 2do y 3er muestreo. Correspondiente a Noviembre y Diciembre 2004.

Estación	Cobre	Cromo	Hierro (x 10 ⁻⁴)	Manganeso (x 10 ⁻³)	Mercurio	Níquel
2do Muestreo						
Fuerte San Luis 1	43.2	12.0	4.13	1.00	0.12	16.5
Cayumapu 1	41.0	14.4	4.93	0.98	0.27	11.2
Frente San Ramón	41.0	16.2	4.93	1.14	0.16	11.7
San Ramón 1	46.9	18.4	3.87	0.46	0.05	20.1
Punucapa 1	41.0	14.9	3.78	0.41	0.07	18.7
Punucapa 2	46.0	17.9	4.56	0.69	0.07	21.1
Río Calle-Calle 1 (FS)	39.0	12.9	2.81	0.31	0.07	13.8
3do Muestreo						
Fuerte San Luis 2	74.1	13.4	4.71	1.58	0.09	24.0
Sitio Histórico	71.0	12.1	4.65	1.23	0.09	23.9
Nanihue 1	51.6	10.0	7.97	2.04	0.08	14.4
Nanihue 2	55.8	11.0	4.81	1.25	0.09	15.1
San Antonio	56.7	10.7	3.72	0.90	0.08	18.2
Cudico 1	51.8	7.80	3.63	0.68	0.08	17.5
Cudico 2	54.2	11.5	3.62	0.50	0.08	17.4
Santa María 1	72.4	11.5	4.54	2.17	0.07	18.9
Santa María 2	64.3	11.0	3.86	1.86	0.14	22.2
Santa María 3	54.3	13.4	3.33	0.74	0.10	30.3
Pichoy 1	64.2	12.3	4.50	2.45	0.08	19.3
Pichoy 2	53.6	11.5	4.82	3.88	0.79	20.1
Pichoy 3	56.9	10.7	4.23	1.68	0.10	20.2
Cayumapu 2	63.5	13.0	4.27	1.53	0.09	18.6
Cayumapu 3	65.9	12.6	4.44	1.73	0.08	19.4
Cayumapu 4	65.1	11.1	3.88	1.71	0.10	18.3
Cayumapu 5	58.7	10.3	2.54	0.24	0.10	17.0
Chorocamayo	62.3	8.80	3.25	0.35	0.08	16.4
Tambillo 1	68.9	15.4	4.46	1.10	0.08	21.5
Tambillo 2	53.8	14.3	4.00	0.60	0.10	23.2
San Ramón 2	63.5	13.1	4.29	0.73	0.08	20.6
San Ramón 3	50.8	11.2	2.45	0.27	0.08	17.9
Punucapa 3	68.5	15.0	4.11	0.54	0.07	19.7
Cabo Blanco	67.6	16.2	4.31	0.69	0.08	21.8
Río Valdivia (FS)	58.3	9.90	2.72	0.27	0.08	13.5
Río Calle-Calle (FS)	47.9	8.10	3.15	0.40	0.04	13.2

Tabla N° 7: Concentración de metales pesados (mg/Kg peso seco) detectados en menor concentración en muestras de sedimento, recolectadas en el Santuario de la Naturaleza del Río Cruces y humedales adyacentes, durante el 2do y 3er muestreo. (FS) Fuera del Santuario.

Estación	Cadmio	Plomo	Zinc
2doMuestreo			
Fuerte San Luis 1	0.25	< 2.00	190
Cayumapu 1	0.38	< 2.00	179
Frente San Ramón	0.23	< 2.00	135
San Ramón 1	< 0.06	6.05	129
Punucapa 1	< 0.06	7.27	138
Punucapa 2	< 0.06	7.12	139
Río Calle-Calle 1 (FS)	< 0.06	7.27	163
3doMuestreo			
Fuerte San Luis 2	< 0.10	8.61	134
Sitio Histórico	< 0.10	7.68	121
Nanihue 1	< 0.10	5.99	111
Nanihue 2	< 0.10	5.77	84.3
San Antonio	< 0.10	6.52	90.1
Cudico 1	< 0.10	5.84	74.3
Cudico 2	< 0.10	7.94	91.5
Santa María 1	< 0.10	7.88	107
Santa María 2	< 0.10	6.28	116
Santa María 3	< 0.10	6.07	124
Pichoy 1	< 0.10	7.73	141
Pichoy 2	< 0.10	8.25	102
Pichoy 3	< 0.10	8.67	103
Cayumapu 2	< 0.10	7.63	96.1
Cayumapu 3	< 0.10	7.82	100
Cayumapu 4	< 0.10	8.69	130
Cayumapu 5	< 0.10	8.11	118
Chorocamayo	0.13	6.51	107
Tambillo 1	< 0.10	5.85	102
Tambillo 2	< 0.10	3.04	108
San Ramón 2	< 0.10	6.28	100
San Ramón 3	< 0.10	7.81	80.7
Punucapa 3	< 0.10	4.92	106
Cabo Blanco	< 0.10	7.80	104
Río Valdivia (FS)	< 0.10	18.8	164
Río Calle-Calle (FS)	< 0.10	7.25	99.1

Tabla N° 8: 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° 9: 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° 10: 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