

2.1.1. Cuenca del río Huasco.....	29
2.1.2. Cuenca del río Elqui.....	30
2.1.3. Cuenca del río Limarí.....	31
2.2. Toma de Muestras.....	32
2.3. Tratamiento de Muestras.....	33
2.3.1. Aguas Superficiales.....	33
2.3.2. Sedimentos.....	35
2.3.3. Estándares de calibración de muestras acuosas.....	36
2.3.4. Estándares de calibración de muestras sólidas.....	37
2.3.5. Material de referencia de control instrumental.....	38
2.3.6. Material de referencia de lectura.....	40
2.3.7. Solución de revisión de interferentes.....	41
2.3.8. Solución catiónica.....	41
2.3.9. Solución de lavado (HNO ₃ 1% v/v).....	42
2.4. Espectrometría de Emisión Óptica con plasma acoplado inductivamente.....	42
2.4.1. Validación del método.....	42
2.4.2. Aguas superficiales.....	49
2.4.3. Sedimentos.....	50
2.5. Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frío.....	50

III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
3.1. Estado Ecológico previo.....	52
3.2. Validación del método.....	58
3.3. Análisis de Aguas Superficiales de las cuencas en estudio.....	63
3.4. Análisis de Sedimentos de las cuencas de los ríos Huasco, Elqui y Limarí.....	71
IV CONCLUSIONES.....	107
V REFERENCIAS.....	109
VI ANEXOS.....	113
ANEXO A: Parámetros obtenidos en método de validación analítico...	114
ANEXO B: Parámetros obtenidos en cuantificación de metales pesados en Sedimentos de las cuencas en estudio.....	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos de agua dulce para ríos mediterráneos de Chile (ChBMWP, Figueroa y col (2007).....	3
Tabla 2. Descripción y cuantificación de indicadores para sedimentos de agua dulce (en mg/kg peso seco). MacDonald y col (2006).....	21
Tabla 3: Puntos de muestreo cuenca del río Huasco. Huso 19J.....	29
Tabla 4: Puntos de muestreo cuenca del río Elqui. Huso 19J.....	30
Tabla 5: Puntos de muestreo cuenca del río Limarí. Huso 19J.....	31
Tabla 6: Programa de digestión de muestras de aguas superficiales. Horno microondas Milestone, MLS-1200 Mega.....	34
Tabla 7: Programa de digestión de muestras de sedimentos y lodos. Horno microondas Milestone, MLS-1200 Mega.....	36
Tabla 8: Curva de calibración para análisis de muestras de matrices acuosas....	37
Tabla 9: Curva de calibración para muestras correspondientes a matrices sólidas, suelos, lodos y sedimentos.....	38
Tabla 10: Preparación de material de referencia de control instrumental.....	39
Tabla 11: Preparación de material de referencia de lectura.....	40
Tabla 12: Preparación de solución Revisión Interferentes.....	41
Tabla 13: Longitudes de onda correspondientes a analitos para medición por ICP.....	44
Tabla 14: Parámetros de calidad para validación del método.....	59

Tabla 15: Parámetros de Control de Equipo y Control de Calidad para Medición de Metales en Aguas Superficiales.....	63
Tabla 16: Parámetros de Control de Equipo y Control de Calidad para Medición de Metales en Sedimentos.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de un espectrómetro de absorción atómica con vapor frío.....	25
Figura 2: Estaciones de muestreo de la cuenca del río Huasco con su respectivo estado ecológico.....	53
Figura 3: Estaciones de muestreo de la cuenca del río Elqui con su respectivo estado ecológico.....	55
Figura 4: Estaciones de muestreo de la cuenca del río Limarí con su respectivo estado ecológico.....	57
Figura 5: Aluminio en cuenca del río Huasco.....	64
Figura 6: Arsénico en cuenca del río Huasco.....	64
Figura 7: Boro en cuenca del río Huasco.....	64
Figura 8: Cadmio en cuenca del río Huasco.....	64
Figura 9: Cobre en cuenca del río Huasco.....	65
Figura 10: Cromo en cuenca del río Huasco.....	65
Figura 11: Hierro en cuenca del río Huasco.....	65
Figura 12: Manganeso en cuenca del río Huasco.....	65
Figura 13: Mercurio en cuenca del río Huasco.....	65
Figura 14: Molibdeno en cuenca del río Huasco.....	65
Figura 15: Níquel en cuenca del río Huasco.....	66
Figura 16: Plomo en cuenca del río Huasco.....	66
Figura 17: Selenio en cuenca del río Huasco.....	66
Figura 18: Zinc en cuenca del río Huasco.....	66
Figura 19: Aluminio en cuenca de Elqui.....	67

Figura 20: Arsénico en cuenca de Elqui.....	67
Figura 21: Boro en cuenca de Elqui.....	67
Figura 22: Cobre en cuenca de Elqui.....	67
Figura 23: Hierro en cuenca de Elqui.....	67
Figura 24: Manganeso en cuenca de Elqui.....	67
Figura 25: Molibdeno en cuenca de Elqui.....	68
Figura 26: Níquel en cuenca de Elqui.....	68
Figura 27: Plomo en cuenca de Elqui.....	68
Figura 28: Aluminio en cuenca de Limarí.....	69
Figura 29: Arsénico en cuenca de Limarí.....	69
Figura 30: Cobre en cuenca de Limarí.....	70
Figura 31: Hierro en cuenca de Limarí.....	70
Figura 32: Manganeso en cuenca de Limarí.....	70
Figura 33: Zinc en cuenca de Limarí.....	70
Figura 34: Arsénico en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	72
Figura 35: Arsénico en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	72
Figura 36: Cadmio en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	73
Figura 37: Cadmio en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	73
Figura 38: Cobre en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	74
Figura 39: Cobre en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	74
Figura 40: Cromo en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	75
Figura 41: Cromo en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	75
Figura 42: Hierro en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	76

Figura 43: Hierro en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	76
Figura 44: Manganeso en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	77
Figura 45: Manganeso en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	77
Figura 46: Mercurio en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	78
Figura 47: Mercurio en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	78
Figura 48: Níquel en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	79
Figura 49: Níquel en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	79
Figura 50: Plata en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	80
Figura 51: Plata en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	80
Figura 52: Plomo en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	81
Figura 53: Plomo en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	81
Figura 54: Zinc en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	82
Figura 55: Zinc en sedimentos de la cuenca del río Huasco.....	82
Figura 56: Arsénico en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	83
Figura 57: Arsénico en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	83
Figura 58: Cadmio en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	84
Figura 59: Cadmio en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	84
Figura 60: Cobre en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	85
Figura 61: Cobre en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	85
Figura 62: Cromo en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	86
Figura 63: Cromo en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	86
Figura 64: Hierro en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	87
Figura 65: Hierro en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	87

Figura 66: Manganeso en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	88
Figura 67: Manganeso en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	88
Figura 68: Mercurio en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	89
Figura 69: Mercurio en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	89
Figura 70: Níquel en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	90
Figura 71: Níquel en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	90
Figura 72: Plata en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	91
Figura 73: Plata en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	91
Figura 74: Plomo en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	92
Figura 75: Plomo en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	92
Figura 76: Zinc en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	93
Figura 77: Zinc en sedimentos de la cuenca del río Elqui.....	93
Figura 78: Arsénico en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	94
Figura 79: Arsénico en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	94
Figura 80: Cadmio en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	95
Figura 81: Cadmio en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	95
Figura 82: Cobre en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	96
Figura 83: Cobre en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	96
Figura 84: Cromo en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	97
Figura 85: Cromo en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	97
Figura 86: Hierro en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	98
Figura 87: Hierro en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	98
Figura 88: Manganeso en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	99

Figura 89: Manganeso en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	99
Figura 90: Mercurio en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	100
Figura 91: Mercurio en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	100
Figura 92: Níquel en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	101
Figura 93: Níquel en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	101
Figura 94: Plata en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	102
Figura 95: Plata en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	102
Figura 96: Plomo en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	103
Figura 97: Plomo en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	103
Figura 98: Zinc en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	104
Figura 99: Zinc en sedimentos de la cuenca del río Limarí.....	104

RESUMEN

En este trabajo se estudió el contenido de metales pesados en sedimentos procedentes de las cuencas de los ríos Huasco, Elqui y Limarí a través de la técnica de ICP-OES, con el fin de complementar la información de estados ecológicos previos realizado por el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) para dichas cuencas. Para ello, se realizó una campaña de muestreo en septiembre de 2012, con el objetivo de obtener muestras de sedimentos y aguas superficiales de dichas cuencas, en puntos previamente seleccionados por pertenecer a la red de monitoreo activa de la Dirección General de Aguas (DGA).

En primer lugar, mediante muestras de aguas superficiales con y sin digestión ácida, se realizaron mediciones de concentración de metales pesados en sus longitudes de onda respectivas en un espectrofotómetro de emisión óptica con plasma de argón acoplado inductivamente Perkin Elmer Optima 3300 XL, con el propósito de obtener parámetros de recuperación, justeza o veracidad, límites de detección y cuantificación y recuperación, para calcular, basado en un 95% de confianza, las incertidumbres combinadas y expandidas. Todos estos cálculos fueron realizados con el propósito de validar el método de cuantificación de metales pesados.

A continuación, se analizó la concentración de metales pesados en aguas superficiales por ICP-OES y mercurio por espectrometría de absorción atómica por vapor frío. Los resultados obtenidos fueron comparados con las concentraciones establecidas en los anteproyectos de normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de las cuencas en estudio, con el fin de verificar si dichas concentraciones superan o no los valores normados.

Para los sedimentos, la fracción total de las muestras fue sometida a una digestión ácida vía microondas, enfriada y filtrada, según método EPA 3051A, con el fin de obtener concentraciones de metales pesados por ICP y mercurio por espectrometría de absorción atómica por vapor frío. Una vez obtenidas las concentraciones, éstas fueron comparadas con las concentraciones umbrales (TEL) y de efectos probables (PEL) de metales pesados descritas por MacDonald y col. Basado en dichas comparaciones, se determinaron las zonas de cada cuenca en las que los niveles de los diferentes metales pesados estudiados constituyen un riesgo para la biota presente en el lecho de sedimentos, además de complementar el estado ecológico de las diferentes cuencas en estudio.

Los resultados arrojados por las concentraciones de metales pesados indican que hay superaciones de nivel de efecto probable para arsénico, cadmio, cobre, manganeso y zinc en la parte alta de la cuenca del río Huasco; arsénico, cobre, cadmio, manganeso y zinc en la cuenca del río Elqui y cadmio, cromo, níquel y plata en la cuenca del río Limarí.

Los resultados de aguas superficiales mostraron que existen superaciones en algunas estaciones de boro, manganeso y zinc en la cuenca del río Huasco; boro, cobre, zinc, aluminio y plomo en la cuenca del río Elqui y zinc en la cuenca del río Limarí.

Estos resultados modifican en muy poca medida el estado ecológico previo descrito por el estudio de CENMA en 2012. Sin embargo, la recomendación inmediata es la elaboración de niveles de TEL Y PEL adecuados para la realidad país, junto con enfocar los estudios futuros al tratamiento, mitigación y/o compensación de los sedimentos descritos en estas tres cuencas.

ABSTRACT

This work studied heavy metals content in sediments from Huasco, Elqui and Limarí basins by ICP-OES, in order to complete prior ecological status information made by Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). For that, a sampling campaign was conducted in september 2012, in order to obtain sediment and freshwater samples from such basins, at previously selected points belonging to the active network of Dirección General de Aguas (DGA).

First, using freshwater samples with and without acid digestion, concentration measurements of heavy metals in their respective wavelenghts were performed on an Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometer, Perkin Elmer Optima 3300 XL model, for the purpose to obtain recovery, accuracy, limits of detection and quantification and recovery parameters, to calculate, based on a 95% confidence, the combined and expanded uncertainties. All these calculations were performed in order to validate the method of quantification of heavy metals by ICP-OES. Then, concentration of heavy metals in freshwaters was analyzed by ICP-OES, and mercury concentration in freshwater was analyzed by cold vapor atomic absorption. Results obtained were compared with the concentrations established in the secondary draft environmental quality standards for the protection of surface waters of the basins under study, in order to check whether or not these concentrations exceed regulted values.

To sediments, the total fraction of the samples was subjected to acid digestión by microwave, cooled and filtered, according to EPA method 3051A, in order to obtain concentrations of heavy metals by ICP-OES and mercury concentrations by cold vapor atomic absorption. Once obtained concentrations, they were compared with the thershold effect concentrations (TEL) and probable effects (PEL) of heavy metals described by

MacDonald et al. Based on this comparisons, the areas of each basin in which levels of various heavy metals studied pose a risk to the biota present in the bed sediment, while complementing the environmental status of the different basins studied were determined.

Results from the heavy metals concentrations indicate exceedance probable effect level for arsenic, cadmium, copper, manganese and zinc in the upper Huasco river basin; arsenic, copper, cadmium, manganese and zinc in Elqui river basin and cadmium, chromium, nickel and silver in Limarí river basin.

The results showed that surface water exceedances at some stations are boron, manganese and zinc in the Huasco river basin; boron, copper, zinc, aluminum and lead in Elqui river basin, and zinc in Limarí river basin.

These results change very little ecological status as the previous study described by CENMA. However, the immediate recommendation is the development of TEL and PEL levels adequate to the reality of the country, along with focus future studies to treatment, mitigation and/or compensation of sediments described in these three basins

I INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes Generales

El ministerio del Medio Ambiente se ha preocupado en los últimos años en elaborar estudios y normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales, dada la necesidad de dotar de instrumentos normativos y de gestión que permitan avanzar en la conservación y/o recuperación de la calidad de los recursos hídricos estudiados.

Dentro de los estudios ambientales sobre las aguas superficiales se han estudiado, en general, los mismos parámetros químicos, físicos y biológicos en las cuencas de estudio, suponiendo una correlación geográfica respecto al contenido. Sin embargo, los niveles permitidos de concentración de los parámetros estudiados difieren de una cuenca a otra (Ministerio del Medio Ambiente, 2006).

Durante las últimas décadas, los ecosistemas acuáticos han sido expuestos a alteraciones ecológicas que ponen en evidencia su susceptibilidad y a la biota que cobijan. Las actividades antrópicas han alterado de manera gradual la estructura de las comunidades y el funcionamiento integral de la mayoría de los ambientes lóticos y lénticos. Paralelamente, se evidencia un interés progresivo por desarrollar y aplicar metodologías que evalúan la calidad de los recursos hídricos e intentan predecir su evolución temporal. En la actualidad, los métodos más utilizados son aquellos que diagnostican el deterioro ambiental a partir del análisis de sus componentes bióticos, ya que integran temporalmente los efectos producidos por agentes estresantes, representando un registro retrospectivo de la historia reciente del sistema y poseen una

relación de costo-beneficio favorable (Hellawell 1978; Cairns & Prat 1993; Resh & Jackson 1993; Alonso & Camargo 2005).

El estado ecológico se define como una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales en relación con las condiciones de referencia (Directiva Marco del Agua, Parlamento Europeo 2000). Para medir el estado ecológico de las aguas superficiales, la Directiva Marco del Agua recoge, en su anexo V, los parámetros que deben considerarse, dividiéndolos en tres categorías: biológicos, hidromorfológicos y fisicoquímicos. Por lo tanto, al momento de establecer el estado de los ecosistemas, se deberán medir un conjunto de atributos, entre los que destacan la obtención de los datos físicos, químicos y biológicos, la clasificación del *Tipo* de río a la cual pertenecen las estaciones de muestreo, la selección de las estaciones de referencia, entre otros (CENMA 2012).

Los métodos de evaluación para determinar la calidad de aguas empleados generalmente son el índice de Laidlaw y el índice "Biological Monitoring Working Party" (BMWP). Este último, debido a su sencillez y fiabilidad, fue adoptado en el VI Congreso Español de Limnología, para su aplicación en la península Ibérica. El índice BMWP es un índice biótico y determina la calidad de agua, basándose en la familia de invertebrados indicadores. En este método, la escala para calificar es de 1 a 10, donde 10 se asigna a familias de organismos indicadores de agua de calidad excelente y el valor 1 a familias de organismos indicadores de agua con una calidad de agua muy mala. La suma de los valores obtenidos para cada familia en un punto de muestreo entregará el grado de contaminación del mismo. Cuanto mayor sea la suma, menor es la contaminación del punto estudiado (CENMA 2012).

Recientemente se ha avanzado en el estudio de calidad de aguas por medio de estos sensores bióticos en Chile. Un ejemplo de ello es el trabajo realizado por el profesor

Dr. Ricardo Figueroa, del centro EULA de Ciencias Ambientales de la Universidad de Concepción, quien desarrolló junto a su equipo de trabajo un análisis comparativo del uso de cuatro índices bióticos usados en la evaluación de calidad de aguas para un caso chileno. Dentro de dicho estudio, incluyó en índice BMWP, cuyo listado de familias se adaptó a la realidad nacional, excluyendo a las familias no presentes e incluyendo a aquellas de distribución anfinótica o que son propias del Neotrópico, por lo que se antepuso "Ch" a la sigla utilizada comúnmente. Del trabajo realizado se extrajo la información en la cual se clasifican las familias de invertebrados bentónicos presentes en Chile, asignándole a cada familia un puntaje basado en su grado de tolerancia a la contaminación (Figueroa y col 2007).

Tabla 1: Valores de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos de agua dulce para ríos mediterráneos de Chile (ChBMWP, Figueroa y col (2007))

Orden	Familias presentes	Puntaje
Plecoptera	Austroperlidae, Diaphipnoide, Eustheniidae, Notonemouridae, Perlidae	10
Ephemeroptera	Nesameletidae, Ameletopsidae, Oligoneuriidae, Coloburiscidae	
Tricoptera	Anomalopsychidae, Calamoceratidae, Helicophidae, Kokriidae, Philopotamidae, Sericostomatidae, Stenopsychidae	
Diptera	Blephariceridae	
Coleoptera	Limnichidae, Psephenidae	
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	9
Diptera	Glossosomatidae, Limnephilidae	
Trichoptera	Athericidae, Dixidae	

Ephemeroptera	Oniscigastridae	8
Trichoptera	Phylorheytiidae, Polycentropodidae, Tsiimidae	
Odonata	Calopterygidae, Lidellulidae	
Decapoda	Parastacidae	
Plecoptera	Gripopterygiidae	7
Trichoptera	Ecnomidae, Hydrobiosidae, Leptoceridae	
Odonata	Lestidae, Gomphidae, Corduliidae, Coenargrionidae	
Trichoptera	Hydroptilidae	6
Diptera	Ceratopogonidae	
Odonata	Petaluridae, Aeshnidae	
Coleoptera	Elmidae	
Decapoda	Aeglidae	
Basommatophora	Ancylidae, Chlinidae, Hyriidae	
Ephemeroptera	Baetidae	5
Trichoptera	Hydropsychidae	
Megaloptera	Corydalidae	
Diptera	Tipulidae, Simuliidae	
Coleoptera	Dryopidae, Gyrinidae	
Platyhelminthes	Turbellaria	
Decapoda	Amnicolidae	
Ephemeroptera	Caenidae	4
Megaloptera	Sialidae	
Diptera	Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae, Limnoniidae, Psychodidae	
Coleoptera	Haliplidae, Curculionidae, Psephenidae	

Hemiptera	Belostomatidae	3
Acari	Acari	
Coleoptera	Hydrophilidae, Dystiscidae	
Hemiptera	Gerridae, Notonectitidae, Corixidae	
Megaloptera	Lymnacididae, Physidae, Planorbidae, Sphaeriidae	
Isopoda	Janiiridae	
Arnhynchobdellida	Hirudinea	2
Diptera	Chironomidae, Culicidae, Ephydriidae	
Diptera	Syrphidae	1
Amphipoda	Hyalloelidae	
Nematomorpha	Nematoda, Oligochaeta	

1.2. Cuenca del río Huasco

La cuenca hidrográfica del río Huasco se ubica entre los paralelos 28°30' y los 29°40' de latitud sur, en la Región de Atacama, y posee una superficie aproximada de 9.850 km². Desde su nacimiento, el río Huasco posee una longitud de 88 km hasta que desemboca en el mar, al norte de la ciudad de Huasco. En el sector del nacimiento de este curso y la desembocadura de la quebrada El Jilguero, a 5 km al oriente de Vallenar, el río corre por un típico cajón cordillerano, en un lecho relativamente estrecho, confinado por altos cerros de roca fundamental mezoica.

El río Huasco se forma en Junta del Carmen, a 90 km de su desembocadura en el mar, por la confluencia de los ríos Tránsito (proveniente del NE) y del Carmen (que viene desde el SE). La formación de los ríos del Carmen y del Tránsito se generan a su vez por las contribuciones de los ríos Potrerillo y Matancilla, y Conay y Chollay, respectivamente.

La cuenca abarca la provincia del mismo nombre y las comunas de Freirina, Huasco, Vallenar y Alto del Carmen. Además, esta cuenca abarca parte de la provincia de Elqui, la superficie total de la cuenca equivale al 13% de la superficie regional. En ella se encuentran varias localidades pobladas, de las cuales 2 son ciudades: Vallenar y Huasco.

La provincia de Huasco presenta tres condiciones climáticas: clima desértico con nublados abundantes en el sector costero, clima desértico marginal bajo en la pampa intermedia y clima desértico marginal de altura en el sector cordillerano. Las temperaturas y la oscilación térmica disminuyen hacia el Este, debido a la combinación del efecto de la altitud y del incremento de la distancia al mar. Las características principales de los valles de los ríos Huasco, del Tránsito y del Carmen están dadas por un período libre de heladas de 11 meses (agosto a junio) y por temperaturas mínimas en julio de 5 °C y máximas en enero de 28 °C. Poseen un caudal permanente durante todo el año, aún cuando existan períodos de sequía prolongados, gracias al aporte de los deshielos en los meses estivales y la abundante pluviosidad (65 mm anuales) en invierno. Se observa un incremento y máximo estacional de precipitaciones durante el invierno en su sector más árido, con déficit hídrico durante más de la mitad del año.

La distribución anual de gastos medios mensuales indica para el río Huasco un régimen de carácter nivo-pluvial. Las precipitaciones aumentan conforme se asciende en el gradiente altitudinal en dirección a la cordillera andina. Ellas se originan en los frentes polares provenientes desde el SO y la barrera climática de los Andes produce su acumulación en los sectores altos de la cordillera.

La principal actividad económica corresponde a la minería, que produce aproximadamente el 40% del producto interno bruto (PIB) regional, donde para la minería metálica destacan la producción de cobre, oro, plata, hierro y molibdeno. La sigue el sector silvoagropecuario y el comercio, con un 11% del PIB, cada uno.

Las condiciones climáticas y de suelo de la cuenca del Huasco, más la presencia del recurso agua, facilitan el desarrollo de productos frutícolas de calidad, hortalizas y viñedos. Aunque la superficie explotable es limitada, se aprovecha intensamente en la producción de paltos, duraznos, uvas, damascos y chirimoyas. Parte de la producción de uva se usa en la elaboración de alcoholes.

Las ventajas climáticas permiten que algunos productos frutícolas maduren más tempranamente que en el resto del país, lo cual aumenta su valor comercial. Esto ocurre también con la producción de olivos y hortalizas.

Todos los cauces de la cuenca se encuentran sobre formaciones geológicas constituidas por depósitos no consolidados y rellenos de depósitos fluviales; gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas sub-actuales y llanuras de inundación. Los alrededores de los cauces presentan una amplia variedad de formaciones geológicas, siendo las más importantes desde el punto de vista de calidad de aguas, las quebradas San Antonio, río Grande, Cantaritos y Camarones y la subcuenca del río del Carmen. No existe influencia volcánica en esta zona.

En la parte alta de la cuenca destaca la existencia de permeabilidad muy baja, debido a la existencia de rocas plutónicas e hipabisales del período paleozoico formado por intrusivos granítico y basamentos impermeables junto con rocas volcánicas, coladas y depósitos piroclásticos reolíticos, dacíticos, andesíticos y basálticos del período jurásico de muy baja permeabilidad. El escurrimiento tiene sentido NNO, para luego virar en las cercanías de Alto del Carmen en sentido ONO. Desde esta ciudad en adelante la permeabilidad se hace de media a alta al pasar por rocas sedimentarias, volcánicas, depósitos no consolidados o rellenos, encajonadas por intercalaciones de rocas sedimentarias, plutónicas e hipabisales. A partir de Vallenar existen recargas del río

Huasco por afloramientos (Pozo Dirección General de Aguas con nivel freático 1 m), los cuales continúan hasta su desembocadura.

El uso del suelo de tipo agrícola en la cuenca comprende aproximadamente al 3% de la superficie total. Los terrenos agrícolas se presentan principalmente a lo largo del valle del río Huasco, aguas debajo de la localidad de Vallenar hasta la desembocadura. Los frutales ocupan la mayor parte de la superficie sembrada de la región. En esta actividad destaca la provincia de Huasco, que posee un 40% del suelo de especies frutales. El olivo es la segunda especie con mayor participación. La provincia de Huasco es la que concentra la mayor cantidad de productores de pisco y la mayor cantidad de superficie plantada, siendo la comuna de Alto del Carmen y Vallenar las que concentran la mayor plantación.

El sector más importante de la cuenca lo constituye la ciudad de Vallenar, capital de la provincia, donde se concentra el mayor número de población urbana. La ciudad de Huasco y la localidad de Freirina también poseen un importante número de población urbana. El sector minero de la cuenca se emplaza preferentemente en los alrededores de Vallenar, Quebrada Honda y Domeyko. También destaca la comuna de Freirina.

En relación a la biodiversidad presente, se destaca que la cuenca del río Huasco presenta una unidad hidrográfica de alto valor biogeográfico y de conservación biológica, dado que presenta una alta proporción de diversidad en un área restringida. La fauna se distribuye heterogéneamente a lo largo de su recorrido, presentando una marcada diferencia entre su parte alta ritral y su parte baja potamal, presentando esta última un humedal, caracterizando el sector o tramo final de la cuenca del Huasco. Por otro lado, presenta una mayor diversidad de especies en un gradiente que sigue la escorrentía, concentrando el sector de la desembocadura o humedal, la mayor diversidad de especies,

asociado principalmente a la avifauna presente en el sector, ya que la zona muestra condiciones de nutrientes y refugio.

1.3. Cuenca del río Elqui

La cuenca hidrográfica del río Elqui se encuentra entre los paralelos 29°35' y 30°20' de latitud sur, en el sector septentrional de la región de Coquimbo. Su área es de 9.826 km². A una altura de 815 m, 2 km aguas arriba de la localidad de Rivadavia se unen los ríos Turbio, que viene desde el oriente y el río Claro o Derecho que proviene del sur, dando origen al río Elqui.

Desde Rivadavia, a 75 km de La Serena, el río principal se desarrolla casi en dirección E-O y prácticamente no recibe afluentes, salvo varias quebradas de desarrollo considerable, pero normalmente secas y que solamente aportan agua en caso de lluvia directa en los años muy húmedos. Normalmente, un área cercana a 3.900 km², no participa del comportamiento hidrológico del Elqui. Por la ribera norte, las quebradas más importantes son Marquesa y Santa Gracia, que confluyen en su curso medio e inferior, respectivamente. Por el sur, recibe las quebradas San Carlos, Arrayán y Talca, junto a otras menores.

El río Turbio se forma 43 km aguas arriba de Rivadavia y a 1.370 m de la unión de los ríos Toro y La Laguna, drenando un área de 4.196 km². A partir de la confluencia de sus tributarios, toma rumbo al NO y a la altura del pueblo de Guanta, describe un gran arco para definir un rumbo final N-S, que es la prolongación del rumbo que trae la quebrada tributaria del Calvario. El río Claro o Derecho nace también en la alta cordillera y su único afluente es el río Cochiguaz. El área drenada es de 1.512 km² y toma rumbo S-N con una longitud de 65 km.

La cuenca se localiza en la región de Coquimbo, abarcando la provincia de Elqui y las comunas de La Serena, Coquimbo, Andacollo, La Higuera, Paiguano y Vicuña. La cuenca posee una superficie de 980.059 hectáreas, equivalentes al 24% de la región.

En la cuenca se presentan tres tipos de clima: el estepárico costero o nuboso, estepa cálida y templado frío de altura. El primero de ellos se presenta a lo largo de toda la costa. Su influencia llega hasta el interior hasta 40 km, por medio de valles transversales y quebradas. Su mayor característica es la abundante nubosidad, humedad, temperaturas moderadas, las cuales no presentan grandes contrastes térmicos diarios. El segundo tipo, estepa cálida se sitúa en el valle del río Elqui, donde la influencia oceánica tiende a desaparecer por sobre los 800 m y se caracteriza por la ausencia de nubosidad y sequedad del aire, por lo que el desarrollo de actividades astronómicas es considerable (observatorios Cerro Tololo, ESO, SOAR, Mamalluca, El Pangué, Cancana, Cerro Mayu, entre otros). Sus temperaturas son mayores en comparación a la costa, las precipitaciones no son tan abundantes y los períodos de sequía son característicos. Por último, el clima templado frío de altura se localiza en la cordillera de los Andes sobre los 3000 m con características de altas precipitaciones, temperaturas bajas, fuertes vientos y nieves permanentes, que constituyen un aporte significativo de agua en el período estival.

Respecto a las actividades económicas, principalmente se desarrollan actividades mineras y agrícolas. La actividad agrícola se desarrolla en el valle del río Elqui, donde sus principales cultivos son los de papaya, palta, chirimoya, higo, durazno y uva. Esta actividad ha dado origen a importantes plantas disecadoras de frutas y de producción de licores, como pisco, aguardiente y vino. En la cuenca existen dos cooperativas agrícolas que extraen su materia prima de las uvas tipo moscatel: Capel Ltda. y la Cooperativa Agrícola Control Pisquero de Elqui Ltda. La zona también es ampliamente utilizada para el pastoreo de ganados caprinos, bovinos y caballares. Con respecto a la actividad minera

de la cuenca, se puede decir que después del cierre de operaciones de la faena El Indio, la minería a nivel industrial se sitúa principalmente en Talcuna, Lambert y Andacollo. En Talcuna operan tres mineras, que son la Compañía Minera Linderos, Compañía Minera San Gerónimo y Compañía Minera Talcuna. En Lambert opera la Compañía Minera San Gerónimo y en Andacollo operan la Compañía Minera Carmen de Andacollo (cobre) y la Compañía Minera Dayton (oro).

Todos los cauces se encuentran sobre formaciones geológicas constituidas por depósitos no consolidados y rellenos de depósitos fluviales, gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación. Los alrededores de los cauces presentan una amplia gama de formaciones geológicas, siendo la más importantes desde el punto de vista de calidad de agua, las siguientes: sector Quebrada Santa Gracia y La Calèta, Quebrada Marquesa, Quebrada Las Cañas, Quebrada San Carlos, sector entre límite de la subcuenca de Quebrada Marquesa con la Quebrada Chacal, Quebrada Los Loros, Quebrada Uchumi, Quebrada Vega Negra, sector río Cochiguaz y San Andrés y sector estero Guanta. No existe influencia volcánica en esta zona.

En la parte alta de la cuenca destaca la existencia de permeabilidad muy baja debido a la existencia de rocas metamórficas y sedimentarias, volcánicas y plutónicas e hipabisales del período paleozoico, motivo por el cual el escurrimiento subterráneo ocurre paralelo a los cauces. Destacan claramente tres escurrimientos: uno en dirección SSO paralelo al río Turbio hasta el poblado de Rivadavia, con una profundidad promedio de 45 m y productividad de $50 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. este acuífero escurre a través de rocas de permeabilidad muy baja, encauzándose paralelo al río Turbio. En dirección S-N, por un lecho de rocas plutónicas escurren aguas subterráneas paralelas al río Claro o Derecho hasta la confluencia con el Turbio en Rivadavia. Desde Rivadavia hasta la desembocadura en La

Serena, el acuífero escurre en dirección E-O por depósitos no consolidados o rellenos con profundidades freáticas que varían de los 17 m a los 3 m, encajonados por rocas sedimentario-volcánicas de muy baja profundidad. En este sector del valle, el acuífero freático que se extiende ininterrumpidamente a lo largo de todo el valle, solamente muestra un leve grado de semiconfinamiento en el sector terminal (La Serena). Dicho acuífero presenta valores de transmisividad variables entre 4.200 y 100 m²/día, estimándose como valor medio unos 500 m²/día. Existe un último acuífero que escurre en dirección N-S paralelo a la cordillera de la Costa por rocas volcánico-sedimentarias del período cretácico, para unirse al flujo subterráneo principal en las cercanías de La Serena. En la parte alta de la subcuenca del río La Laguna existe el glaciar El Tapado, el cual tiene una superficie de 3,6 km² y su importancia desde el punto de vista hidrológico es su capacidad de almacenamiento de agua.

El uso agrícola de la cuenca comprende una superficie de 23.000 hectáreas cultivables, equivalentes al 3% de la superficie total. Según el censo agropecuario de 2007, alrededor de 20.479 Ha están destinadas a cultivos anuales y permanentes, y la superficie restante corresponde a praderas sembradas. Los terrenos agrícolas se presentan principalmente a lo largo del valle del río Elqui, aguas abajo de la localidad de Vicuña, hasta la desembocadura en La Serena. Estos terrenos se presentan únicamente en áreas aledañas a las terrazas fluviales de este cauce, mayoritariamente entre la localidad de Almendral y la ciudad de La Serena. En el sector alto del río (nacimiento en la confluencia de los ríos Turbio y Claro o Derecho), la superficie de terrenos agrícolas es muy reducida, pero se logra desarrollar una pequeña superficie en algunos sectores del río Claro o Derecho y el río Cochiguaz, afluente de este último. El sector agrícola más extenso e importante se localiza en las comunas de Coquimbo, La Serena y Vicuña.

Con respecto al uso de suelo de tipo urbano, se puede decir que es reducido. Comprende pueblos, ciudades e industrias, y sólo alcanza el 0,03% de la superficie total de la región. La población urbana se encuentra principalmente en La Serena, Vicuña y Andacollo, pero el centro urbano más importante de la cuenca es la ciudad de La Serena, que se encuentra emplazada en la zona costera de la desembocadura del río Elqui.

La superficie de la cuenca destinada a la actividad minera es reducida (menor a 156,25 Ha), pero de gran importancia económica. Existen numerosos yacimientos mineros cupríferos de pequeña envergadura distribuidos principalmente a lo largo de todo el cauce del río Elqui (aguas abajo de la localidad de Vicuña) y también en la zona norponiente y sur poniente de la cuenca.

1.4. Cuenca del río Limarí

La cuenca hidrográfica del río Limarí está ubicada en la región de Coquimbo, entre los valles de los ríos Elqui, por el norte, y Choapa, por el sur, abarcando una superficie aproximada de 11.800 km². El río Limarí se forma por la unión de los ríos Grande y Hurtado, de los cuales el primero tiene una hoya hidrográfica mayor y drena la parte sur de la cuenca, en tanto el segundo constituye el único y gran drenaje del sector norte de la cuenca. Los ríos Grande y Hurtado se juntan aproximadamente 4 km aguas arriba de la ciudad de Ovalle. A partir de la confluencia de ambos, toma el nombre de río Limarí, el que luego de recorrer alrededor de 60 km desemboca al mar en la localidad denominada Punta Limarí. El río Grande recibe una serie de afluentes de importancia, entre los cuales cabe mencionar los ríos Rapel, Mostazal y Huatulame. El escurrimiento del Huatulame está regulado por el embalse Cogotí. El río Hurtado no tiene afluentes de importancia y en su curso inferior se emplaza el embalse Recoleta. En la confluencia del río Huatulame con el río Grande se encuentra el embalse La Paloma.



La cuenca abarca a la provincia de Limarí. Posee una superficie de 1.176.000 Ha, equivalentes al 3% de la región, y entre las principales localidades, según el número de habitantes que se emplazan en la cuenca, se pueden mencionar Ovalle, Montepatria, Combarbalá y Punitaqui.

En relación al tipo de clima presente en la zona, en la cuenca del río Limarí se distinguen 3 tipos: semiárido con nublados abundantes, semiárido templado con lluvias invernales y semiárido frío con lluvias invernales. El clima semiárido con nublados abundantes se presenta a lo largo de toda la costa. Su característica principal es la abundante nubosidad, humedad y temperaturas moderadas, con un promedio de precipitaciones de 130 mm anuales y un período seco de 8 a 9 meses. El clima semiárido templado con lluvias invernales se caracteriza por ser un clima seco, donde no hay excedentes hídricos. El clima semiárido frío con lluvias invernales se presenta sobre los 3000 m de altitud en la cordillera de Los Andes y se caracteriza por presentar altas precipitaciones, temperaturas bajas y nieve permanente, lo que constituye un aporte significativo en el período estival.

La actividad principal en la cuenca es la agricultura y fruticultura. El sistema hidrográfico formado por el río Limarí y sus afluentes es el más importante del norte chico, desde el punto de vista de la agricultura, ya que con sus aguas se riegan más de 70.000 Ha, incluyendo aquellas que se sirven con los embalses La Paloma, Cogotí y Recoleta.

El valle del río Limarí, debido a su disponibilidad de suelos y aguas para riego, cuenta con una amplia diversidad de cultivos. En este valle se presentan importantes superficies de praderas bajo riego, específicamente establecidas en las terrazas altas, que permiten la existencia de ganadería mayor. Además, existe una abundante actividad hortícola, con alta especialización en cultivos de tomate y pimentón para primores, entre los más destacados.

Este valle también presenta una importante superficie de viñas, orientada principalmente a la elaboración de pisco y recientemente se ha producido una notable incorporación de vides para uva de mesa.

Entre las explotaciones mineras de mayor valor, se pueden mencionar algunas explotaciones de plata y cobre, además de yacimientos no metálicos, entre los que destaca el lapislázuli.

Todos los cauces se encuentran sobre formaciones geológicas constituidas por depósitos no consolidados y rellenos de depósitos fluviales, gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación. Los alrededores de los cauces presentan una amplia variedad de formaciones geológicas, siendo las más importantes, desde el punto de vista de calidad de aguas, las siguientes: subcuenca del río Huatulame, zona central de la cuenca, subcuencas del río Grande, alto y medio, quebrada Chacacos, sector río Ponio, parte alta río Hurtado y quebrada Flamenco.

La cuenca del río Limarí se extiende aproximadamente entre los 30°15' y 31°20' de latitud sur. En la parte alta destaca la existencia de permeabilidad muy baja. Las características de impermeabilidad de las rocas originan que el acuífero escurra paralelo a los cursos de agua. Destacan claramente 3 escurrimientos: uno en dirección SO que escurra paralelo al río Hurtado, con profundidades freáticas que van desde 2 hasta 3,6 m, hasta las cercanías de la localidad de Ovalle; otro en dirección ONO (por un lecho de rocas sedimentario-volcánicas del período cretácico terciario mixto y plutónicas del terciario), paralelo al río Grande hasta la confluencia con el río Hurtado en Ovalle. Destacan los bajos niveles freáticos de los acuíferos que van desde los 1,7 a 4,5 m, y el último, en dirección S-N, paralelo al río Combarbalá hasta el embalse La Paloma, por un

lecho de rocas impermeables, constituido de rocas sedimento-volcánicas con profundidades freáticas de 3 a 1,5 m.

El valle transversal del río Limarí se localiza al centro de la región de Coquimbo. La longitud del río mismo es de 64 km, en donde los primeros 43 km transcurren en una caja amplia de 2 o más km de ancho, donde desarrolla numerosos meandros, flanqueado por extensas planicies fluviales. Hacia la cordillera de los Andes se va encajonando, presentando laderas con pendientes muy abruptas, como producto del trabajo erosivo de la acción glacial y del agua. Al igual que la cuenca del río Elqui, esta cuenca también se encuentra dentro de la segunda agrupación regional de las planicies litorales y cuencas del sistema montañoso andino-costero.

En la parte central de la provincia del Limarí predominan los suelos pardocalcálicos de pH neutro o ligeramente alcalino. En el fondo de los valles y sus terrazas aledañas se desarrollan suelos donde la salinidad no tiene carácter restrictivo, representando un buen potencial, desde el punto de vista agrícola. Predominan los limos y sedimentos recientes en contraposición a los suelos de las terrazas superiores, que son más arcillosos. El uso del suelo de tipo agrícola en la cuenca comprende alrededor del 7% de la superficie total. Los terrenos agrícolas se presentan principalmente en el valle del río Limarí, en el sector de la ciudad de Ovalle, y aguas debajo de ésta hasta el estero Punitaqui, donde alcanzan las mayores superficies.

En la subcuenca del río Hurtado, aguas abajo del embalse Recoleta hasta la confluencia con el río Grande, también se presentan superficies de terrenos agrícolas, siendo éstas muy reducidas, en comparación a las existentes en el valle del cauce principal de la cuenca.

El sector agrícola más extenso e importante se localiza en las comunas de Ovalle, Monte Patria y Combarbalá, destacando las superficies de cultivos de forrajeras anuales y

permanentes en Ovalle, la superficie cultivada de frutales, viñas y parronales viníferos en la comuna de Monte Patriá y los cultivos frutales en Combarbalá. No se presenta uso de suelo para intereses forestales.

El uso del suelo de tipo urbano en la cuenca alcanza las 396 Ha, equivalentes al 0,03% de la superficie total. La población urbana se concentra mayoritariamente en Ovalle y en la localidad de Monte Patria. La población urbana total estimada de la cuenca emplazada en los principales centros urbanos es de 96.239 habitantes, según censo del año 2002. La ciudad se emplaza en la ribera norte del río Limarí, próximo a la confluencia de éste con los ríos Hurtado y Grande.

La superficie total de la cuenca destinada a la actividad minera es reducida, pero de gran importancia económica. Esta actividad se concentra principalmente en las subcuencas de los ríos Combarbalá y Hurtado, donde los principales minerales explotados corresponden al cobre y plata.

Las áreas bajo protección oficial correspondientes a esta cuenca son el Parque Nacional Fray Jorge y el Monumento Nacional Pichasca, ambos bajo supervisión de la Corporación Nacional Forestal, CONAF.

1.5. Los sedimentos

Los sedimentos proveen un hábitat para muchos organismos bentónicos y epibentónicos y son un componente importante de los ecosistemas acuáticos. También influyen en el destino ambiental de muchas sustancias tóxicas y bioacumulables en los sistemas acuáticos. Muchas sustancias forman asociaciones con el material particulado y son incorporados eventualmente al lecho de sedimentos (Allan 1986).

Consecuentemente, los sedimentos pueden actuar como fuentes a largo plazo de estas sustancias para el medioambiente acuático (Larsson 1985, Salomons y *col* 1987, Loring & Lantala 1992).

Los contaminantes químicos en sedimentos han sido asociados con un amplio rango de impactos sobre plantas y animales que viven en y sobre el lecho de sedimentos. En ensayos de toxicidad de laboratorios se han medido toxicidades agudas y crónicas de los productos químicos asociados en algas, invertebrados, peces y otros organismos (Thomas y *col* 1986, Kosalwat & Knight 1987, Dawson y *col* 1988, Long & Morgan 1990, Burton 1991, 1992, Burton y *col* 1992, Lamberson y *col* 1992). Estudios de campo han identificado efectos más sutiles de contaminantes ambientales, como el desarrollo de tumores y otras anormalidades en peces que se alimentan del lecho (Malins y *col* 1985, Goyette y *col* 1988). Los químicos asociados a sedimentos tienen también el potencial de acumularse en los tejidos de organismos acuáticos (Foster y *col* 1987, Knezovich y *col* 1987). Concentraciones elevadas en los tejidos de organismos bentónicos, entre otros, pueden resultar en la bioacumulación de químicos en altos niveles de la cadena trófica. Esta bioacumulación presenta un riesgo potencial para especies silvestres sensibles, aves y humanos que confían en estos organismos como alimento. Las descargas continuas de químicos al medioambiente como consecuencia de las actividades humanas han resultado en variados grados de contaminación a lo largo de las cuencas del mundo (Waldichuk 1988, Goyette & Boyd 1989, Allan & Ball 1990, Trudel 1991, Wells & Rolston 1991). Debido a que los sedimentos tienden a integrar las entradas de contaminantes la mayoría del tiempo, ellos representan peligros significativamente potenciales a la salud de organismos acuáticos y de los ecosistemas acuáticos.

Tanto Canadá (a través del Consejo Canadiense de Ministros para el Medio Ambiente, CCME), como los Estados Unidos de América (por medio de la Administración

Nacional Oceánica y Atmosférica, NOAA) a finales de la década de 1980 y comienzos de 1990 crearon guías de calidad de sedimentos pertenecientes a aguas continentales y marinas, respaldadas principalmente por diversos estudios realizados. En la actualidad, las principales referencias en la década de 2010 están basadas en los últimos trabajos de MacDonald y col (2000, 2006), quien establece límites de concentraciones de metales pesados en sedimentos de aguas dulces superficiales, basados en efectos observados en especies bentónicas y epibentónicas (i e, *Hyalella azteca*). A partir de ello, define niveles de efectos bajos o umbrales (en inglés, Threshold Effect Level, *TEL*) y probables (Probably Effect Level, *PEL*), en los cuales las toxicidades para organismos bentónicos y epibentónicos son improbables y probables, respectivamente, basados en parámetros tales como reproducción, crecimiento, mortalidad, etcétera. Existe un aumento incremental en la toxicidad, como el aumento de las concentraciones de contaminantes entre el *TEL* y el *PEL*, aunque los valores numéricos específicos en relación con el grado de toxicidad no se pueden obtener. Con base en los intervalos de concentración en relación con los valores de *TEL* y *PEL*, se ha desarrollado un sistema de descriptores cualitativos para ser utilizado para proporcionar una base común de expresar niveles relativos de preocupación con el aumento de las concentraciones de contaminantes. Los niveles resultantes de interés se pueden usar para clasificar y dar prioridad a los sitios para las etapas de investigación adicionales.

Para cada químico, el nivel de efecto umbral funcionales (*TEL*) es calculado como la raíz cuadrada del producto (i e, la media geométrica) de la concentración del percentil 15 inferior del conjunto de datos de efecto biológico y la concentración del percentil 50 del conjunto de datos de no-efecto (es decir, $\sqrt{E_{15} \cdot NE_{50}}$). Este *TEL* es usado para calcular consistentemente un rango de concentraciones químicas de sedimento que está dominado por las entradas de datos de no-efecto (i e, efectos biológicos adversos que no son nunca o casi nunca observados bajo el *TEL*). A continuación se calcula el *PEL*, que

representa el límite inferior del rango de concentraciones químicas que están siempre o usualmente asociadas con efectos biológicos adversos.

Los sedimentos con concentraciones químicas medidas que son iguales o menores al PEL son considerados que representan un peligro potencial para organismos expuestos. Aunque los efectos biológicos adversos son posibles dentro de este rango de concentraciones, su ocurrencia, naturaleza y severidad son difíciles para predicciones fiables sobre una base *a priori*.

Sedimentos con concentraciones químicas mayores que el PEL son consideradas representativas de peligros significativos e inmediatos para organismos expuestos. Sedimentos con uno o más químicos que caen dentro de este rango de concentraciones deberían ser considerados de más alta prioridad para acciones de gestión adecuadas para mejorar la calidad de sedimentos y restaurar el nivel de protección deseado, si es necesario. La evaluación biológica es recomendada en estos sitios para determinar la naturaleza y extensión de efectos que han sido manifestados como resultado de los contaminantes asociados a sedimentos.

De los estudios realizados a contaminantes presentes en sedimentos, sólo se conocen efectos de TEL y PEL en una minoría de metales pesados: cobre, hierro, manganeso, níquel, zinc, arsénico, plomo, cadmio, cromo, plata, antimonio y mercurio (MadDonald y *col* 2006). Los valores para cada metal en cada intervalo son descritos en la tabla 2.

Tabla 2. Descripción y cuantificación de indicadores para sedimentos de agua dulce (en mg/kg peso seco). MacDonald y col 2006.

Sigla	Descripción	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	As	Pb	Cd	Cr	Ag	Hg
TEL	Representa la concentración bajo la cual se espera que efectos adversos ocurran raramente	32,00	20000,00	460,00	23,00	120,00	9,80	36,00	0,99	43,00	23,00	0,18
PEL	Representa la concentración sobre la cual se espera que efectos adversos ocurran frecuentemente	150,00	40000,00	1100,00	49,00	460,00	33,00	130,00	5,00	110,00	49,00	1,10

1.6. Validación de los métodos analíticos

La meta final de la validación de un método analítico es asegurar que toda medición futura en análisis de rutina será lo suficientemente cercano al valor verdadero desconocido para el contenido de un analito en una muestra. En consecuencia, los objetivos de la validación no son simplemente obtener estimativos de veracidad o parcialidad y precisión, sino que también evaluar aquellos riesgos que pueden ser expresados por la incertidumbre de las mediciones asociadas con el resultado. La exactitud comprende dos componentes: veracidad y precisión (ISO 5725); pero, en lugar de evaluar ambos componentes independientemente, es posible evaluar la exactitud de un modo global, de acuerdo a los conceptos de perfiles de límites de aceptabilidad y exactitud. La validación del método, junto a la incertidumbre de la medición o la estimación del perfil de exactitud, puede entregar una forma de comprobar si un método analítico está montado correctamente para el propósito de cumplir con los requisitos legales.

Según la norma ISO 17025 (acreditación de laboratorios de ensayo y calibración), los laboratorios deben validar todos los métodos que se utilicen en el laboratorio, tanto los desarrollados por ellos mismos como aquellos precedentes de fuentes bibliográficas o

desarrolladas por otros laboratorios. Además, también es necesario que el laboratorio valide los métodos de referencia aunque, en este caso, no es necesario que el laboratorio realice una validación completa. Asimismo, el laboratorio debe validar todo el procedimiento analítico, teniendo en cuenta el intervalo de concentraciones y de matrices de las muestras de rutina. Los criterios de calidad que al menos deben verificarse son la exactitud, precisión y la incertidumbre de los resultados obtenidos con el método ya que, de esta forma, se obtienen resultados rastreables y comparables.

1.7. Espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente

La espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (del inglés *Inductively Coupled Plasma / Optical Emission Spectrometry*) es conocida como ICP-OES. Es una de las herramientas analíticas más poderosa y popular para la determinación de elementos traza de un gran número de tipos de muestra. La técnica está basada en la emisión espontánea de fotones de iones y átomos que han sido excitados por una descarga de radiofrecuencia (RF). Las muestras líquidas y gaseosas pueden ser inyectadas directamente al instrumento, mientras que las muestras sólidas requieren extracción o digestión ácida para que así los analitos estén presentes en solución. La solución de la muestra es convertida en un aerosol y dirigida hacia el canal central del plasma. En su núcleo, el plasma de acoplamiento inductivo (ICP) sufre un aumento de temperatura de aproximadamente 10000 K, por lo que el aerosol se vaporiza rápidamente. Los elementos del analito son liberados como átomos libres en estado gaseoso. Colisiones posteriores de excitación dentro del plasma imparten energía adicional a los átomos, llevándolos a estados excitados. Existe energía disponible suficiente a menudo para convertir a los átomos en iones, y posteriormente, estos iones a

estados excitados. Ambas especies, iones y átomos excitados, pueden luego relajarse al estado fundamental a través de la emisión de un fotón. Estos fotones poseen energías características que son determinadas por la estructura de los niveles de energía cuantizados de los átomos o iones. Por lo tanto, la longitud de onda de los fotones se puede utilizar para identificar los elementos de los que son originarios. El número total de fotones es directamente proporcional a la concentración del elemento originario de la muestra.

La instrumentación asociada con un sistema ICP-OES es relativamente simple. Una porción de los fotones emitidos por el ICP se recoge con una lente o espejo cóncavo. Esta óptica de enfoque forma una imagen del ICP en la abertura de la entrada de un dispositivo de selección de longitud de onda, como un monocromador. La longitud de onda particular que sale del monocromador se convierte en una señal eléctrica mediante un fotodetector. La señal es amplificada y procesada por la electrónica del detector, luego mostrada y almacenada por un computador.

Las principales ventajas analíticas del ICP por sobre otras fuentes de excitación se originan a partir de su capacidad para la eficiencia y vaporización, atomización, excitación y ionización reproducible para un gran rango de elementos en varias matrices de muestra. Esto es debido principalmente a su alta temperatura, 6000 – 7000 K, en las zonas de observación del ICP. Esta temperatura es mucho mayor que las temperaturas de hornos o llamas (3300 K). La alta temperatura del ICP también lo vuelve capaz de excitar elementos refractarios. Otras fuentes basadas en descargas eléctricas, tales como arcos y chispas de corriente alterna y continua también poseen altas temperaturas para la excitación e ionización, pero el ICP suele entregar menor ruido y es capaz de manejar mejor las muestras líquidas. Además, el ICP es una fuente de electrodos, de modo que no hay contaminación proveniente de las impurezas presentes en el material del electrodo. A continuación, se presenta una lista de características beneficiosas del ICP.

- Alta temperatura (7000 – 8000 K)
- Alta densidad de electrones ($10^{14} - 10^{16} \text{ cm}^{-3}$)
- Grado de ionización apreciable para muchos elementos
- Capacidad de multielemento simultánea (sobre 70 elementos, incluyendo P y S)
- Baja emisión de fondo, y relativamente baja interferencia química
- Alta estabilidad que conlleva a precisión y exactitud excelentes
- Excelentes límites de detección para la mayoría de los elementos (0,1 – 100 ng mL⁻¹)
- Aplicable a elementos refractarios

Por otro lado, las principales desventajas del instrumento son:

- Por lo menos para un número limitado de 10 elementos, el tiempo de análisis total requerido por el ICP-OES es mayor frente a otras técnicas, debido al tiempo de equilibrado mucho más corto requerido para un típico quemador de EEA después del cambio de la solución de muestra si se compara con aquel requerido para cámaras de pulverización utilizadas en la ICP-OES.
- Otra desventaja de la técnica de ICP-OES es el espectro lleno de líneas, lo cual da lugar a una mayor posibilidad de interferencias espectrales.
- Los costes de funcionamiento, debido a que se necesita de un presupuesto alto para el laboratorio.

1.8. Espectrometría de absorción atómica con vapor frío

La determinación de ultratrazas de mercurio en solución acuosa por absorción atómica se basa en su reducción mediante un agente reductor adecuado para el elemento

de conexión y transporte de la forma vaporizada del elemento a través de una corriente de gas inerte en una celda de cuarzo a una temperatura ambiente (en lugar de la cabeza del quemador utilizado en la espectrometría de absorción atómica de llama). Una lámpara de cátodo hueco se puede utilizar, pero para maximizar la sensibilidad, una lámpara de mercurio de descarga sin electrodos más intensa se utiliza para generar fotones de luz de longitud de onda específica. Los átomos en estado fundamental de mercurio en la celda de cuarzo absorben la luz de longitud de onda específica emitida por la lámpara de descarga sin electrodos. La calibración se lleva a cabo de la manera normal, mediante la comparación de la absorbancia de la muestra con los estándares de calibración de mercurio conocidas (el método de adición estándar también puede ser utilizado).

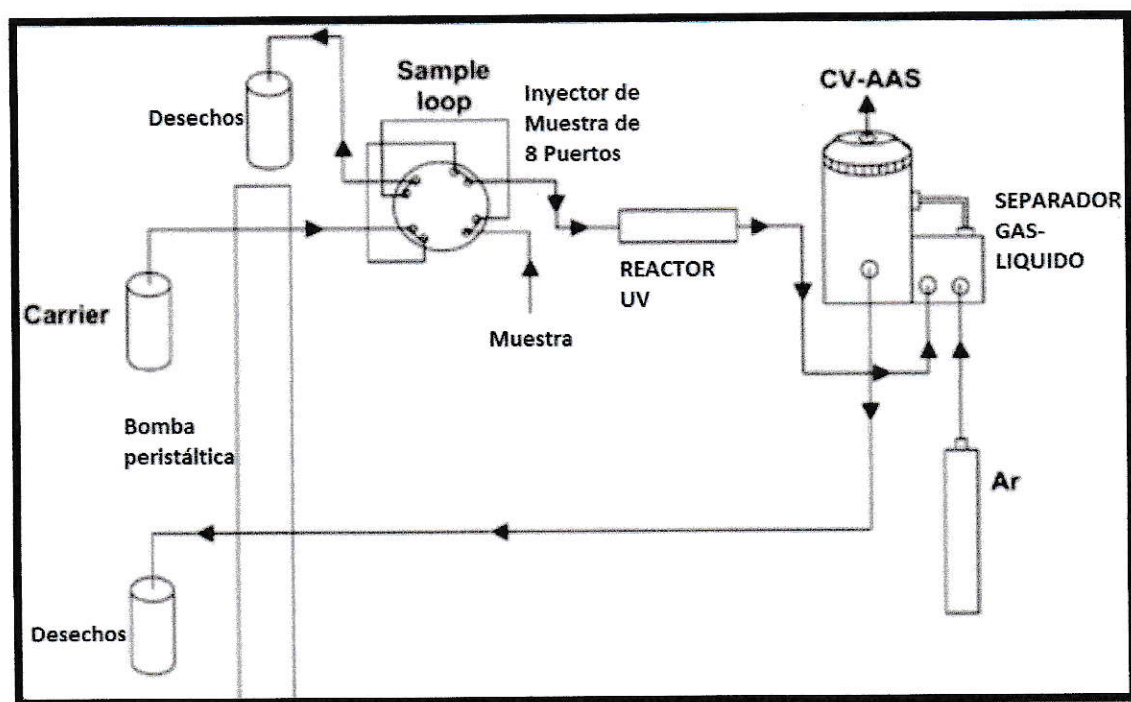


Figura 1: Diagrama de un espectrómetro de absorción atómica con vapor frío.

Analizadores de mercurio comercialmente disponibles basados en fluorescencia atómica o fusión con una película de oro pueden ser sustituidos si se valida el método de ensayo. Se debe tener cuidado para protegerse contra la contaminación de las muestras y

soluciones de mercurio. Recipientes de vidrio ser lavados con ácido nítrico (1 + 3), seguido de un enjuague a fondo con agua antes del análisis. Sin embargo, utensilios de plástico dedicados o Teflón son altamente recomendables para este tipo de análisis.

Se llevan a cabo todos los preparativos bajo campana. Las muestras se preparan normalmente en un conjunto de tres matraces volumétricos de 100 mL que contienen tamaños de muestras. A continuación se añaden iones de mercurio en el segundo y tercer matraces. Utilizar reactivos ultrapuros, incluyendo agua ultrapura. Si es necesario, ajustar el peso de la muestra y el volumen final de acuerdo con la sensibilidad del sistema de análisis de mercurio. El manual del fabricante puede sugerir sensibilidad o guías generales.

Transferir la solución de la muestra, o una alícuota de la misma, al recipiente de aireación antes de la adición de cualquier agente reductor. Si la muestra ha sido tratada con permanganato, enjuagar el recipiente con la cantidad indicada de la solución de reactivo clorhidrato de hidroxilamina y agregar el enjuague del recipiente de aireación con agua suficiente para elevar el nivel de la línea de calibración. Ajustar el instrumento para dar una línea de base lisa por el gas portador que fluye a través del *bypass* y enfocar la radiación de la línea de resonancia de mercurio a 253,7 nm a través de la celda sobre el detector. Introducir una solución de cloruro de estaño, como se especifica en el recipiente de aireación (generalmente solución de reactivo de cloruro de estaño 2,5%, pero siguiendo el procedimiento recomendado por el manual del fabricante), y ajustar la válvula para dirigir el gas portador a través del vaso y de la celda. Dejar que el burbujeo continúe hasta que el instrumento vuelva a su punto cero.

1.9. Interrogante en Estudio.

Ante la falta de normativas en Chile que apunten al monitoreo y control de sedimentos fluviales, sumado al aumento en los últimos años de estudios científicos en nuestro país, las interrogantes que prosiguen son variadas, que parten desde la metodología de análisis hasta las acciones realizadas por el Poder Ejecutivo en torno a la información obtenida. Entre otras,

- ¿Existe un consenso en la metodología aplicada para el análisis de metales pesados presentes en sedimentos?. *A priori*, la mayoría de los estudios realizados están basados en análisis por espectrofotometría de absorción atómica, el cual es uno de los métodos más usados en laboratorio. Sin embargo, el presente trabajo intenta mostrar que la cuantificación de metales pesados presentes en sedimentos también puede obtener buenos resultados por ICP-OES.

- ¿Cómo saber si el sedimento está o no contaminado?. Muchos de los informes muestran sólo los niveles presentes de componentes en los sedimentos, sin concluir fehacientemente si existe o no un nivel de contaminación. A partir de los trabajos realizados por MacDonald y Long, en donde se definen diferentes niveles de cargas contaminantes, únicas para cada metal pesado analizado, es posible definir una posible contaminación. Aunque sólo existen niveles definidos para 11 metales, estos resultan ser aquellos que presentan altos grados de toxicidad para la biota. A partir de ello, el presente trabajo se enfoca en los niveles TEL (Nivel de efecto umbral) y PEL (nivel de efecto probable). Una vez obtenidos los resultados, y basados en ambos criterios anteriores, es posible obtener una calificación, la cual posteriormente puede ser integrada a la información disponible de Estado Ecológico de los cuerpos de agua en estudio.

OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Complementar la evaluación del estado ecológico de las cuencas de los ríos Huasco, Elqui y Limarí con resultados de parámetros químicos en aguas y sedimentos de dichas zonas.

2.2 Objetivos Específicos

- Validar la determinación de metales en aguas superficiales con espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente y espectroscopia de absorción atómica con vapor frío
- Determinar las concentraciones de metales en muestras de sedimentos procedentes de las cuencas de los ríos Huasco, Elqui y Limarí,
- Inferir a través de los resultados logrados, el estado de la evaluación ecológica de las cuencas en estudio.

II MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Selección de Puntos de Muestreo

Se seleccionó, en general, estaciones de muestreo que cumplieran 3 requisitos: pertenecer a la red de monitoreo de la DGA, haber sido componentes del estudio de evaluación del estado ecológico previo en las cuencas de los ríos Huasco, Elqui y Limarí y pertenecer a las zonas de monitoreo establecidas por los anteproyectos de norma de estas 3 cuencas.

2.1.1 Cuenca del río Huasco

Las muestras de aguas superficiales y sedimentos fueron coleccionadas en campaña en agosto de 2012, en situación de alto caudal. Las coordenadas UTM se presentan a continuación.

Tabla 3: Puntos de muestreo cuenca del río Huasco. Huso 19J

Código Área de Vigilancia	Nombre de Estación	UTM Norte	UTM Este
CO10	Río Conay en Las Lozas	6797502	395687
CH10	Río Chollay antes de Río Conay	6793254	386339
TR10	Río Tránsito antes junta Río Carmen	6818734	355217
PO20	Río Potrerillos	6752722	373646
CA10	Río Carmen en Ramadillas	6818761	354837
HU20A	Río Huasco en Santa Juana	6827205	339120
HU20B	Río Huasco en Panamericana	6838075	324319
HU30A	Río Huasco en puente Nicolasa	6844398	303638
HU30B	Río Huasco en Huasco Bajo	6849338	286712
HU30C	Río Huasco en Quebrada El Negro	6845217	293868

2.1.2 Cuenca del río Elqui

Las muestras de aguas superficiales y sedimentos fueron coleccionadas en campaña en agosto de 2012, en situación de alto caudal. Las coordenadas UTM se presentan a continuación.

Tabla 4: Puntos de muestreo cuenca del río Elqui. Huso 19J

Código Área de Vigilancia	Nombre de Estación	UTM Norte	UTM Este
MA10	Río Malo antes de junta Río Vacas Heladas	6691143	398488
VH10	Río Vacas Heladas antes de junta Río Malo	6691479	398865
RT10	Río Toro antes de Río La Laguna	6683808	394644
LA10	Río La Laguna antes de junta Río Toro	6682894	394690
TU10	Río Turbio después de Río Toro y Río La Laguna	6683742	392477
TU20	Río Turbio en Varillar	6686388	351733
IN10	Río Incaguaz antes de Río Turbio	6683742	379576
CD10	Estero Derecho en Alcohuaz	6655800	356281
CD20	Río Claro en Rivadavia	6682461	350119
EL10A	Río Elqui en Algarrobal	6680100	346938
EL10B	Río Elqui en Vicuña	6675967	332511
EL10C	Río Elqui antes Puclaro	6677194	326284
EL20	Río Elqui en Almendral	6681780	316861
EL30	Río Elqui en La Serena	6690802	283400
ED1	Río Elqui en desembocadura	6690758	281176

2.1.3 Cuenca del río Limarí

Las muestras de aguas superficiales y sedimentos fueron coleccionadas en campaña en agosto de 2012, en situación de alto caudal. Las coordenadas UTM se presentan a continuación.

Tabla 5: Puntos de muestreo cuenca del río Limarí. Huso 19J

Código Área de Vigilancia	Nombre de Estación	UTM Norte	UTM Este
RH1b	Afluente Río Hurtado	6625836	334341
RH2B	Río Hurtado en Angostura de Pangué	6630573	307322
RM1	Río Mostazal en Cuestecilla	6589919	345674
RR1	Río Rapel en El Palomo	6597597	344641
RG1	Río Grande en Las Ramadas	6567575	3487727
RG2C	Río Grande en Puntilla San Juan	6601175	315540
RB1	Río Combarbalá en Ramadilla	6543671	314974
RC1	Río Cogotí en Fraguita	6556089	320066
RC2	Río Cogotí entrada embalse Cogotí	6564645	305104
RU1	Río Huatulame en el Tomé	6590172	311184
RL1A	Río Limarí en Panamericana	6604261	257375
RL1B	Río Limarí en Ovalle	6608992	276862
RL1C	Río Limarí en Montepatria	6603042	303592
RL1D	Río Limarí en desembocadura	6596952	245026
EP1B	Estero Punitaqui antes de junta con río Limarí	6602555	258712

2.2 Toma de Muestras

La toma de muestra de aguas superficiales se realizó considerando el protocolo recomendado por el Instituto de Salud Pública de Chile (ISP) y las normas NCh411/2 Of 97, "Calidad del agua – Muestreo – Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo" y NCh411/3 Of 96, "Calidad del agua – Muestreo – Parte 3: Guía sobre preservación y manejo de las muestras", en donde para la medición de mercurio la muestra fue puesta en un envase de vidrio previamente lavado con solución de HNO_3 (1:1), enjuagado con agua de grado reactivo y secado hasta 70°C . La muestra fue refrigerada a 3°C , acidificada con HNO_3 concentrado hasta $\text{pH}<2$ y cerrada herméticamente. El envase para la medición de metales en general fue de plástico, con tapa rosca de poliestireno de alta densidad, previamente lavado con solución de HNO_3 (1:1), enjuagado con agua de grado reactivo y secado hasta 70°C . Además, es rotulado con códigos internos de CENMA. Para el análisis de metales disueltos, se filtró la muestra inmediatamente por filtro de $0,45\ \mu\text{m}$ de membrana de acetato de celulosa y acidificada con HNO_3 concentrado hasta $\text{pH}<2$.

La toma de muestra de los sedimentos se realizó tomando el cuenta el protocolo para sedimentos (Simpson S.L. y col, 2005), donde se establece que las muestras deben ser coleccionadas con palas plásticas, en la zona superficial del sedimento, en el estrato no superior a 10 cm de profundidad y a un ámbito de distancia de 1 km de distancia del sitio de muestreo. Las muestras se almacenaron en recipientes de polietileno, los cuales fueron lavados siguiendo el protocolo de lavado de laboratorio, con el fin de no alterar las características fisicoquímicas de los sedimentos.

2.3 Tratamiento de Muestras

2.3.1 Aguas Superficiales

Para la validación del método, la matriz a utilizar corresponde a aguas superficiales de los ríos pertenecientes a las cuencas del río Huasco. A partir de dicha matriz, la cual fue acidificada hasta $\text{pH} < 2$ con HNO_3 al muestrear, se generaron dos subconjuntos: el primero (ASCD), el cual fue sometido a digestión ácida por vía microondas y un segundo grupo (ASSD), que no fue sometido a digestión. El alcance del análisis de las muestras con digestión apunta a la obtención de concentraciones de metales totales, mientras que las muestras sin digestión entregarán información de concentración de metales disueltos en la matriz. Junto con dichas muestras se dispuso de soluciones fortificantes bajas (soluciones enriquecidas de 0,15 mg/L) y altas (soluciones enriquecidas de 0,80 mg/L).

Además, se dispuso de soluciones estándar de diferentes concentraciones para cada metal, para obtener curvas de calibración; soluciones para contrarrestar los efectos de interferentes como calcio, magnesio, sodio y potasio; soluciones de revisión (check interferentes) para el instrumento, junto con estándares internos.

La digestión de la muestra se realizó siguiendo el protocolo establecido (EPA Method 3015A). Este método permite un mayor control sobre la temperatura de la muestra y velocidad de calentamiento en comparación con una digestión directa sobre placas calefactoras. De este modo, la digestión en recipientes cerrados asegura que los análisis de elementos trazas sean exactos y precisos, junto con evitar la pérdida de elementos volátiles durante la digestión: mercurio, arsénico, antimonio, selenio, boro y cromo.

La digestión se realiza utilizando $4,0 \pm 0,1$ mL de HNO_3 concentrado ultrapuro, $1,0 \pm 0,1$ mL de HCl concentrado (ambos con calidad Merck®) y 45 mL de muestra de agua superficial acidificada al muestrear. La adición de ácido clorhídrico es apropiada para la estabilización de ciertos analitos, tales como plata, bario y antimonio y concentraciones altas en solución de hierro y aluminio. La mezcla de ácidos nítrico y clorhídrico más la alícuota de la muestra se realiza en vasos de teflón previamente rotulados de 55 mL de capacidad. Una vez sellados los tubos y dispuestos en el plato giratorio se inicia el proceso de digestión, de acuerdo a las condiciones descritas en la siguiente tabla.

Tabla 6: Programa de digestión de muestras de aguas superficiales. Horno microondas Milestone, MLS-1200 Mega

Etapa	Potencia máx (W)	Potencia (%)	Rampa (min:seg)	Temperatura (°C)	Enfriamiento (min:seg)
1	800	100	10:00	170	10:00

Bajo dicho procedimiento, la presión alcanzada hasta los primeros 10 minutos llega a casi 15 atm. Una vez terminado el programa, las muestras se deben dejar enfriar dentro del microondas por 10 minutos o hasta alcanzar la temperatura ambiente. Ya alcanzada, la muestra se transfiere a contenedores previamente lavados y libres de ácido. Si la muestra llegase a contener partículas, ésta puede ser centrifugada por 10 minutos a 2000 – 3000 rpm y filtrada a un segundo contenedor libre de ácidos, con lo que queda disponible para ser analizada. Se recomienda utilizar diluciones conocidas de la muestra para ser analizada por ICP-MS. El mismo procedimiento se realiza para las muestras fortificadas.

2.3.2 Sedimentos

El tratamiento de las muestras de sedimentos se efectúa siguiendo las recomendaciones del método EPA "Method 3051A : Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils". Por lo tanto, la fracción total de las muestras de sedimentos son sometidas a una digestión ácida por vía microondas. La digestión en horno microondas consiste esencialmente en tratar la muestra con ácidos y someterla a una presión y temperatura controladas en el horno, lo que propicia la disolución de la muestra. Ésta técnica en sistema cerrado se caracteriza por disminuir los tiempos de digestión, las cantidades de ácido utilizadas son menores y el analista ve reducidos los peligros al utilizar mezclas ácidas potencialmente explosivas.

Para ello, las muestras de sedimentos son retiradas de la cámara de frío hasta que alcance la temperatura ambiente. Posteriormente se extrae una porción de muestra tal que sea suficiente para el análisis y para repetir el ensayo, de ser requerido. La muestra se seca a 40°C por al menos 6 horas. Los vasos de teflón que sirven como receptores de la muestra son rotulados con un lápiz apropiado para altas temperaturas y ambiente ácido, con los códigos de las muestras.

A continuación, se masa aproximadamente 0,5 g de la muestra que ha sido previamente secada y enfriada a temperatura ambiente con exactitud de 0,0001 g. La muestra se masa sobre un papel de superficie lisa (weighing paper) u otro medio inerte que permita que la muestra quede en el fondo del vaso. Luego, se agregan 3 mL de HNO₃ 65% y 3 mL de HF, calidad Merck®. Tapar y poner los vasos en el rotor de digestión. Se deben completar todos los espacios del rotor con vasos para mantener el equilibrio. Posteriormente se selecciona el programa de digestión, de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 7: Programa de digestión de muestras de sedimentos y lodos. Horno microondas Milestone, MLS-1200 Mega

Paso	Tiempo (min)	Potencia (W)
1	6	250
2	6	400
3	6	650
4	6	250
Venteo	5	0

Una vez terminado el programa se deja enfriar el rotor con las muestras en baño de agua por 20 minutos, aproximadamente. Luego, los vasos de teflón son retirados del rotor bajo campana, para ser puestos sobre placa calefactora a 100°C con el fin de reducir el volumen de la muestra a 1 mL. La muestra no se debe secar.

Una vez obtenido el volumen pretendido, se filtra en papel 5B, procurando que la muestra sea transferida cuantitativamente desde el vaso de teflón al matraz de aforo. Las paredes del vaso son limpiadas con ácido nítrico al 1% mediante una piseta y con esto se afora al matraz a 25 mL. Luego la solución debe ser homogeneizada.

Una vez homogeneizada la muestra, ésta se transfiere a frascos rotulados con los códigos de las muestras, para lectura directa por ICP.

2.3.3 Estándares de Calibración de Muestras Acuosas

En relación a los estándares de calibración, se utiliza como multiestándar "High Purity Standard" Cat # CWW-TM-D Trace Metals in certified wastewater (QCS-26)®. Sin embargo, el laboratorio dispone de otros multiestándares de calibración. De forma general, la preparación de estándares de calibración es la siguiente:

- El matraz a emplear en la preparación del multiestándar debe estar previamente lavado con ácido nítrico al 10%, dejándolo remojar en esta solución ácida por 24 horas. Luego, debe ser enjuagado tres veces con abundante agua desionizada.

- Posteriormente, se toma una alícuota de acuerdo a la tabla 8, para aforar con agua desionizada calidad nanopure (18,0 MΩ-cm).

Tabla 8: Curva de calibración para análisis de muestras de matrices acuosas

Diluciones de multiestándar para preparación de curva de calibración High Purity Standard (QCS-26)®			
Punto	Alícuota Solución Multiestándar (µL)	Aforo Final (mL)	Concentración Final (mg/L)
0	0	100	0,000
1	100	100	0,100
2	250	100	0,250
3	500	100	0,500
4	750	100	0,750
5	1000	100	1,000
6	2500	100	2,500
7	5000	100	5,000

El estándar de curva de calibración de concentración 1,000 mg/L se utiliza como estándar de recalibración en la lectura de las muestras, si se produce una disminución superior al 25% de la concentración esperada para el material de referencia de control instrumental, que se describe a continuación.

2.3.4 Estándares de Calibración de Matrices Sólidas

La preparación de la curva de calibración para matrices sólidas es la misma utilizada para la cuantificación de metales en matrices líquidas, agregándole 3 puntos más para Cu, Fe y Al.

Los estándares de calibración usados para la cuantificación de estos 3 analitos son "Copper Cu" Assurance Cat # PLCU2-3X, "Iron Fe" Assurance Cat # PLFE2-3X y "Aluminium Al" Assurance Cat # PLAL2-3X, respectivamente.

La razón es que dichos analitos presentan elevadas concentraciones, producto de constituir los macro componentes de los suelos, los cuales al ser sometidos a las condiciones de digestión, son liberados.

La curva de calibración se prepara de acuerdo al esquema de la tabla 9.

Tabla 9: Curva de calibración para muestras correspondientes a matrices sólidas, suelos, lodos y sedimentos.

Diluciones de Multiestándar para preparación de Curva de Calibración High Purity Standard (QCS-26)®/Assurance Cu, Fe, Al®			
Punto	Alícuota Solución Multiestándar (µL)	Aforo Final (mL)	Concentración Final (mg/L)
1	0	100	0,00
2	100	100	0,10
3	250	100	0,25
4	500	100	0,50
5	750	100	0,75
6	1000	100	1,00
7	5000	100	5,00
8	10000	100	10,00
9	50000	100	50,00
10	100000	100	100,00

El estándar de la curva de calibración de 1,00 mg/L se utiliza como estándar de recalibración en la lectura de las muestras.

2.3.5 Material de Referencia de Control Instrumental

Para la preparación del material de referencia de control instrumental se utiliza la solución multiestándar "High Purity Standard" Cat # ICP-200.7-5 EPA Method 200.7 Standard 5 (QCS-26). Los detalles de la preparación del material de referencia se indican en la tabla 10.

Tabla 10: Preparación de material de referencia de control instrumental

Alicuota Solución Multiestándar (mL)	Aforo Final (mL)	Analito	Concentración Final (mg/L)
3,0	100	Cd	0,300
		Zn	0,750
		Cr	0,750
		As	0,750
		Cu	0,750
		Ni	0,750
		Pb	0,750
		Al	0,750
		Se	0,750
		Mn	0,750
		Ag	0,075
		V	0,300
		Ba	0,750
		Co	0,300
		Mo	0,300
		Be	0,150
		B	0,750
		Fe	0,750
		Sb	0,750
		Si	0,750
Ti	0,750		
Tl	0,750		

Para el análisis de muestras es necesario verificar que las concentraciones medidas se encuentren dentro del intervalo de la curva de calibración. No se permite extrapolar valores más allá de dicha curva. En caso de que los valores de concentración de las muestras se encuentren fuera del rango de la curva, se efectuarán las diluciones necesarias y se repetirá la lectura de todas las muestras diluidas, considerando este paso en los cálculos posteriores.

La curva de calibración se debe realizar para cada serie de análisis. En la secuencia de análisis, se incluye la medición del material de referencia de control instrumental cada 20 lecturas distribuidas dentro de toda la secuencia.

En los casos en que se efectúe el reemplazo de piezas, se realicen alineaciones, movimientos, puesta a punto o limpieza de la antorcha y/o piezas internas, o cuando se realicen mantenciones, se deben realizar las pruebas de “rendimiento y calibración de ICP” y posteriormente se debe llenar el registro respectivo.

2.3.6 Material de Referencia de Lectura

En relación a la preparación del material de referencia de lectura, se utiliza como solución multiestándar “High Purity Standard” Cat # ICP-200.7-5 EPA Method 200.7 Standard 5 (QCS-26). Los detalles de la preparación del material de referencia se muestran en la tabla 11.

Tabla 11: Preparación de material de referencia de lectura

Diluciones de Multiestándar para preparación de Material de Referencia HIGH PURITY ICP-200.7-5®						
Alícuota (mL)	Solución Multiestándar	Aforo (mL)	Final	Analito	Concentración (µg/L)	final
3,2		200		Cd	160	
				Zn	400	
				Cr	400	
				As	400	
				Cu	400	
				Ni	400	
				Pb	400	
				Al	400	
				Se	400	
				Mn	400	
				Ag	40	
				V	160	
				Ba	400	
				Co	160	
				Mo	160	
				Be	80	
				B	400	
Fe	400					

Para el análisis de muestras es necesario verificar durante el análisis que las muestras se encuentren dentro del rango de la curva de calibración. No se permite extrapolar valores en la curva de calibración. En caso de que los valores de concentración

de las muestras se encuentren fuera del rango de la curva, efectuar las diluciones necesarias y repetir la lectura.

2.3.7 Solución Revisión de Interferentes

Para la preparación de la solución Revisión de Interferentes, se utiliza como solución multiestándar "Interference Check Standard 18" Cat # N9300205, con el fin de verificar que los intervalos de correcciones "background" han sido realizadas. Los detalles de la preparación de la solución Check Interferentes se muestran en la tabla 12.

Tabla 12: Preparación de solución Check Interferentes

Diluciones de Multiestándar para preparación de material de solución estándar Check Interferente 18 PERKIN ELMER®					
Alícuota Solución Multiestándar (mL)	Aforo Final (mL)	Analito	Concentración Final (µg/L)		
1,0	100	Cd	3000		
		Zn	3000		
		Cr	3000		
		As	10000		
		Cu	3000		
		Ni	3000		
		Pb	10000		
		Se	5000		
		Mn	2000		
		Ag	3000		
		V	3000		
		Ba	3000		
		Co	3000		
		Be	1000		

2.3.8 Solución Catiónica

Además de utilizar los controles recomendados, se utilizan soluciones catiónicas de calcio (Cat # 1.19778.05 Merck®), magnesio (Cat # 1.19778.05 Merck®), sodio (Cat # 1.09927.01 Merck®) y potasio (Cat # 1.70230.05 Merck®), producto de que las señales

que emiten estos analitos muestran importantes señales que interfieren y sobrecuantifican la señal de los analitos a medir.

Para el presente caso, la concentración de las soluciones catiónicas es de 1000 mg/L para cada uno de los cationes.

2.3.9 Solución de Lavado (HNO₃ 1% V/V)

Agregar 20 mL de HNO₃ en un matraz de aforo de 2000 mL con 50 mL de agua desionizada calidad nanopure (18,0 MΩ-cm) concentrado y completar. Utilizar esta solución para lavado entre muestra y muestra por 60 s.

2.4 Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma Inductivamente Acoplado (ICP)

2.4.1 Validación del Método

Realizada la digestión, se procede con la lectura de las muestras, las cuales son puestas en el autosampler y leídas. A los batch de muestras, se les incorporan elementos de control de calidad, dependiendo de la cantidad de muestras a analizar. Además se cuenta con un estándar de recalibración, solución correspondiente al sexto punto de la curva de calibración (1 mg/L), el cual realiza pequeñas correcciones a la curva de calibración original; esto, con el fin de compensar cambios en las condiciones instrumentales ocurridas durante la lectura.

Realizada la lectura se procede con el reprocesamiento de las señales obtenidas, en la cual se revisan los parámetros de los distintos analitos, reubicación de la longitud de onda de emisión de mayor intensidad y modelo de corrección, ya sea a través del área definida por dos extremos (corrección background) o por un determinado algoritmo propio del software que calcula el área de los espectros.

El modelo de corrección con algoritmo según el área de los espectros se usa para Cr, As, Se, Pb, Mo, Ag y B, producto de las interferencias que se presentan en la longitud de onda utilizada. Para el resto de los analitos, se utiliza el modelo "background". Fijados los modelos de corrección para cada analito, se procede con la cuantificación de las muestras, usando las opciones entregadas por el proveedor del software.

En todos los casos, la cuantificación se realiza introduciendo en el ICP-OES soluciones de concentración conocida del elemento de interés (solución estándar) y la intensidad de la emisión característica para cada elemento es medida. Estas intensidades son graficadas versus la concentración de los estándares, formando una curva de calibración para cada elemento.

Cuando la intensidad de emisión de un analito es medida, ésta es interpolada en el gráfico o curva de calibración del elemento, determinando la concentración correspondiente a esa intensidad. La recta obtenida del gráfico de calibración es:

$$I = m \times C$$

(Ecuación N° 1)

Siendo

I : Intensidad de emisión

C : Concentración

m : Pendiente de la recta

Se utiliza curva de calibración forzada a cero de manera instrumental. De esta recta se despeja la incógnita C y se reemplaza el valor de intensidad obtenido en forma experimental, conociéndose así la concentración de la muestra problema.

Los analitos fueron medidos en función de la longitud de onda de cada metal sugerida por el fabricante. Las longitudes de onda para la validación del método, son descritas en la tabla 13.

Tabla 13: Longitudes de onda correspondientes a analitos para medición por ICP.

Analito	Longitud de onda (nm)
Ag	328,071
	338,291
Al	237,316
	308,216
	396,157
As	188,979
	193,692
B	249,674
	249,773
Ba	233,525
	455,403
	493,412
Be	234,856
	313,055
Ca	315,895
	317,940
Cd	214,434
	226,500
Co	228,617
	230,789
Cr	206,160
	267,710
Cu	213,601
	221,461
	324,765
Fe	238,207
	259,948
K	404,721
	766,503
Mg	279,076
	279,574
Mn	257,612
	294,927
Mo	202,030
	203,844
Na	588,995
	589,591
Ni	221,652
Ni	231,605

	341,476
Pb	217,003
	220,355
Sb	206,836
	217,583
Se	196,023
	203,099
Si	212,413
	251,616
Ti	334,952
	336,122
	337,285
	368,530
Tl	190,801
	276,787
	351,916
V	290,890
	292,402
Zn	206,198
	213,855

La validación del método nos indica si el procedimiento realizado para medir el analito de interés permite obtener la medición requerida. Para validar los métodos utilizados se deben considerar ciertos parámetros con las ecuaciones clásicas de la química analítica (Rubinson y col, 2001), los cuales a su vez otorgarán la validez de los resultados obtenidos. Los parámetros desarrollados son los siguientes:

a) Límite de detección (LD): cantidad o concentración mínima de una sustancia que puede ser detectada con fiabilidad por un método analítico determinado. El LD fue calculado usando la fórmula

$$LD = 3\sigma$$

Donde: σ es la desviación estándar. Ésta nos indica cuánto se alejan, en promedio, las observaciones de la media aritmética del conjunto. Corresponde a la

raíz cuadrada del cuadrado de la suma de las desviaciones entre el número total de observaciones. Así:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

b) Límite de cuantificación (LC): cantidad más pequeña del analito en una muestra que puede ser cuantitativamente determinada con exactitud aceptable. El LC fue calculado utilizando la fórmula

$$LC = 10\sigma$$

Donde: σ es la desviación estándar.

c) Repetibilidad: variación en las mediciones obtenidas cuando una persona usa el mismo equipo de medición para obtener características idénticas de las mismas piezas. Para verificar que la repetibilidad sea correcta, se debe obtener un valor de incertidumbre bajo (en general, cercano a 1), cuya fórmula corresponde a

$$Incertidumbre_{Repetibilidad} = \frac{\% C.V.}{\sqrt{N}}$$

Donde: %C.V. es el porcentaje del coeficiente de variación. Hace referencia a la relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable. Su fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad que la desviación estándar. A mayor valor del coeficiente de variación, mayor heterogeneidad de los valores de la variable; y a menor C.V., mayor homogeneidad en los valores de la variable. Así, suele representarse como:

$$C_V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$$

N es el número de datos medidos.

d) **Justeza:** la justeza o veracidad es la capacidad de un método analítico para dar resultados lo más próximo posible a un valor verdadero. Para verificar que la justeza sea correcta, se debe obtener un valor de incertidumbre bajo (en general, cercano a 1), cuya fórmula corresponde a

$$Incertidumbre_{justeza} = \sqrt{\left(\frac{\%E.R.}{\sqrt{N}}\right)^2 + \left(\frac{\%C.V.R.}{\sqrt{6}}\right)^2}$$

Donde: %E.R. es el porcentaje de error relativo. Corresponde al cociente entre el error absoluto $|x_i - x_v|$ y el valor real x_v de la magnitud, multiplicado por 100. Representa la fracción de imprecisión cometida en la medición, y resulta útil para comparar mediciones llevadas a cabo sobre diferentes magnitudes. Los valores más comunes del error relativo en el laboratorio pueden oscilar entre 5% y 15%.

N es el número de datos.

C.V.R. es la proporción de coeficientes de variación. El resultado de aplicar la fórmula de la proporción de coeficientes de variación permite al laboratorio evaluar su precisión comparada con el C.V. del grupo homogéneo de laboratorios. En este caso, corresponde a una constante, cuyo valor es 5%.

e) **Recuperación:** por recuperación de analitos en un ensayo, se entiende la respuesta del detector ante una adición o extracción de analito de la matriz, en comparación con su respuesta ante la concentración real del estándar de referencia

verdadero. También puede entenderse como el porcentaje de estándar interno presente inicialmente, que llega hasta el final del procedimiento. Los experimentos de recuperación deben hacerse comparando los resultados analíticos de las muestras extraídas con tres concentraciones (normalmente iguales a las de las muestras de control utilizadas para valorar la precisión y exactitud de un método). No es necesario que la recuperación de un analito sea del 100%, pero el grado de recuperación (del analito y del estándar interno) debe ser estable (con cualquier tipo de concentración analizada), precisa y reproducible (más del 20%).

f) Incertidumbre Combinada: la incertidumbre combinada u_c representa la desviación estándar del resultado de la medición. Es obtenida combinando la u_i obtenida de la evaluación tipo A y la u_j de la evaluación tipo B utilizando la ley de propagación de la incertidumbre.

$$u^2(x_i) = u_i^2(x_i) + u_j^2(x_i)$$

En el presente estudio, u_i es la incertidumbre obtenida en la repetibilidad, mientras que u_j es la incertidumbre obtenida durante el cálculo de la justeza.

g) Incertidumbre Expandida: la incertidumbre combinada u_c representa un intervalo centrado en el mejor estimado de la medición que contiene el valor verdadero con una probabilidad p de 68%, aproximadamente, bajo la suposición de que los posibles valores de la medición siguen una distribución normal. Generalmente se desea una probabilidad mayor, lo que se obtiene expandiendo el intervalo de incertidumbre por un factor k , llamado factor de cobertura. El resultado se llama incertidumbre expandida U

$$U = k \cdot u_c$$

La incertidumbre expandida indica entonces un intervalo que representa una fracción p de los valores que puede probablemente tomar la medición. El valor de p es

llamado el nivel de confianza y puede ser elegido a conveniencia. En laboratorios, a menudo se elige el nivel de confianza de manera tal que corresponda a un factor de cobertura como un número entero de desviaciones estándar en una distribución normal. Para este caso, se utiliza $k = 2$ a $p = 95,45\%$ en una distribución normal.

2.4.2 Aguas Superficiales

Una vez realizada la metodología de validación del método, se procede a realizar las mediciones por ICP de las muestras tratadas de las matrices de aguas superficiales de las cuencas de los ríos Huasco, Elqui y Limarí. Para ello, se utilizó el ICP-OES Perkin Elmer, el estándar de calibración MultiSTD High Purity QCS-26 y como material de referencia de control instrumental (MCR), High Purity ICP-200 7,5. Los parámetros de control de calidad del equipo son

- Longitud de Onda (nm),
- Pendiente,
- Coeficiente de correlación,

Por otro lado, los elementos de control de calidad para el análisis son

- Límite de detección,
- Límite de cuantificación,
- Blanco
- Porcentaje de exactitud, en referencia a un valor teórico.

Para la curva de calibración, se utilizaron estándares de 0, 0,10, 0,25, 0,50, 0,75, 1,0, 2,5 y 5,0 mg/L. La lectura de las muestras es directa.

2.4.3 Sedimentos

Las muestras tratadas de las matrices de sedimentos de las cuencas de los ríos Huasco, Elqui y Limarí son analizadas por ICP-OES. Las condiciones de calidad medidas son

- Recuperación (%), en base a una muestra de referencia,
- Longitud de onda (nm), propia de cada analito,
- Pendiente,
- Coeficiente de correlación,
- Límite de detección
- Límite de cuantificación

Es conveniente recordar que el instrumento entrega sus resultados en unidades de concentración mg/L, por lo que se hace necesario multiplicar dicho resultado por un factor correctivo, que en este caso es el cociente entre el volumen aforado de la muestra (25 mL) y la masa de la muestra (en gramos), con el fin de obtener valores de concentración en unidades de mg/kg peso seco.

2.5 Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frío

El análisis del contenido de mercurio, ya sea en aguas superficiales o en sedimentos, se realiza a través de la espectrometría de absorción atómica por vapor frío. Esta técnica busca reducir el mercurio de las muestras a Hg^0 , el cual es un vapor atómico. Seguidamente este vapor entra en contacto con un flujo de N_2 , utilizado como gas de arrastre, el cual conduce al Hg^0 hacia el separador de fases, donde el líquido es separado al desecho y el gas es finalmente conducido a la celda para ser medido.

El espectrómetro de absorción atómica fue fijado a una longitud de onda de 253,7 nm; la energía de la lámpara fue de 65 W para las muestras de agua superficial y 58 W para sedimentos. El equipo corresponde a un Perkin Elmer AAnalyst 700. El estándar de calibración y el material de referencia para el instrumental es Hg 1000 ppm/Merck®. Para obtener los valores de concentración, ya sea de las muestras de aguas superficiales o de sedimentos, se recurre a parámetros de calidad, como límite de detección, pendiente y coeficiente de correlación.

III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Estado Ecológico Previo

Para establecer el estado ecológico previo, se analizó el informe realizado por CENMA en diciembre de 2012 (R. Ramos-Jiliberto, M. Olmedo, C. Carvacho, A. Palma, J. González-Barrientos y V. Escanilla, "Programas de vigilancia de normas secundarias de calidad y las que están en proceso con el objeto de avanzar en el estado ecológico de las aguas superficiales, Parte A: Campañas de monitoreo y evaluación de estado ecológico de 10 cuencas hidrográficas de Chile" INFORME TÉCNICO 2012), en donde se analizaron 10 cuencas de Chile en base a diversos factores, no sólo científicos, sino que también sociales y económicos.

En dicho estudio, para cada cuenca se seleccionó entre 10 y 15 estaciones de monitoreo, por ser estaciones de la DGA y se realizó una campaña de colección de muestras de aguas superficiales, medición de parámetros físico-químicos *in situ* de los cuerpos de agua, observación y registro de familias de invertebrados de cada estación, para de esta forma establecer el estado ecológico, basado en el índice ChBMWP, análisis biológicos, químicos y microbiológicos en laboratorio e integración de la información.

De este modo, la cuenca del río Huasco no mostró superación de parámetros físico-químicos normados (pH, conductividad eléctrica, color aparente, oxígeno disuelto, RAS y sólidos suspendidos y disueltos) en sus aguas superficiales, todas las estaciones presentaban una alta riqueza taxonómica (entre 9 y 14 taxa) y la gran mayoría poseía una buena diversidad. De 11 estaciones de monitoreo estudiadas para esta cuenca, 1 tuvo nivel *Muy Bueno*, 7 tuvieron nivel *Bueno*, 2 de nivel *Moderado* y 1 de nivel *Deficiente*.

Solamente se identificó un *Tipo* de río, denominado por el estudio como de *Tipo A* (Mediterráneo semiárido).

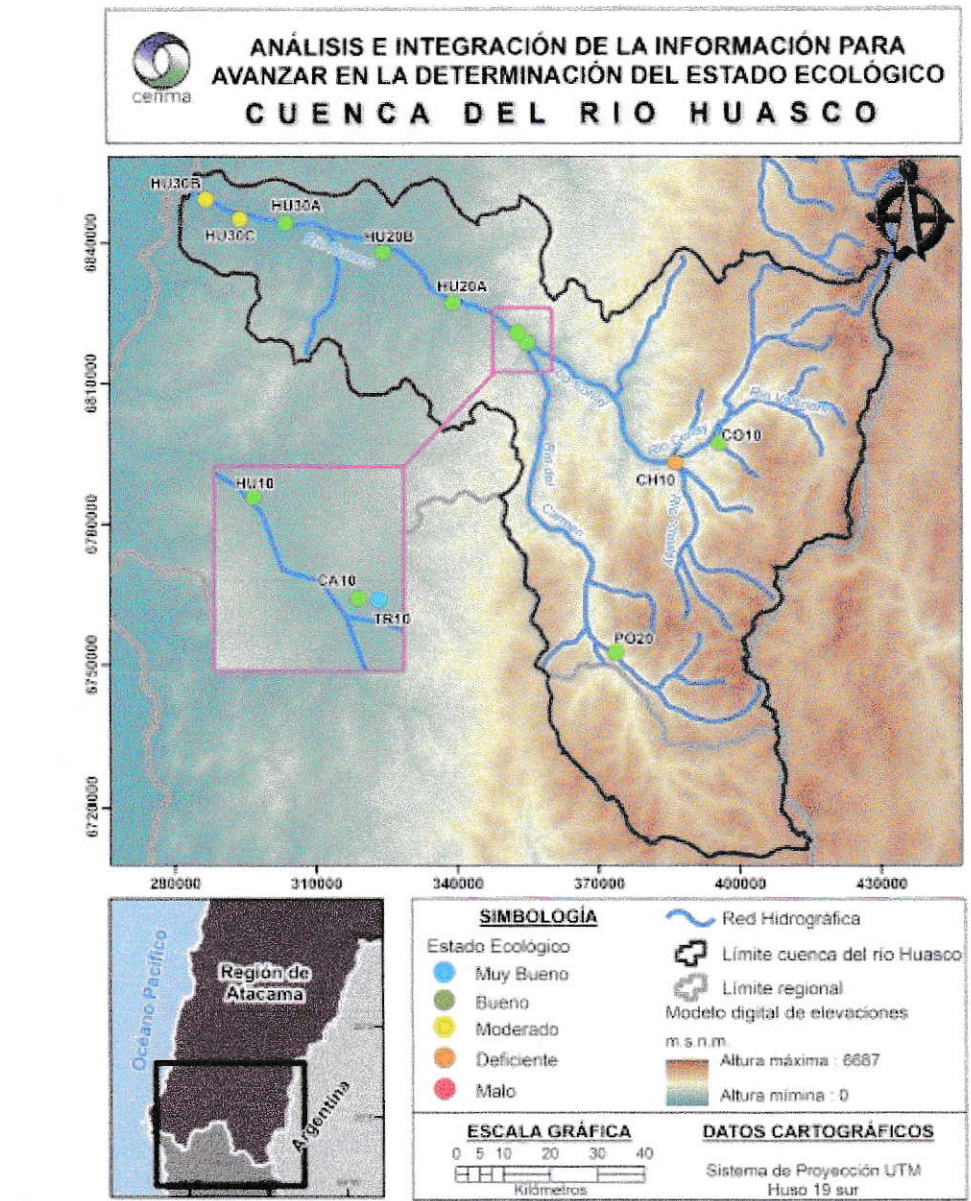


Figura 2: Estaciones de muestreo de la cuenca del río Huasco con su respectivo estado ecológico

De la misma forma, en la cuenca del río Elqui se seleccionó 15 estaciones de monitoreo de la DGA. En esta oportunidad, se identificó dos *Tipos* de río, diferenciados por la altitud de las estaciones de monitoreo de 1600 m.s.n.m., denominados como *B* y *C* (Mediterráneo andino semiárido y Mediterráneo semiárido de transición). No se registraron niveles físico-químicos sobrepasados en el análisis de agua superficial. Pocas estaciones presentan una alta riqueza taxonómica (entre 9 y 16), mientras que existen estaciones con 1 y 3 taxa. Bajas diversidades suelen sugerir algún tipo de presión sobre las comunidades acuáticas. De las 15 estaciones de monitoreo, 6 pertenecieron al *Tipo B* (sobre 1600 m.s.n.m.), de donde 2 tuvieron nivel *Bueno*, 2 fueron *Deficiente* y 2 fueron *Malo* en su estado ecológico.

De las 15 estaciones de monitoreo en la cuenca del río Elqui, 9 pertenecieron al *Tipo C* (bajo los 1600 m.s.n.m.). De éstas, 1 tuvo nivel *Muy Bueno*, 2 fueron *Bueno*, 4 fueron *Moderado* y 2 fueron *Deficiente* en su estado ecológico.

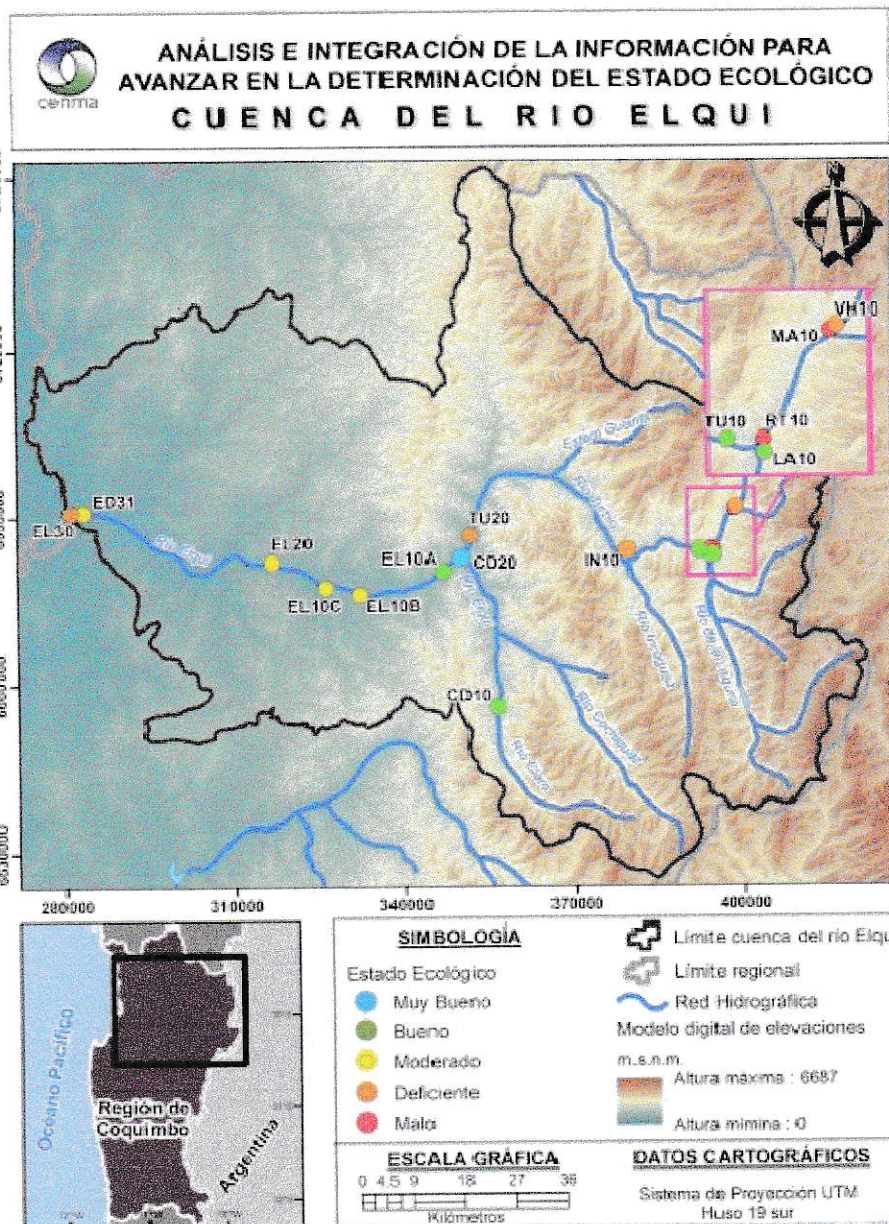


Figura 3: Estaciones de muestreo de la cuenca del río Elqui con su respectivo estado ecológico.

Por último, en la cuenca del río Limarí se seleccionó 15 estaciones de muestreo de la DGA. En esta oportunidad, se identificó un único *Tipo* de río *D* (Mediterráneo semiárido), aunque se presentan diferencias evidentes en términos de biodiversidad entre estaciones sobre y bajo embalse. No se registraron niveles físico-químicos sobrepasados

en el análisis de agua superficial. En general, todas las estaciones presentan una alta riqueza taxonómica (entre 10 y 22 taxa) y una diversidad similar, aunque algunas estaciones mostraron menores diversidad. Bajas diversidades suelen sugerir algún tipo de presión sobre las comunidades acuáticas.

La evaluación del estado ecológico es que, de las 15 estaciones de monitoreo, 4 tuvieron nivel *Muy Bueno*, 5 mostraron nivel *Bueno*, 5 fueron de nivel *Moderado* y 1 (desembocadura) tuvo un nivel *Malo*. Las estaciones sobre embalse mostraron los mejores niveles de estado ecológico, mientras que las estaciones bajo embalse mostraron niveles inferiores.





**ANÁLISIS E INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN PARA
AVANZAR EN LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO
CUENCA DEL RÍO LIMARÍ**

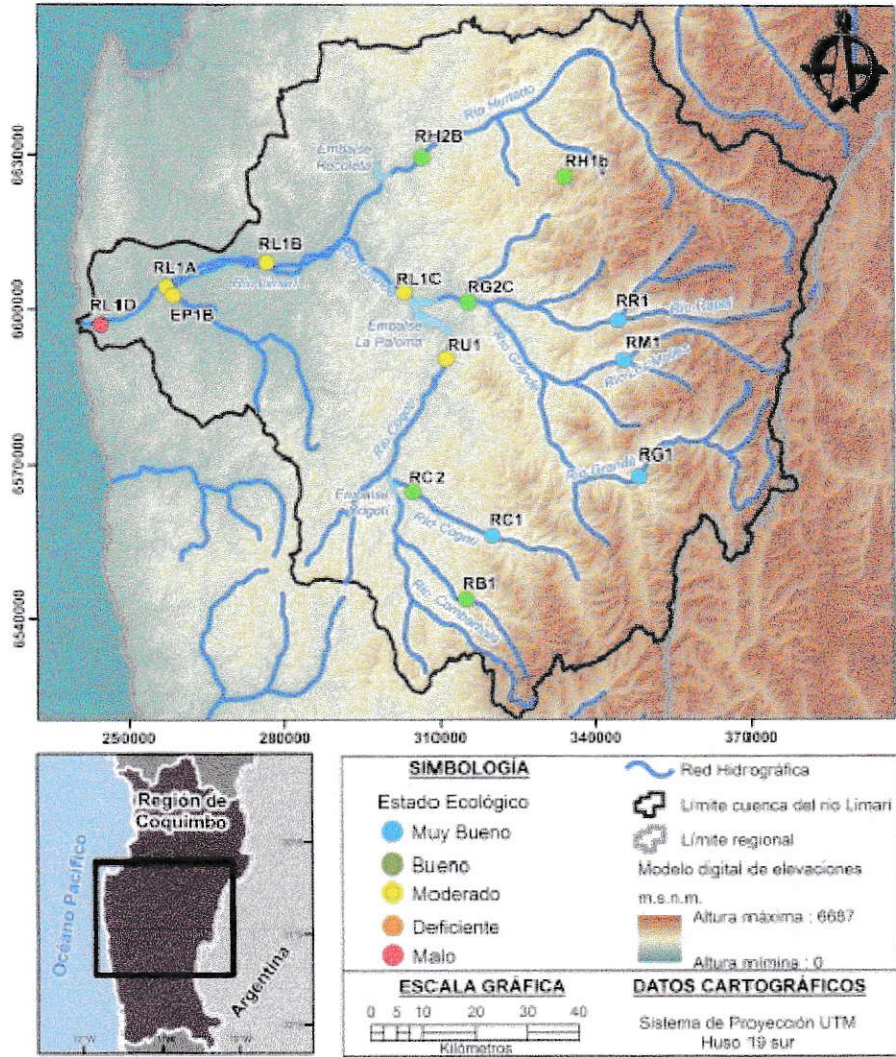


Figura 4: Estaciones de muestreo de la cuenca del río Limarí con su respectivo estado ecológico.

3.2 Validación del Método

La validación del método analítico de ICP se realizó de acuerdo a los parámetros descritos anteriormente. Los resultados de los parámetros analizados, tanto como sus incertidumbres expandidas (en %C.V.) se presentan en el anexo A. Las figuras de mérito se presentan a continuación.

Analito	Long. Onda (nm)	r ²	LD (mg/L)	LC (mg/L)	% C. V.	Recuperación (%)
Ag	328,071	0,999	0,002	0,006	11,4	84,2
	338,291	0,999	0,003	0,011	5,3	84,4
Al	237,316	0,999	0,025	0,085	11,4	100
	308,216	0,998	0,027	0,089	20,0	100
	396,157	0,999	0,020	0,067	8,5	100
B	249,674	0,999	0,110	0,367	21,4	100
	249,773	0,999	0,107	0,356	21,4	100
Ba	233,525	0,999	0,004	0,014	6,8	100
	455,403	0,999	0,004	0,014	7,0	100
	493,412	0,999	0,004	0,013	6,6	100
Be	234,856	0,999	0,001	0,002	8,3	100
	313,055	0,999	0,001	0,004	5,3	97,2
Ca	315,895	0,999	8,193	27,310	9,8	100
	317,940	0,999	7,992	26,639	8,5	100
Cd	214,434	0,999	0,008	0,027	4,5	93,1
	226,500	0,999	0,002	0,007	4,4	95,5
Co	228,617	0,999	0,002	0,007	4,9	92,3
	230,789	0,999	0,002	0,007	5,0	93,3
Cr	206,160	0,999	0,029	0,095	5,7	94,6
	267,710	0,999	0,004	0,014	4,7	95,2
Cu	213,601	0,999	0,134	0,447	5,3	90,8
	221,461	0,999	0,114	0,379	9,9	100
	324,765	0,999	0,170	0,565	6,1	98,4
Fe	238,207	0,999	0,039	0,130	7,7	100
	259,948	0,999	0,039	0,129	7,6	100
K	404,721	0,998	0,953	3,177	82,2	51,4
	766,503	0,999	0,033	0,110	54,8	100
Mg	279,076	0,999	2,416	8,052	9,0	100
	279,574	0,999	1,564	5,212	8,5	100
Mn	257,612	0,998	0,003	0,010	6,4	100

Analito	Long. Onda (nm)	r ²	LD (mg/L)	LC (mg/L)	% C. V.	Recuperación (%)
Mn	294,927	0,999	0,004	0,012	6,6	100
Mo	202,030	0,999	0,005	0,015	11,6	97,4
	203,844	0,999	0,014	0,046	5,0	83,7
Na	588,995	0,999	4,588	15,294	10,1	100
	589,591	0,997	4,866	16,221	10,2	100
Ni	221,652	0,999	0,086	0,287	21,4	100
	231,605	0,999	0,014	0,047	5,0	94,2
	341,476	0,999	0,016	0,055	4,7	96,7
Pb	217,003	0,999	0,054	0,178	8,7	92,9
	220,355	0,999	0,014	0,045	5,2	92,4
Sb	206,836	0,998	0,025	0,082	5,3	93,6
	217,583	0,999	0,021	0,069	12,4	68,1
Se	196,023	0,999	0,153	0,511	12,9	100
	203,099	0,999	0,091	0,304	10,6	45,2
Si	212,413	0,999	3,648	12,162	17,8	100
	251,616	0,999	3,652	12,173	18,1	98,4
Ti	334,952	0,999	0,002	0,007	7,2	98,3
	336,122	0,999	0,001	0,003	8,1	97,7
	368,530	0,999	0,002	0,006	7,6	98,3
Tl	190,801	0,999	0,059	0,195	6,2	100
	276,787	0,999	0,110	0,367	10,1	100
	351,916	0,999	0,022	0,074	7,0	99,8
V	290,890	0,998	0,008	0,025	7,6	100
	292,402	0,999	0,002	0,006	5,0	100
Zn	206,198	0,999	0,010	0,035	5,1	100
	213,855	0,999	0,009	0,029	4,8	100

a) Límites de Cuantificación y Detección

Los límites de cuantificación y detección se midieron en todos los metales, en las longitudes de onda características para cada metal, y en condiciones de muestra con y sin digestión. De esta forma, se encontró que la mayoría de los metales sin digestión presentaron ambos límites menores en comparación con los metales con digestión, con excepción de As (en ambas longitudes de onda), Be (315,055 nm), Cd (214,434 nm), Co (228,617 nm), Cu (en todas sus longitudes de onda), K (404,721 nm), Na (en ambas longitudes de onda), Pb (217,003 nm), Sb, Se, Si (todas en ambas longitudes de onda), Tl (276,787 nm) y V (290,890 nm). Por lo general, las magnitudes de los límites obtenidos fueron del orden 10^{-2} mg/L.

b) Intervalo Lineal de Trabajo y Sensibilidad

Para cada uno de los metales se realizó la curva de calibración basado en multiestándares "High Purity Standard" Cat # CWW-TM-D Trace Metals in certified wastewater (QCS-26)®. Instrumentalmente, las curvas son forzadas a cero, las cuales tienen un coeficiente de correlación mayor a 0,99, otorgando certeza de la linealidad del intervalo de trabajo. Los metales que presentan una mayor sensibilidad son Mn, Ba y Be, mientras aquellos que presentan una menor sensibilidad son As, Se y Sb.

c) Repetibilidad

En general, en el momento de analizar muestras enriquecidas de concentración 0,15 y 0,80 mg/L, los valores de incertidumbre son bastante bajos, lográndose un criterio de aceptabilidad muy bueno. Sin embargo, al analizar muestras de aguas superficiales de concentración desconocida, los valores de incertidumbre tienden a aumentar, debido a que las lecturas obtenidas o bien se encuentran muy cercanas al cero de la curva, o bien

se encuentran fuera del rango lineal. No obstante, esto ocurre en casos puntuales (Ag ASCD, Al ASCD, Co ASCD, Cr ASSD, Cu ASSD, Ni ASSD, Se ASSD, Ti ASCD).

d) Justeza o Veracidad

Con excepción de K y Ca (debido a sus capacidades interferentes en ICP-OES), los niveles de incertidumbre obtenidos a partir de lecturas de un conjunto de materiales de referencia certificados son bajísimos, rondando en promedio un 2,1% del coeficiente de variación, lo que otorga al instrumento una muy buena capacidad de exactitud y precisión.

e) Recuperación

En la gran mayoría de los metales analizados el ordenador entregó porcentajes de recuperación superiores al 100%, lo que presupone que la recuperación de las muestras son o bien totales, o bien elevadísimas. El menor porcentaje de recuperación correspondió a Selenio en su longitud de onda de 203,099 nm, con un 45,2%.

f) Incertidumbres Combinada y Expandida

Si se establece una tolerancia de $\pm 20\%$ del coeficiente de variación para la incertidumbre expandida (dato que finalmente recoge todas las incertidumbres del método), es posible advertir que la mayoría de los analitos cumplen con dicha tolerancia. Sin embargo, aquellos que superan dicha barrera es debido en su totalidad por el componente de incertidumbre obtenida en la repetibilidad del método, una vez más, explicada por la cercanía de las concentraciones del cero forzado de la curva, o bien por que dichas concentraciones se encuentran fuera del rango lineal de la curva. Por otro lado, la repetibilidad depende de factores externos a la lectura, la cual fue comprobada que fue precisa y exacta (en el análisis de justeza), por lo que es posible determinar que en general, los porcentajes de incertidumbre expandida son inferiores al 20% de

tolerancia, lo cual permite determinar que el método es válido y puede ser utilizado para la cuantificación de metales en muestras acuosas.

3.3 Análisis de Aguas Superficiales de las Cuencas en Estudio

A continuación se presentan los parámetros de control de equipo y control de calidad correspondiente a las mediciones de metales en aguas superficiales de las cuencas de los ríos Huasco, Elqui y Limarí, tanto para las mediciones realizadas por ICP-OES como por espectrometría de absorción atómica por vapor frío (medición de Hg).

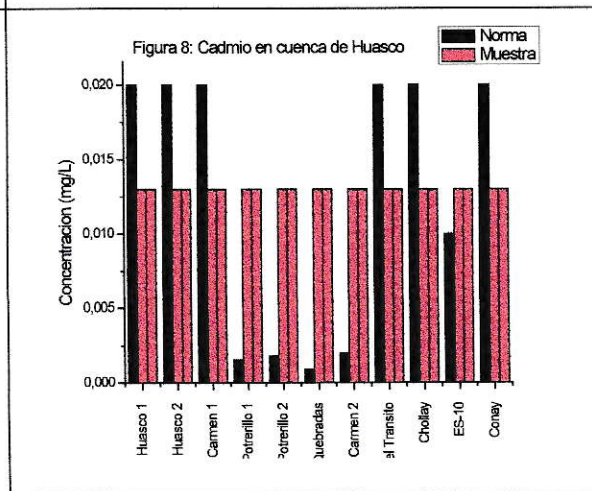
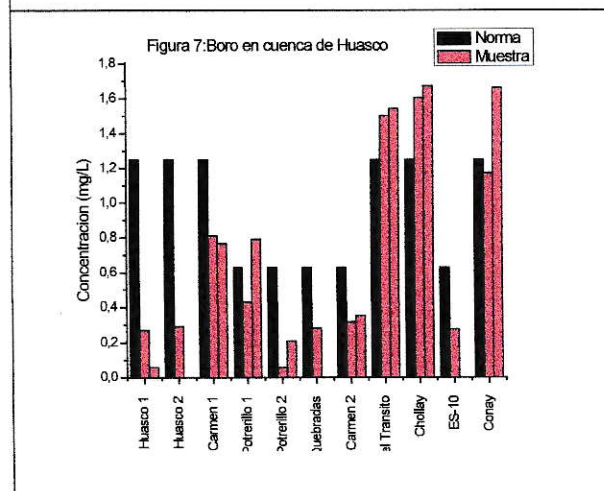
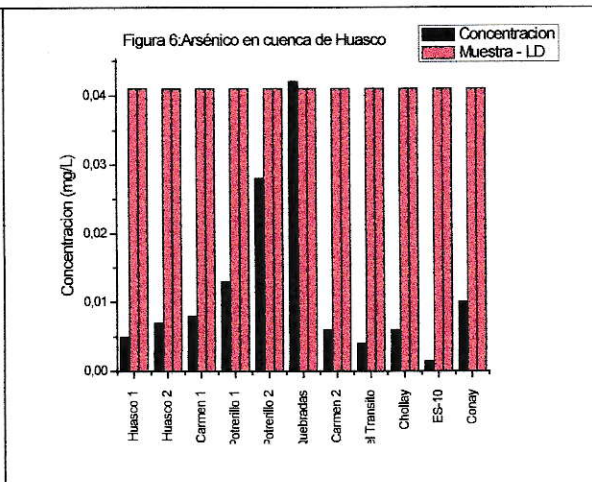
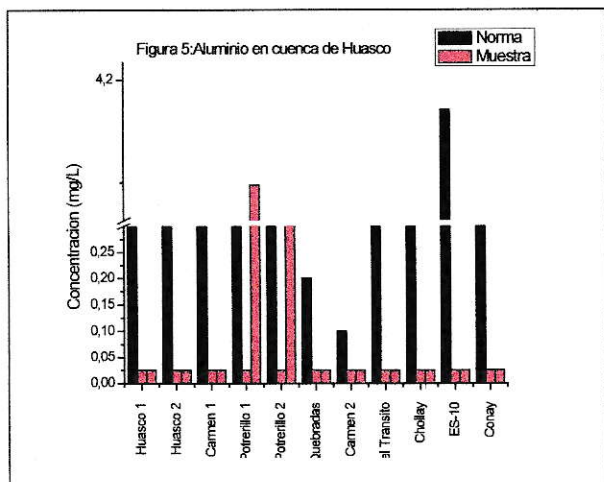
Tabla 15: Parámetros de Control de Equipo y Control de Calidad para Medición de Metales en Aguas Superficiales.

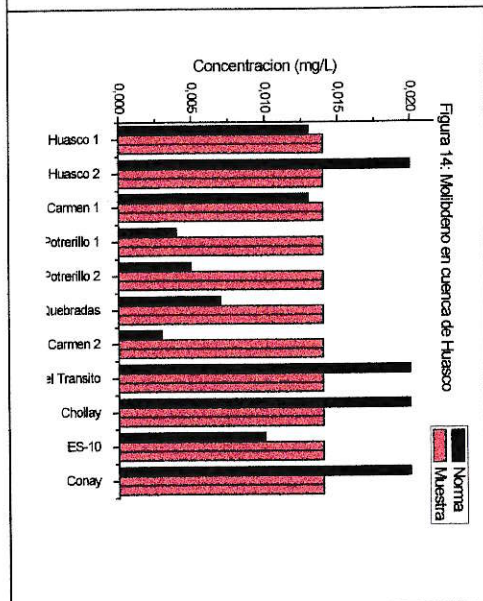
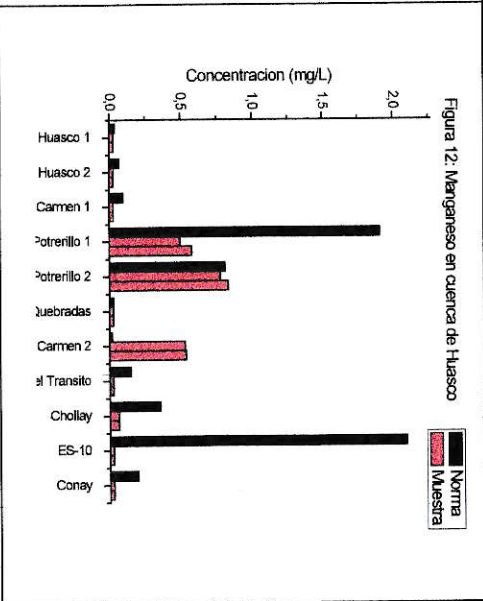
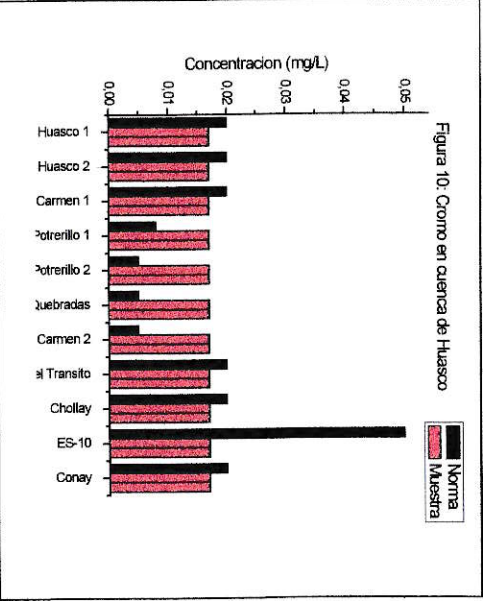
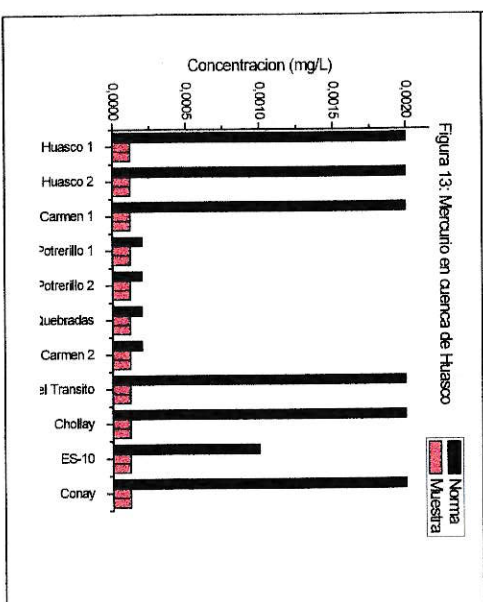
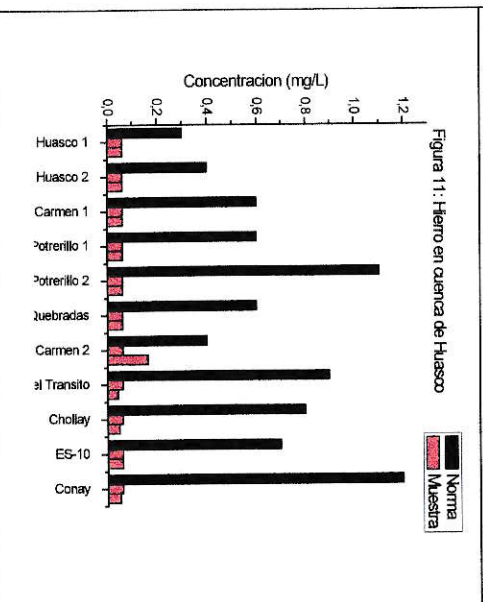
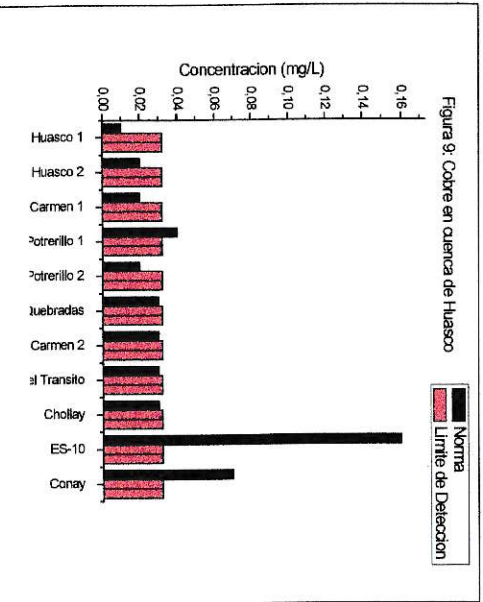
Analito	Long. Onda (nm)	Pendiente	r ²	LD (mg/L)	LC (mg/L)	Blanco (mg/L)	% Exactitud
Cd	226,5	15440	0,998	0,013	0,043	<LC	103
Zn	213,9	12200	0,998	0,022	0,074	<LC	105
Cr	267,7	43560	0,998	0,017	0,056	<LC	110
As	193,7	187,9	0,999	0,041	0,136	<LC	103
Cu	324,7	97810	0,998	0,032	0,108	<LC	109
Ni	231,6	10070	0,998	0,027	0,090	<LC	108
Pb	220,4	1589	0,999	0,023	0,075	<LC	106
Al	237,3	1716	0,998	0,025	0,085	<LC	115
Se	196,0	196,1	0,999	0,130	0,435	<LC	95
Mn	257,6	192200	0,998	0,029	0,095	<LC	117
Ag	328,1	63530	0,999	0,023	0,077	<LC	110
V	292,4	72230	0,999	0,022	0,074	<LC	105
Ba	455,4	1488000	0,998	0,023	0,078	<LC	106
Co	228,6	6626	0,998	0,018	0,060	<LC	112
Mo	202,0	1841	0,999	0,014	0,048	<LC	93
Be	313,0	3195000	0,999	0,025	0,083	<LC	109
B	249,8	27950	0,995	0,039	0,129	<LC	97
Fe	259,9	36650	0,998	0,061	0,204	<LC	119
Sb	217,6	507,6	0,999	0,036	0,121	<LC	108
Hg	253,7	0,00867	0,999	0,000393	0,00131	<LD	99

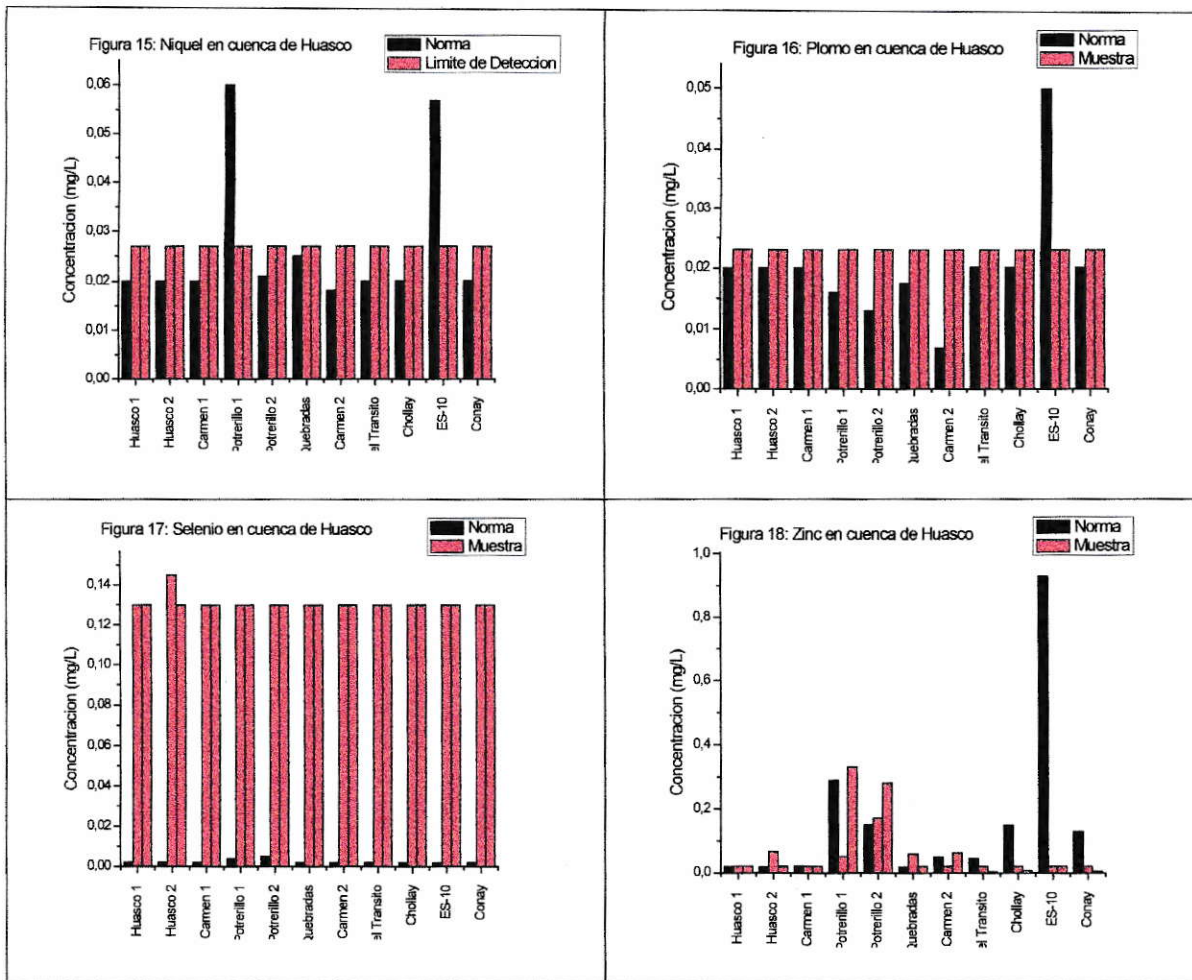
Los resultados de los muestreos sobre las aguas superficiales de las estaciones de muestreos de cada cuenca se presentan en el anexo B.

Respecto a la cuenca del río Huasco, la descripción del contenido de metales se realizó de forma desglosada para cada estación contenida en el anteproyecto de norma.

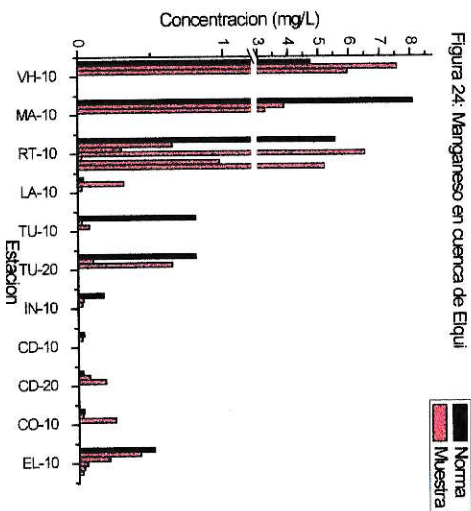
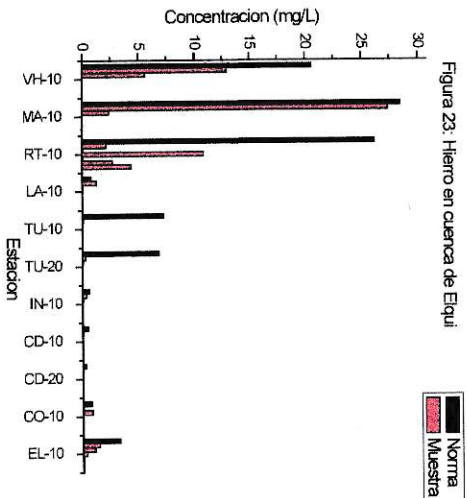
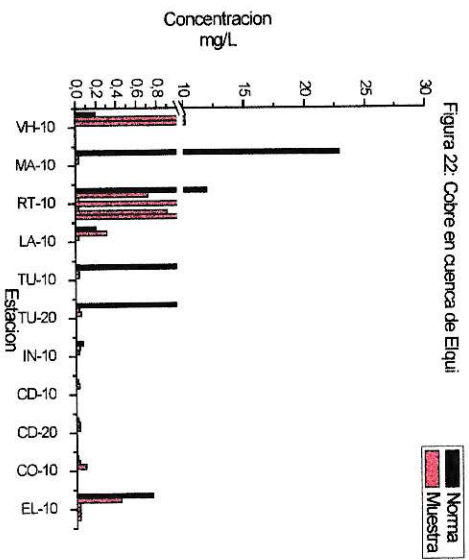
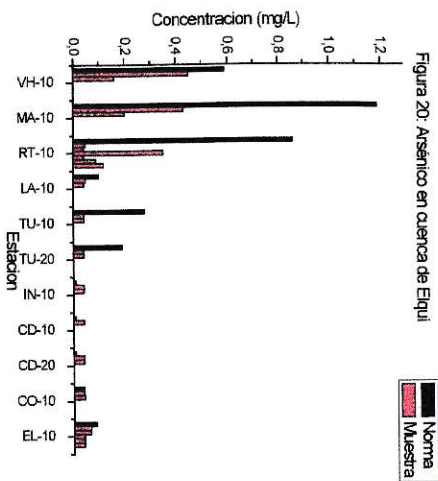
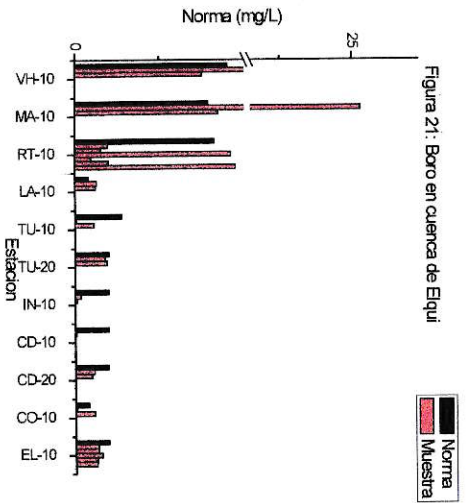
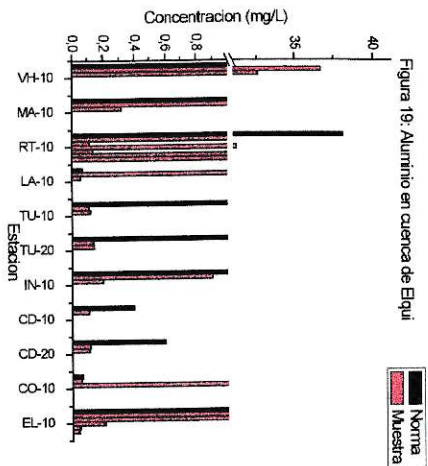
De este modo, puede apreciarse que los niveles de aluminio se encuentran por debajo de los límites normados, al igual que hierro, mercurio y manganeso. Por otro lado, no es posible lograr un pronunciamiento respecto a los niveles de arsénico, cadmio, cobre, cromo, molibdeno, níquel, plomo y selenio, debido a que éstos presentan niveles inferiores a los límites de detección respectivos. Mientras en algunas estaciones es posible concluir que no hay superación de norma, en otras estaciones ocurre que el límite normado es inferior al límite de detección. Los metales que sobrepasan la norma son boro (4 estaciones) y zinc (5 estaciones), en un orden general de toda la cuenca.

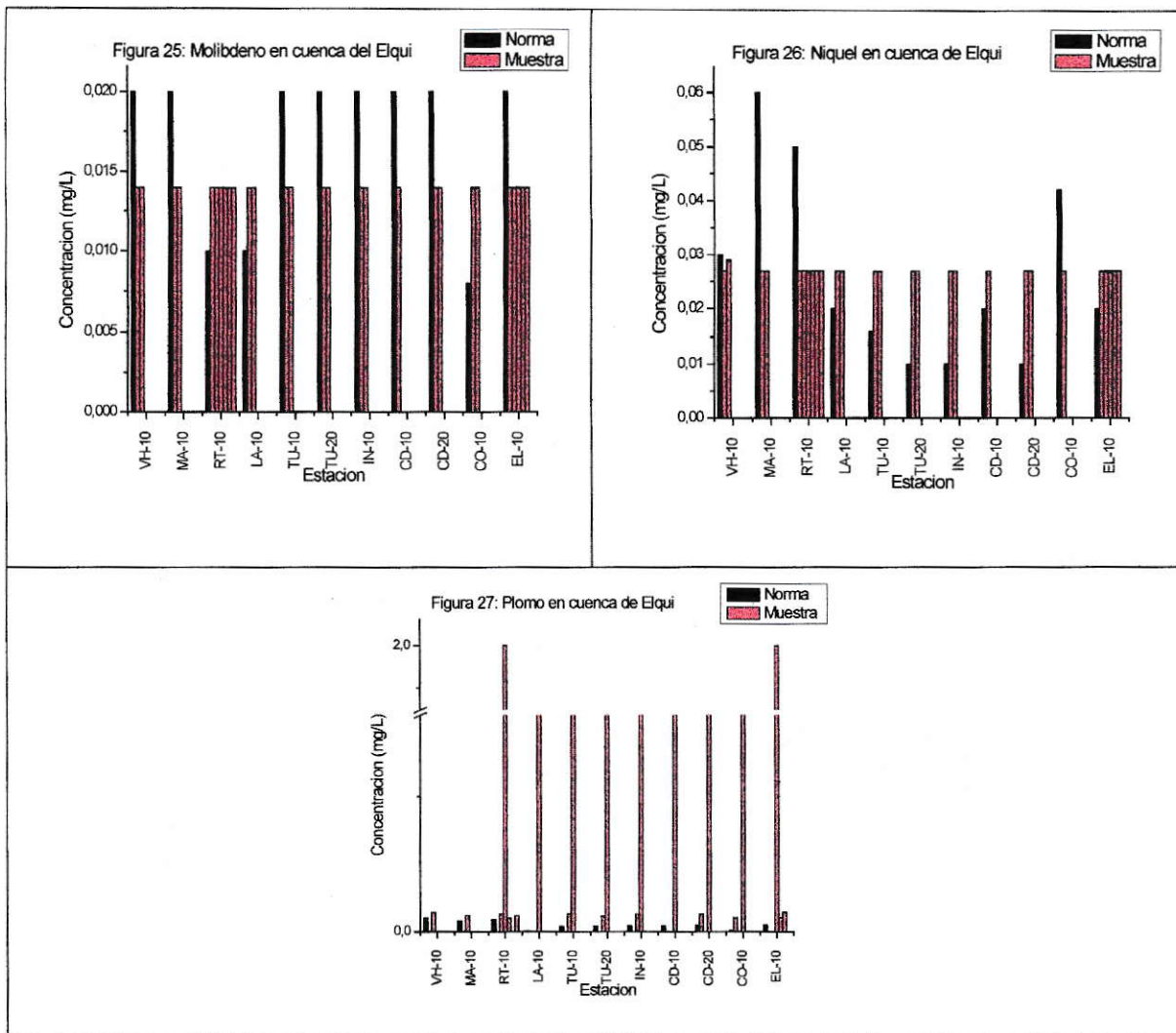






Respecto a la cuenca del río Elqui, la descripción del contenido de metales se realizó de forma desglosada para cada estación contenida en el anteproyecto de norma. Los resultados de dichas mediciones se encuentran en el anexo B.





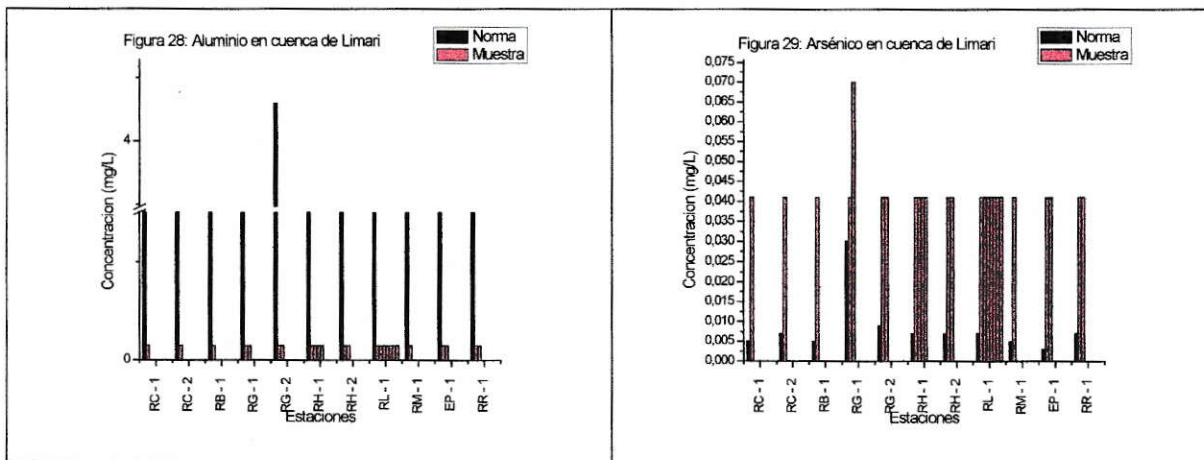
Los resultados muestran que los niveles de arsénico, hierro y molibdeno son menores que el límite normado para toda la cuenca, mientras que el contenido de aluminio es inferior a la norma, con excepción de la estación VH-10 (río Vacas Heladas), misma situación que ocurre con cobre. El único metal que experimenta sobrepasos evidentes y preocupantes en esta cuenca es el plomo.

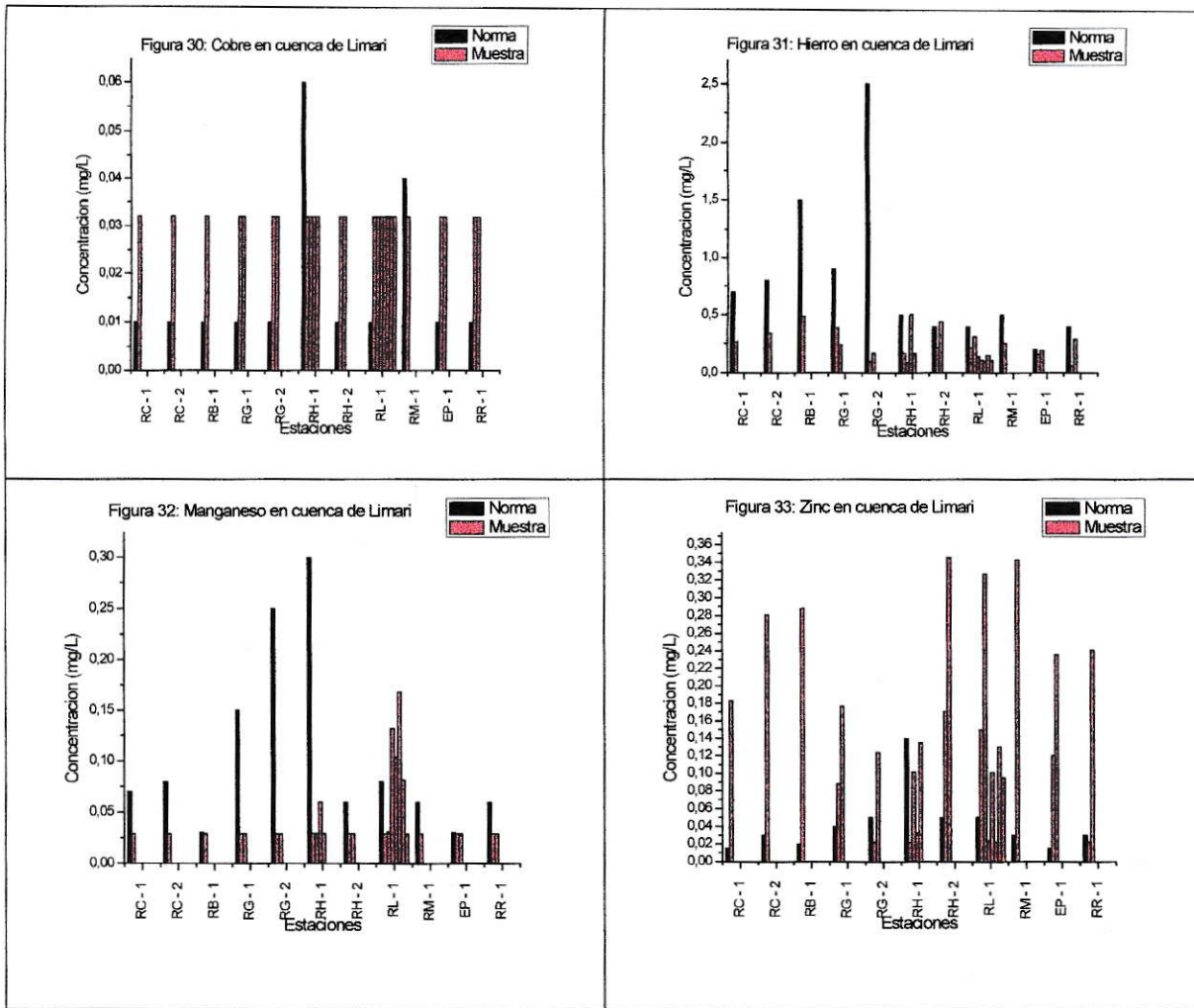
Por otro lado, se evidencia, a partir de estos resultados, que las estaciones que superan niveles permitidos de concentración corresponden a las estaciones de ríos

pertenecientes al *Tipo B*, es decir, aquellos ríos que se encuentran sobre los 1.600 m.s.n.m., calificado para esta cuenca.

Sin embargo, llama la atención que debido a la importancia de esta cuenca, en particular, la norma de calidad secundaria para esta zona sólo mide 9 metales pesados. La cuenca del río Elqui posee aspectos claves, tanto en lo socioeconómico como en lo ambiental, cuya importancia debería hacer que el Poder Ejecutivo se concentre en normas secundarias mucho más rígidas para esta zona.

Respecto a la cuenca del río Limarí, la descripción del contenido de metales se realizó de forma desglosada para cada estación contenida en el anteproyecto de norma. A continuación, se presentan los gráficos comparativos para cada norma y metal de esta cuenca.





Los resultados arrojan que los contenidos de aluminio, hierro y manganeso presentes en aguas superficiales son inferiores a los límites establecidos como norma para la cuenca. Por otro lado, no es posible establecer un criterio de calidad con respecto a los niveles de arsénico y cobre, debido a que las concentraciones de las muestras se encontraron por debajo de los límites de detección respectivos. El único metal que sobrepasa la norma corresponde a zinc, con 9 estaciones con superación de norma.

No obstante, llama la atención el hecho de que los metales normados en esta cuenca no sean más numerosos, dada la importancia ambiental y socioeconómica de la zona. Es menester del Poder Ejecutivo establecer mejoras en las normas secundarias de

calidad de aguas para esta zona, con el objeto de proteger de forma más completa, en base a una mayor cantidad de datos e información, a la cuenca.

3.4 Análisis de Sedimentos de las Cuencas de los ríos Huasco, Elqui y Limarí

A continuación se presentan los parámetros de control de equipo y control de calidad correspondiente a las mediciones de metales en sedimentos de las cuencas de los ríos Huasco, Elqui y Limarí, tanto para las mediciones realizadas por ICP-OES como por espectrometría de absorción atómica por vapor frío (medición de Hg).

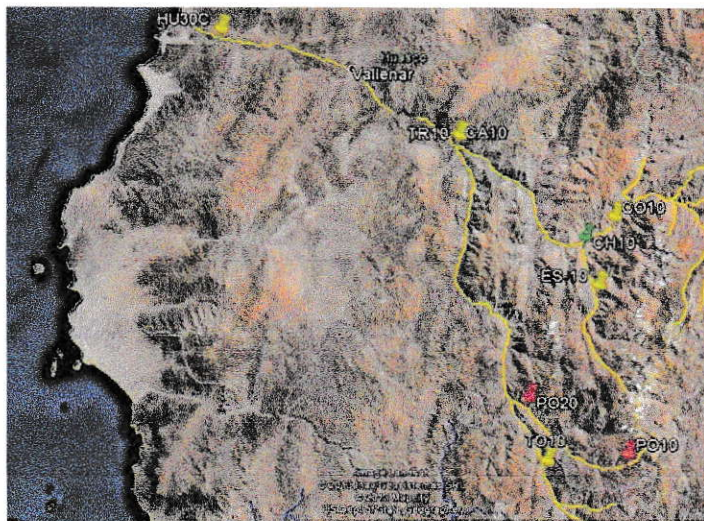
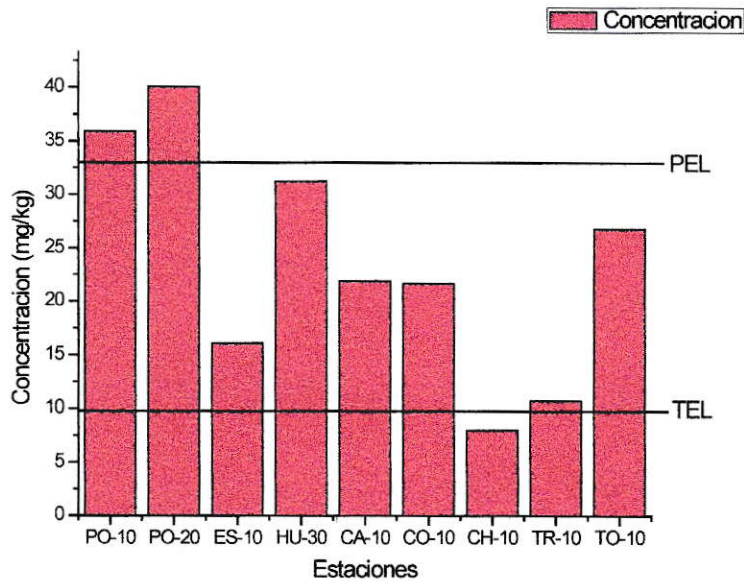
Tabla 16: Parámetros de Control de Equipo y Control de Calidad para Medición de Metales en Sedimentos.

Analito	Long. Onda (nm)	Pendiente	r ²	LD (mg/Kg)	LC (mg/Kg)	Blanco (mg/Kg)	% Exactitud
Cd	226,5	14270	0,998	0,064	0,210	<LD	93
Zn	213,9	11870	0,998	0,130	0,043	<LD	106
Cr	267,7	43750	0,999	0,450	1,500	<LD	115
As	188,9	130,8	0,999	2,390	7,960	<LD	98
Cu	324,7	91210	0,998	0,280	0,920	<LD	108
Ni	231,6	9993	0,998	0,380	1,300	<LD	119
Pb	220,4	817,9	0,999	0,270	0,880	<LD	105
Al	396,1	82190	0,999	0,170	0,580	<LD	96
Se	196,0	170,6	0,999	1,800	5,900	<LD	98
Mn	257,6	199500	0,999	0,013	0,043	<LD	116
Ag	328,1	67290	0,996	0,047	0,160	<LD	98
V	292,4	65740	0,999	0,031	0,100	<LD	94
Ba	493,3	1834000	0,996	0,010	0,033	<LD	99
Co	228,6	6243	0,999	0,110	0,350	<LD	105
Mo	202,0	1745	0,999	0,310	1,000	<LD	82
Be	313,1	1577000	0,999	0,018	0,060	<LD	98
B	249,7	35490	0,999	0,460	1,500	<LD	101
Fe	238,2	28010	0,998	0,088	0,290	<LD	116
Hg	253,7	0,0115	0,999	0,00054	0,0018	<LD	116

Los resultados de los muestreos sobre los sedimentos de las estaciones de muestreos de cada cuenca se presentan a continuación para cada cuenca en estudio.

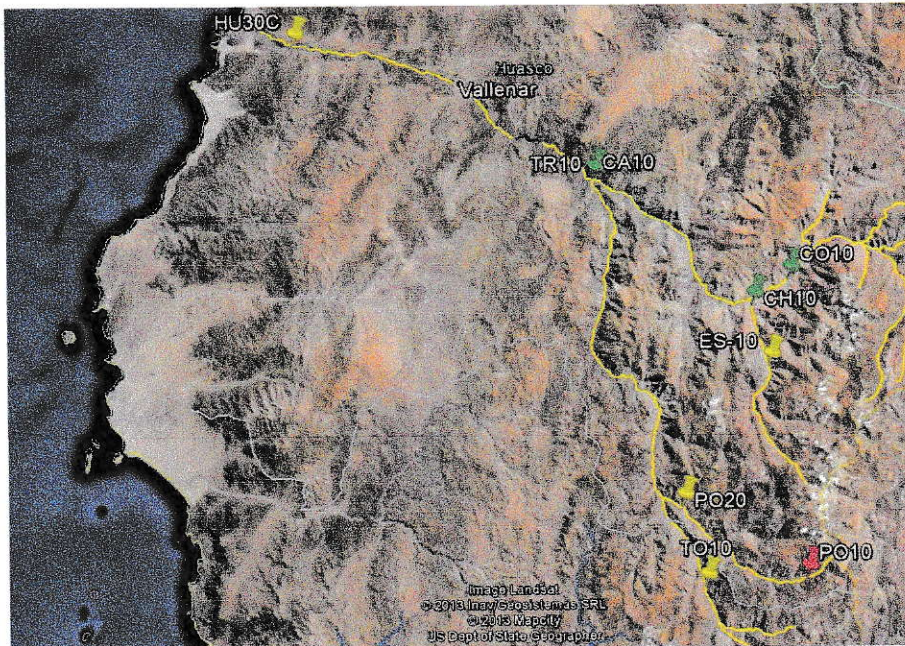
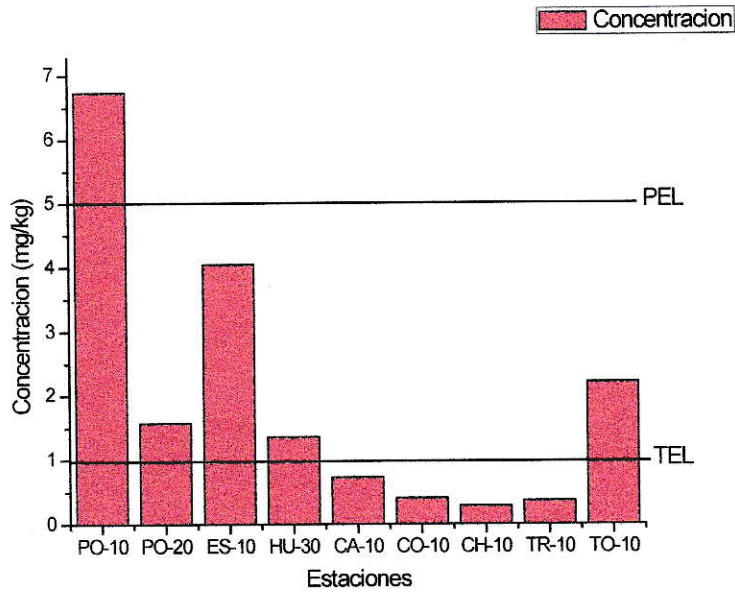
Cuenca del río Huasco:

- Arsénico: de las estaciones estudiadas, la única que se encuentra bajo el límite de TEL es CH-10, mientras que las que se encuentran entre TEL y PEL son HU30C, TR10, CA10, CO10, ES10 y TO10. Las estaciones PO10 y PO20 contienen concentraciones de arsénico por sobre el nivel de PEL.



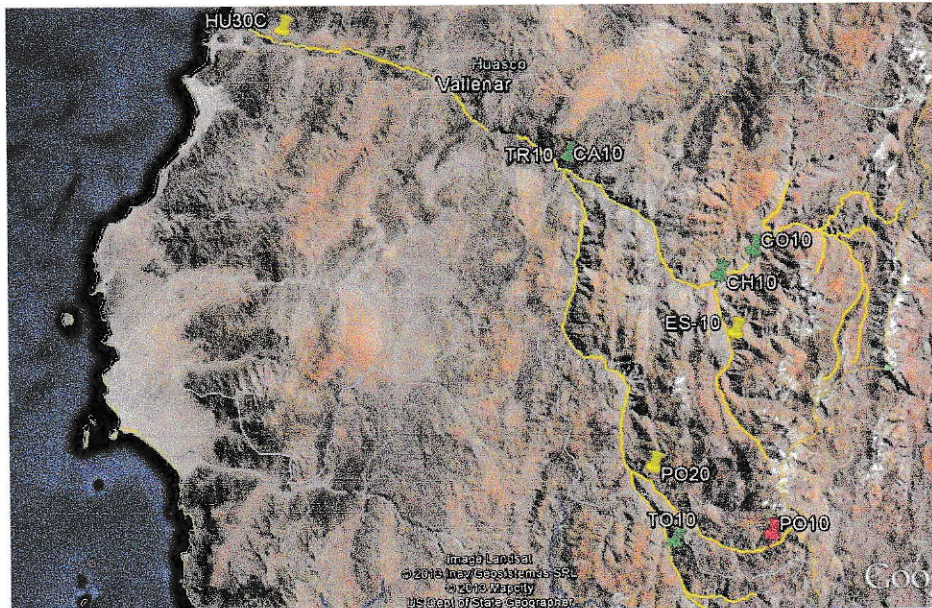
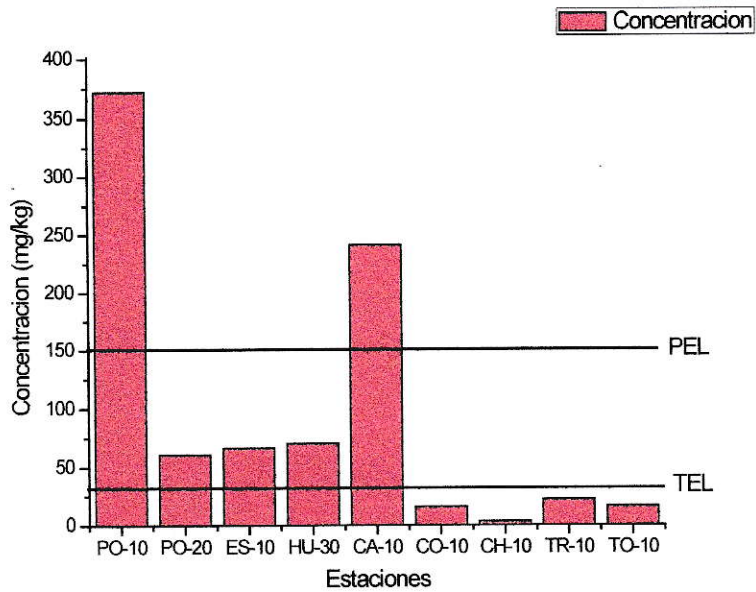
Figuras 34 y 35: Arsénico en sedimentos de la cuenca del río Huasco.

- Cadmio: se encuentran bajo el TEL las estaciones TR10, CA10, CH10 y CO10, mientras que las que se hayan entre TEL y PEL son HU30C, ES10, PO20 y TO10. Sólo la estación PO10 presenta concentraciones de este metal por sobre el PEL.



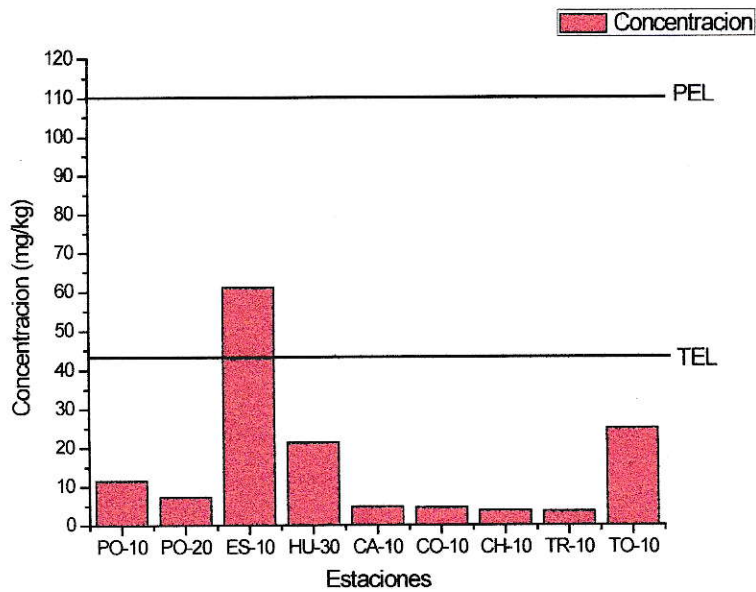
Figuras 36 y 37: Cadmio en sedimentos de la cuenca del río Huasco

- Cobre: de las estaciones analizadas, CA10, CH10, CO10 y TO10 se encuentran por debajo de TEL, mientras que HU30C, ES10 y PO20 están entre TEL y PEL. Sólo PO10 registra concentraciones de cobre por sobre el PEL.



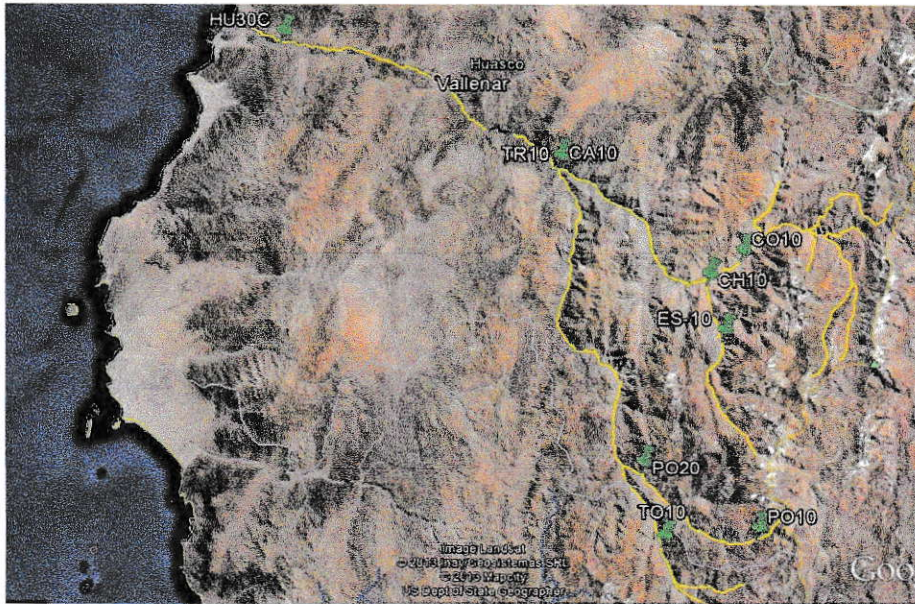
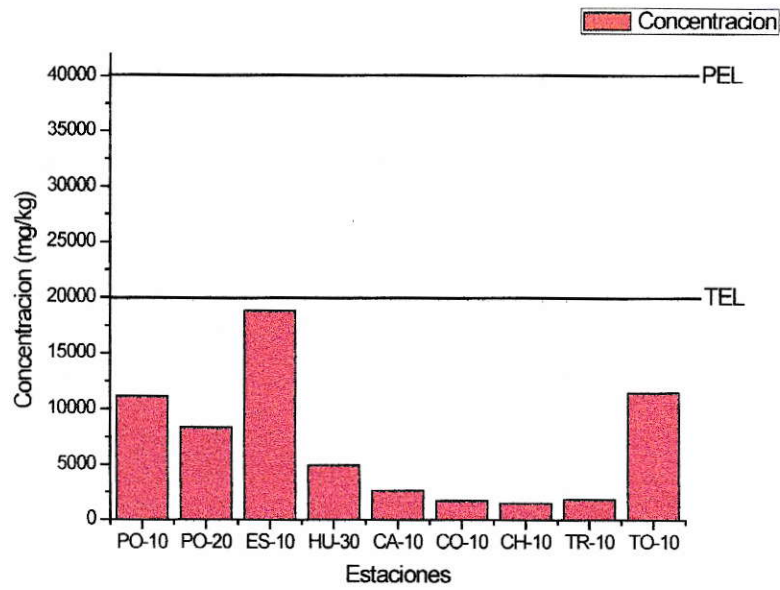
Figuras 38 y 39: Cobre en sedimentos de la cuenca del río Huasco

- Cromo: sólo la estación ES10 se encuentra entre los valores de TEL y PEL, mientras que el resto de las estaciones se encuentra por debajo de TEL. No se observan estaciones que superen el límite de PEL.



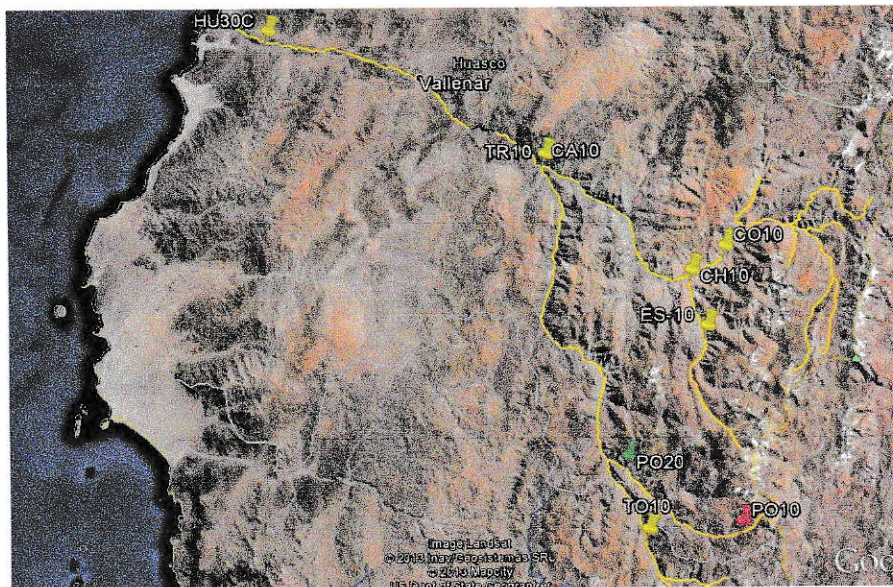
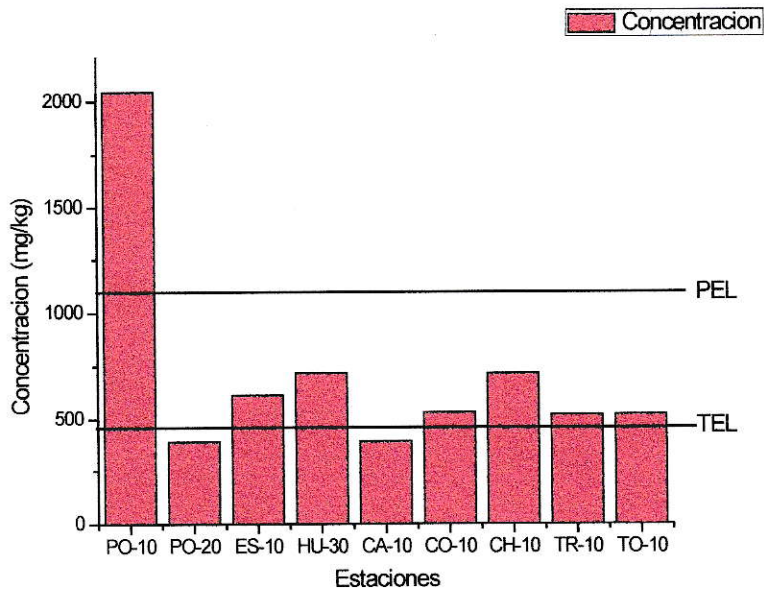
Figuras 40 y 41: Cromo en sedimentos de la cuenca del río Huasco

- Hierro: Todas las estaciones analizadas se encontraron con niveles de concentración por debajo de TEL.



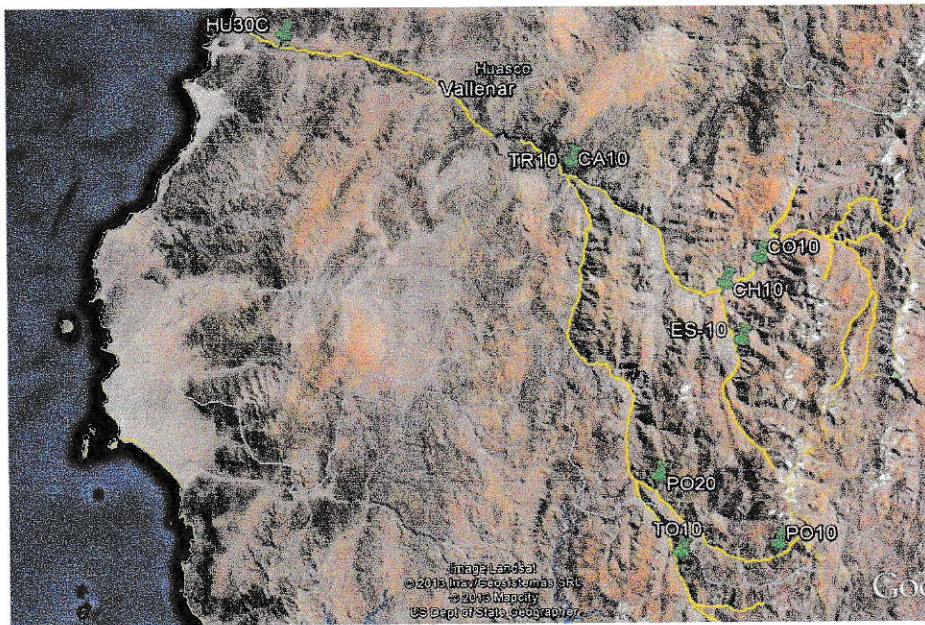
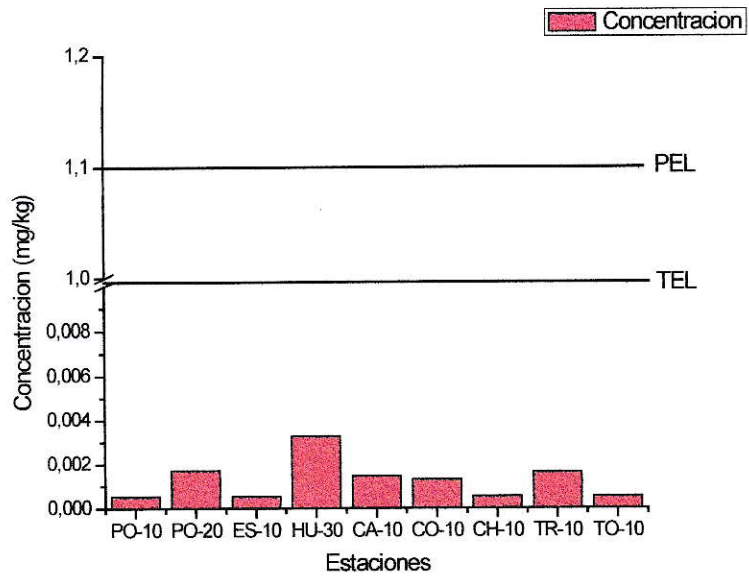
Figuras 42 y 43: Hierro en sedimentos de la cuenca del río Huasco

- Manganeso: del total de estaciones, solamente PO20 tuvo concentraciones bajo el nivel de TEL, mientras que sólo PO10 estuvo por sobre el nivel de PEL. El resto de las estaciones se encontró entre TEL y PEL.



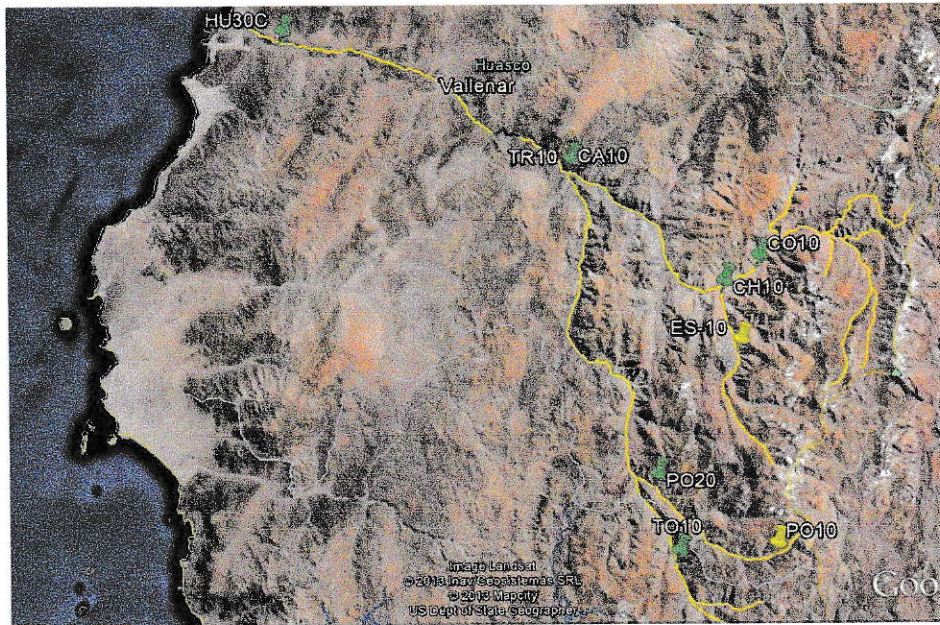
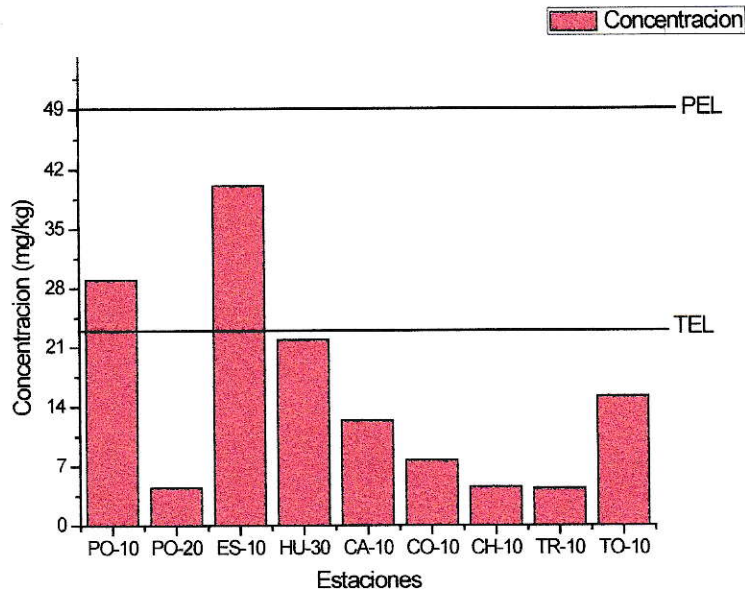
Figuras 44 y 45: Manganeso en sedimentos de la cuenca del río Huasco

- Mercurio: todas las estaciones se encontraron por debajo del TEL.



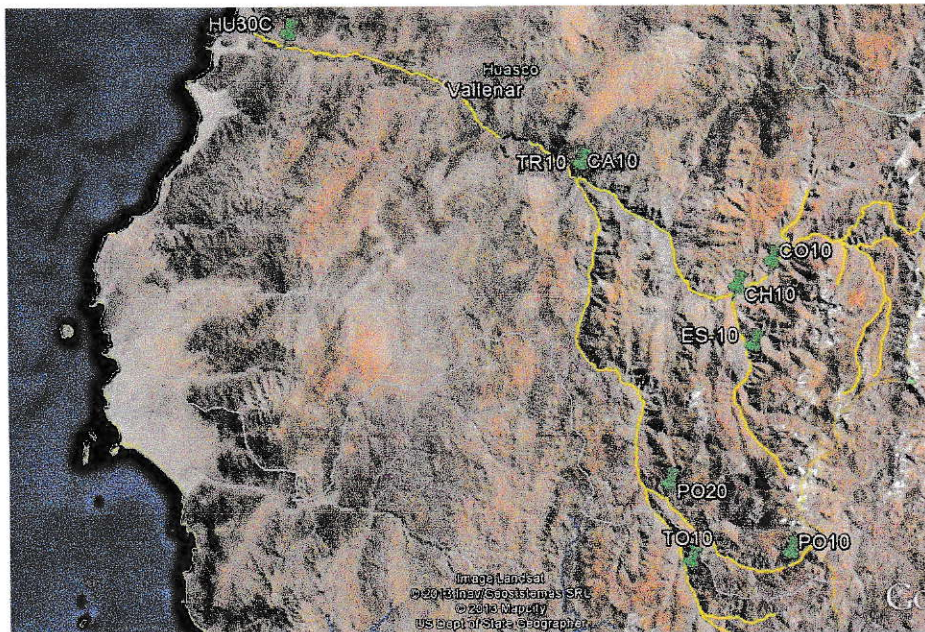
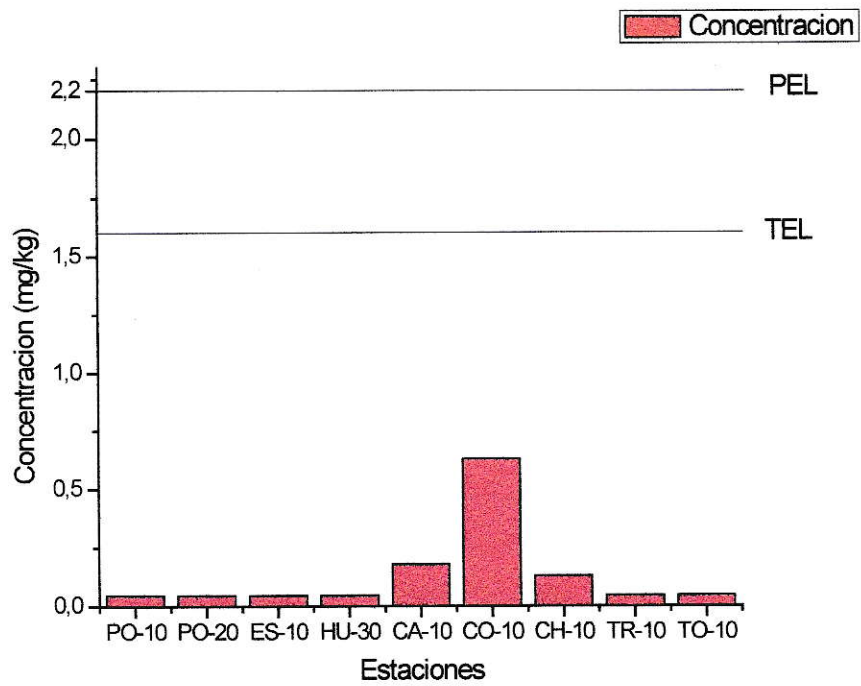
Figuras 46 y 47: Mercurio en sedimentos de la cuenca del río Huasco

- Níquel: dos estaciones se encontraron entre los niveles de TEL y PEL. Estas son PO10 y ES10. El resto de las estaciones se encontraron con niveles de concentración por debajo de TEL.



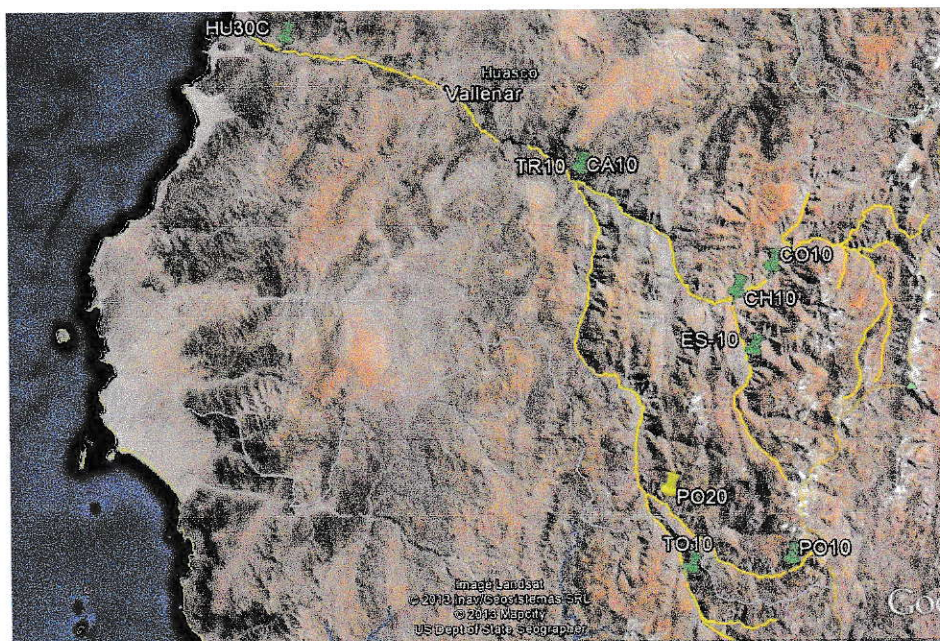
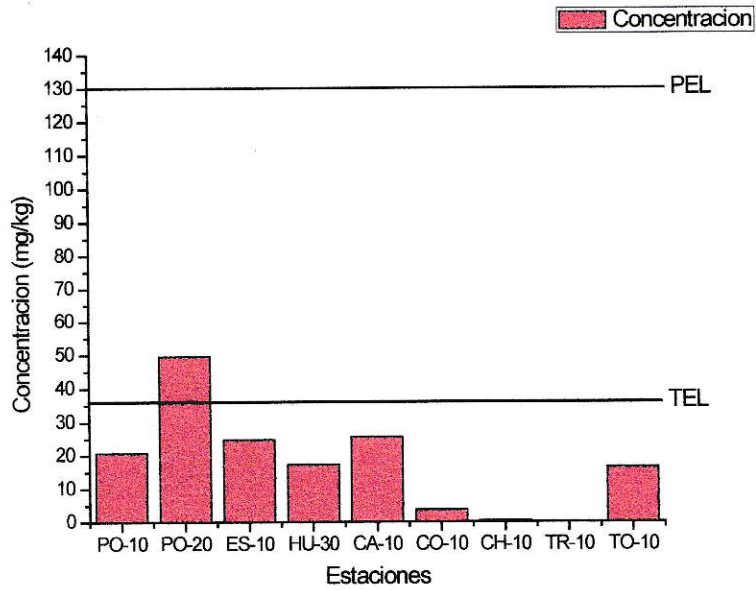
Figuras 48 y 49: Níquel en sedimentos de la cuenca del río Huasco

- Plata: todas las estaciones se encontraron por debajo del TEL.



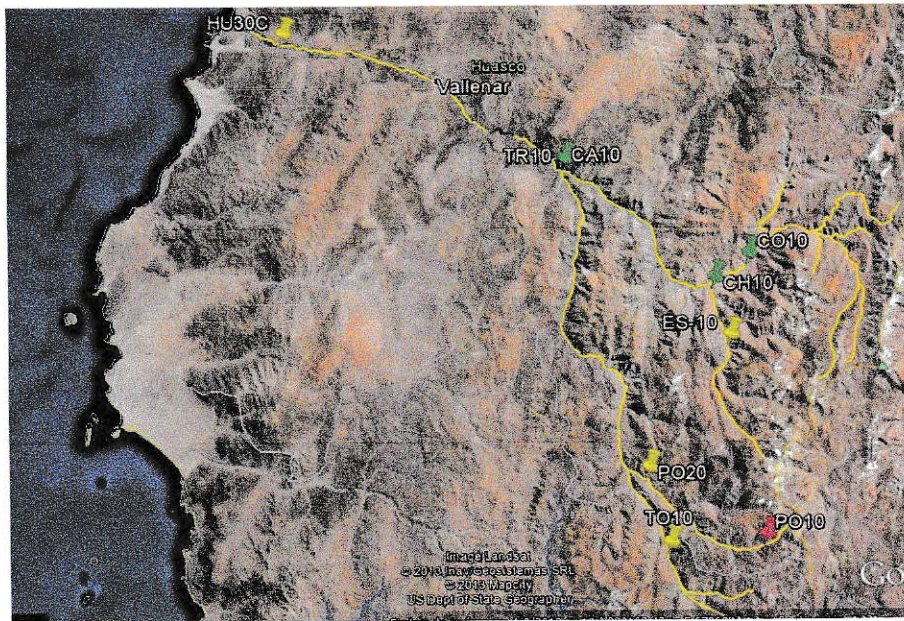
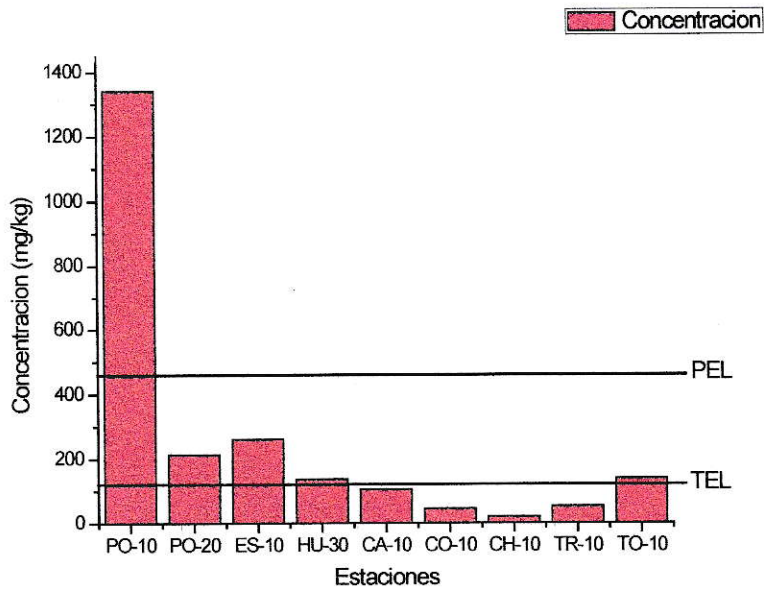
Figuras 50 y 51: Plata en sedimentos de la cuenca del río Huasco

- Plomo: de las estaciones estudiadas, sólo PO20 se encontró con niveles de concentración entre TEL y PEL. El resto de las estaciones tuvo concentraciones por debajo de TEL.



Figuras 52 y 53: Plomo en sedimentos de la cuenca del río Huasco

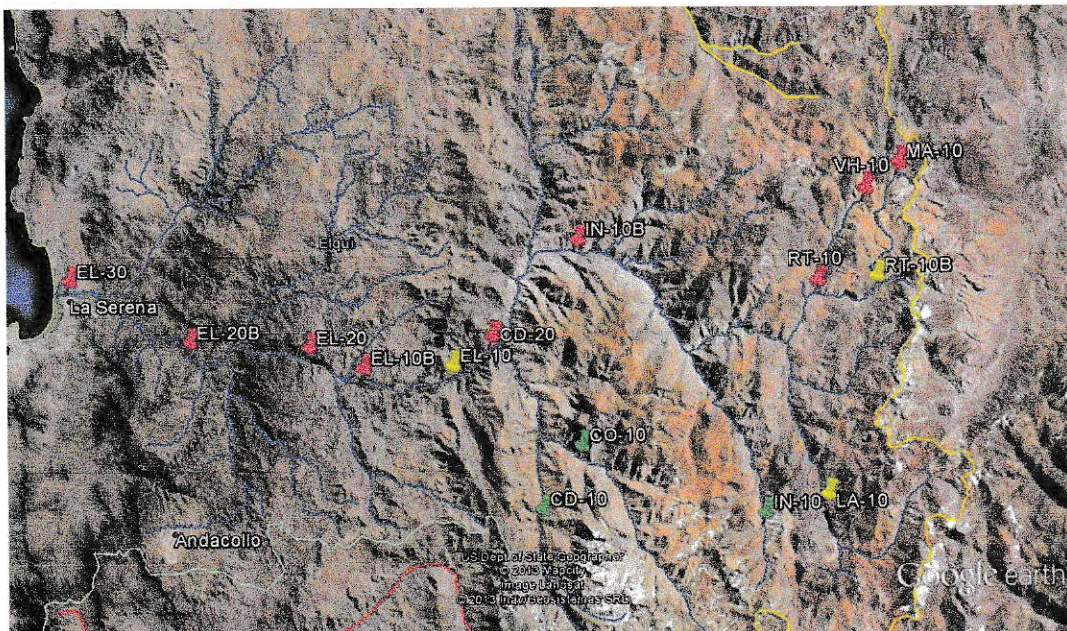
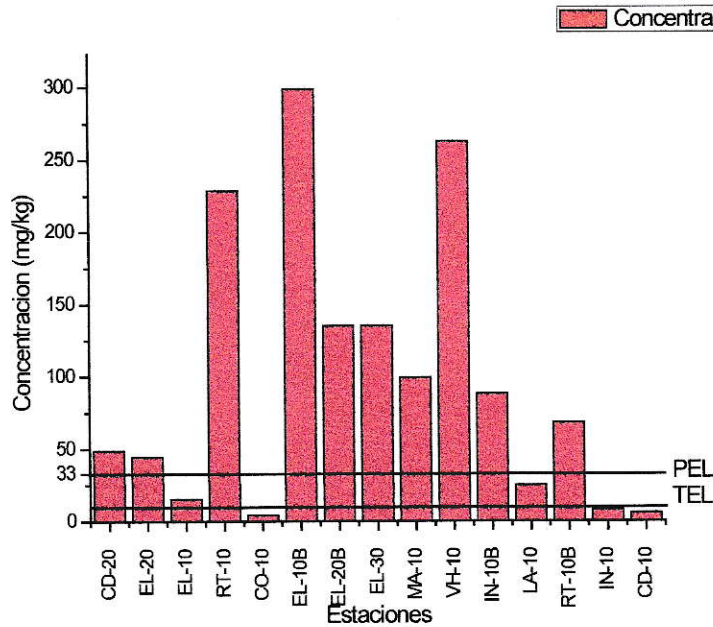
- Zinc: cuatro estaciones tuvieron concentraciones por debajo de TEL: CA10, TR10, CH10 y C010; cuatro estaciones tuvieron concentraciones entre TEL y PEL: HU30C, ES10, PO20 y TO10. Sólo la estación PO10 tuvo niveles que sobrepasaron PEL.



Figuras 54 y 55: Zinc en sedimentos de la cuenca del río Huasco

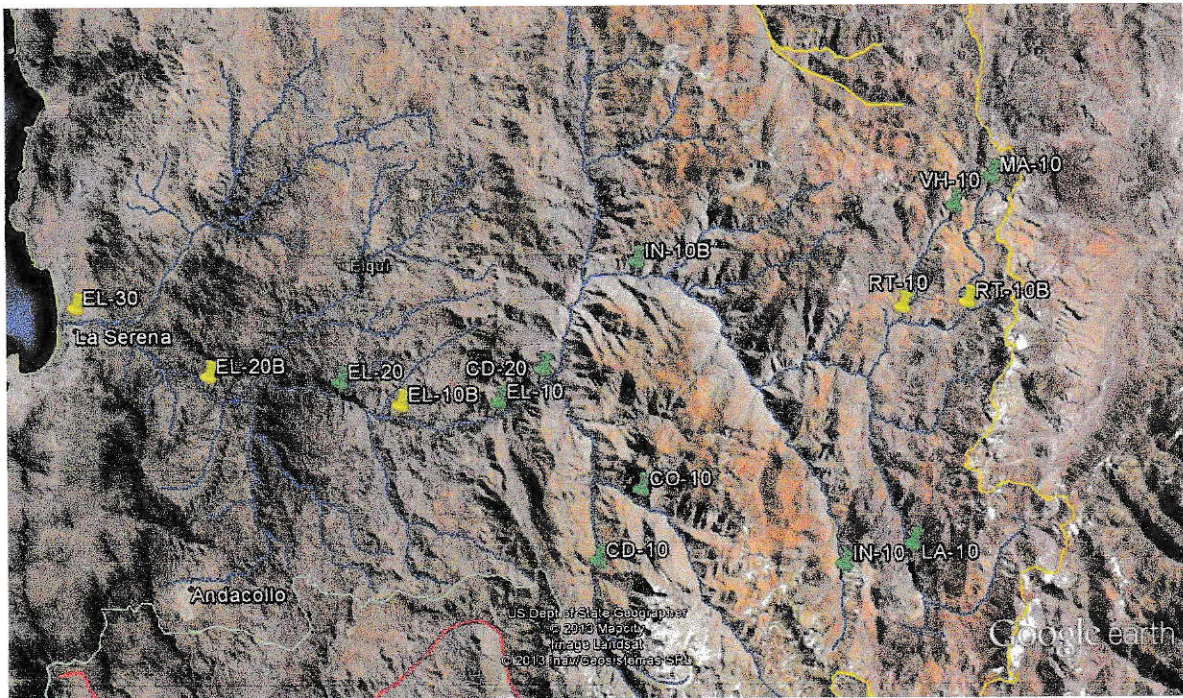
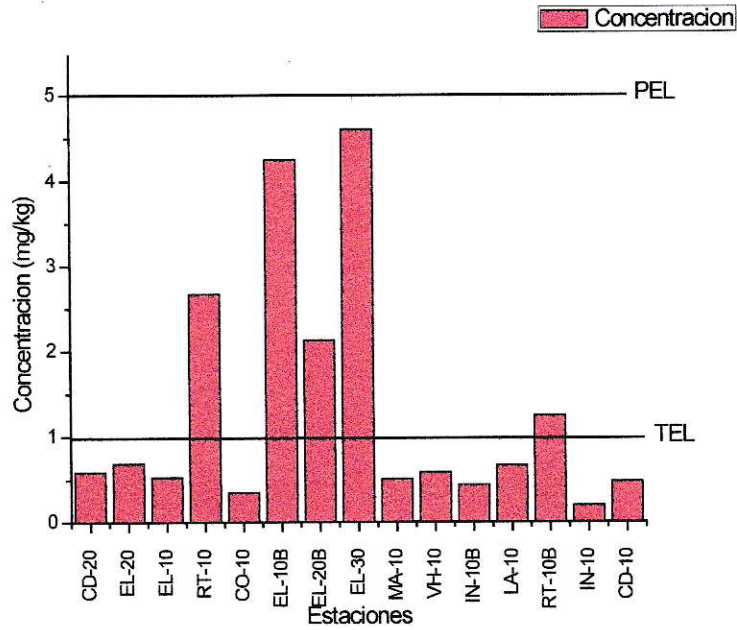
Cuenca del río Elqui:

- Arsénico: sólo se encontraron por debajo de TEL las estaciones CD-10 e IN-10. Las estaciones que tuvieron concentraciones entre TEL y PEL fueron EL-10, CO-10 y LA-10. Las estaciones que sobrepasaron el nivel de PEL fueron EL-30, EL-20B, EL-20, EL-10B, CD-20, IN-10B, RT-10, RT-10B, VH-10 y MA-10.



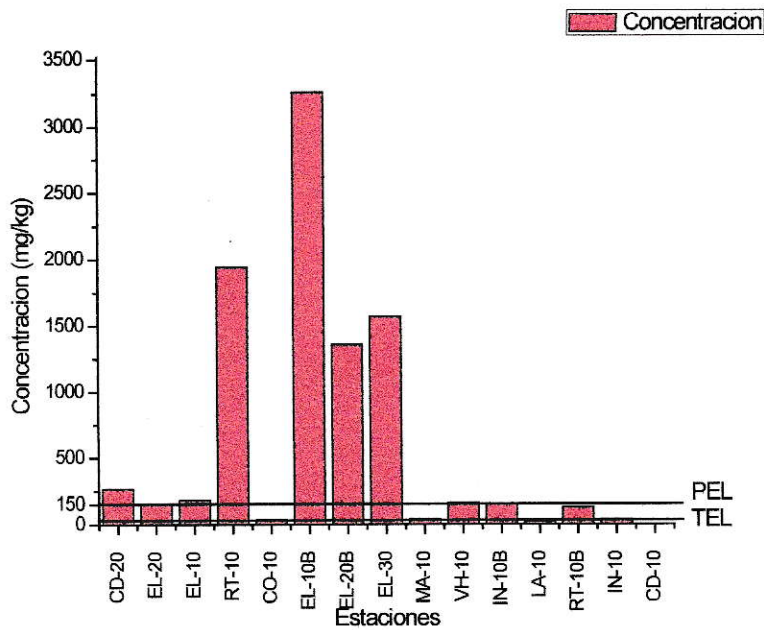
Figuras 56 y 57: Arsénico en sedimentos de la cuenca del río Elqui

- Cadmio: ninguna estación sobrepasó el nivel de PEL, mientras que EL-20, EL-10, CD-20, IN-10B, VH-10, MA-10, CO-10, CD-10, IN-10 y LA-10 mantuvieron sus concentraciones por debajo de TEL. Las estaciones EL-30, EL-20B, EL-10B, RT-10 y RT-10B se encontraron entre TEL y PEL.



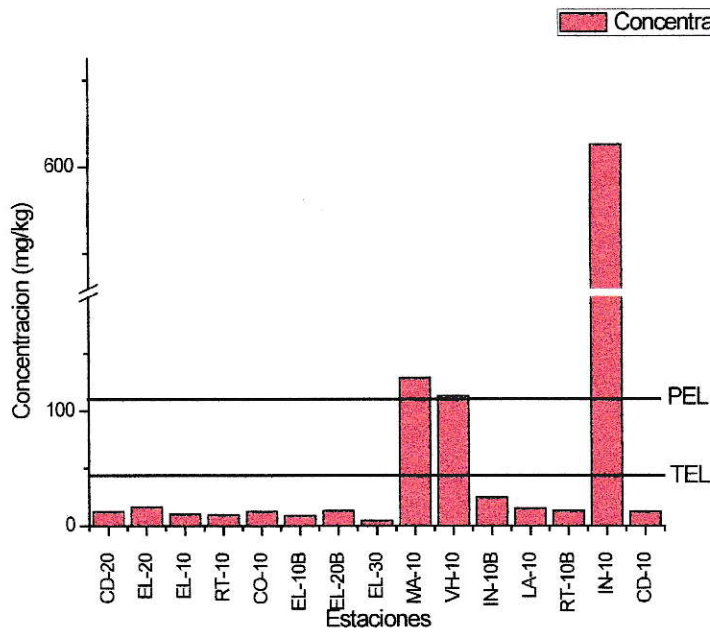
Figuras 58 y 59: Cadmio en sedimentos de la cuenca del río Elqui

- Cobre: sólo las estaciones CD-10 y LA-10 tuvieron sus concentraciones por debajo de TEL, mientras que CO-10, MA-10 e IN-10 se encontraron entre TEL y PEL. El resto de las estaciones tuvo sus concentraciones por sobre el nivel de PEL.



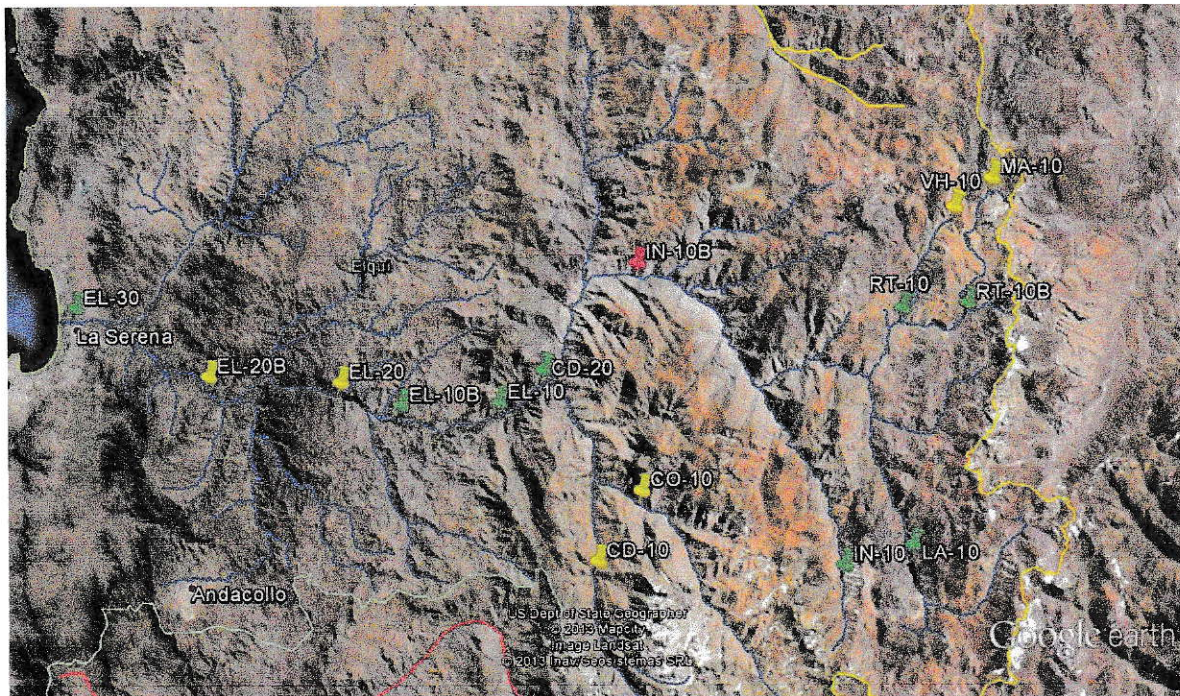
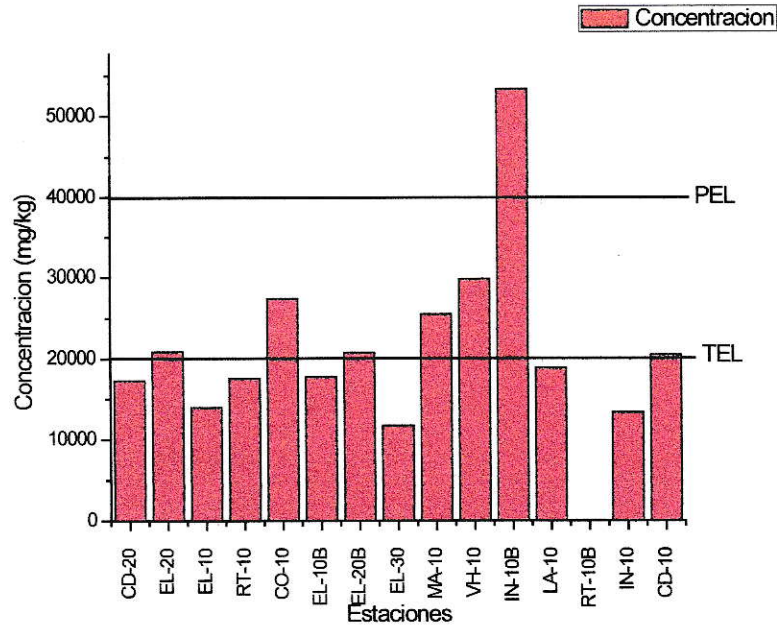
Figuras 60 y 61: Cobre en sedimentos de la cuenca del río Elqui

- Cromo: salvo VH-10, MA-10 e IN-10, que tuvieron sus concentraciones por sobre PEL, todas las demás estaciones se encontraron por debajo de TEL. No se encontraron estaciones con valores intermedios entre estas dos referencias.



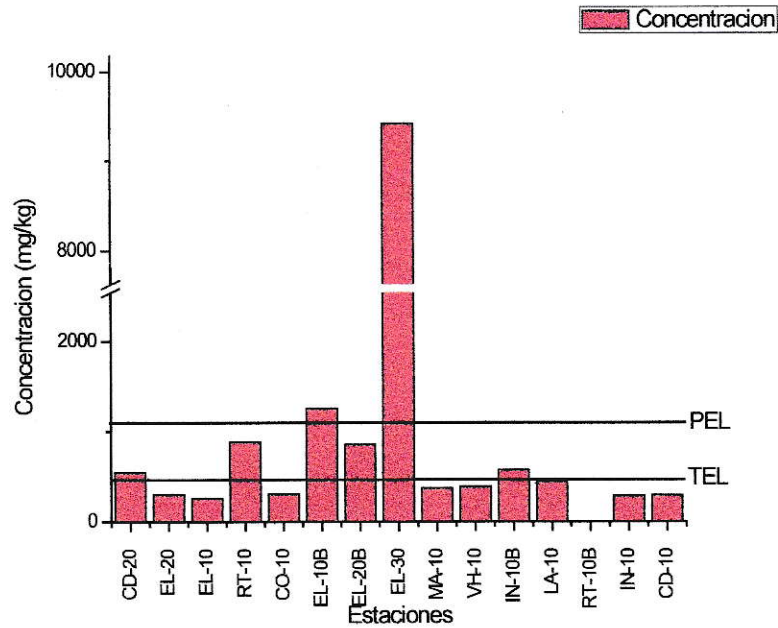
Figuras 62 y 63: Cromo en sedimentos de la cuenca del río Elqui

- Hierro: las estaciones bajo el nivel de TEL corresponden a EL-30, EL-10B, EL-10, CD-20, RT-10, RT-10B, IN-10 y LA-10. Las estaciones con valores intermedios entre TEL y PEL fueron EL-20B, EL-20, CO-10, CD-10, VH-10 y MA-10. La estación IN-10B fue la única que superó el nivel de PEL.



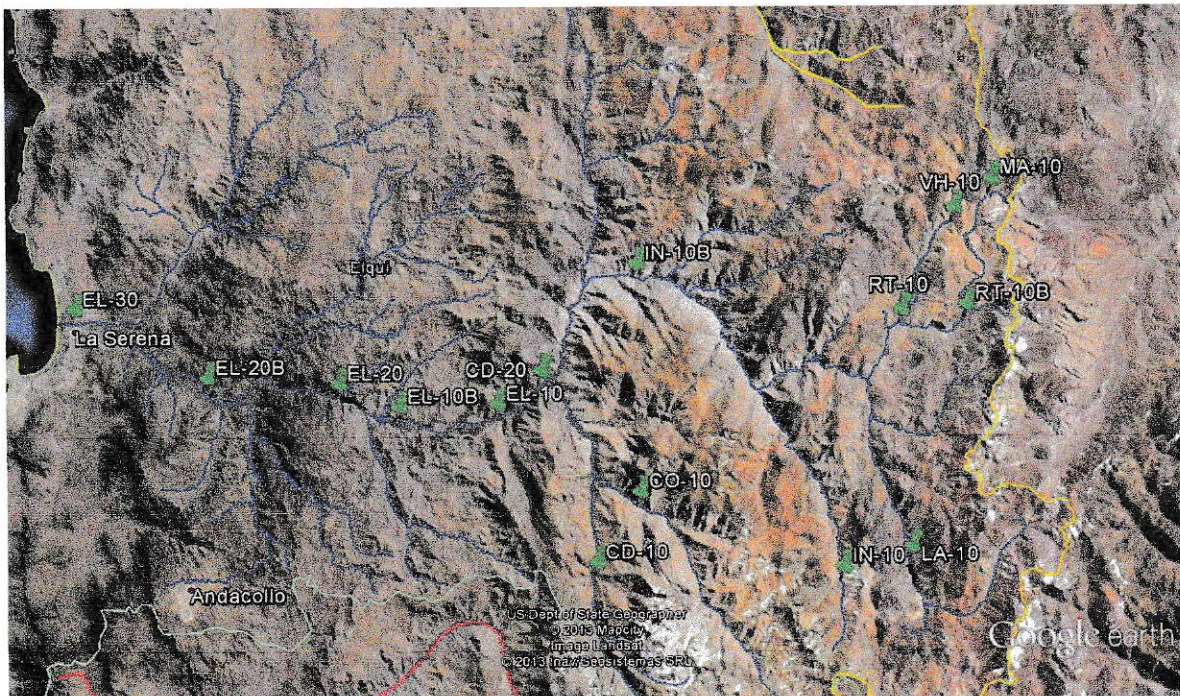
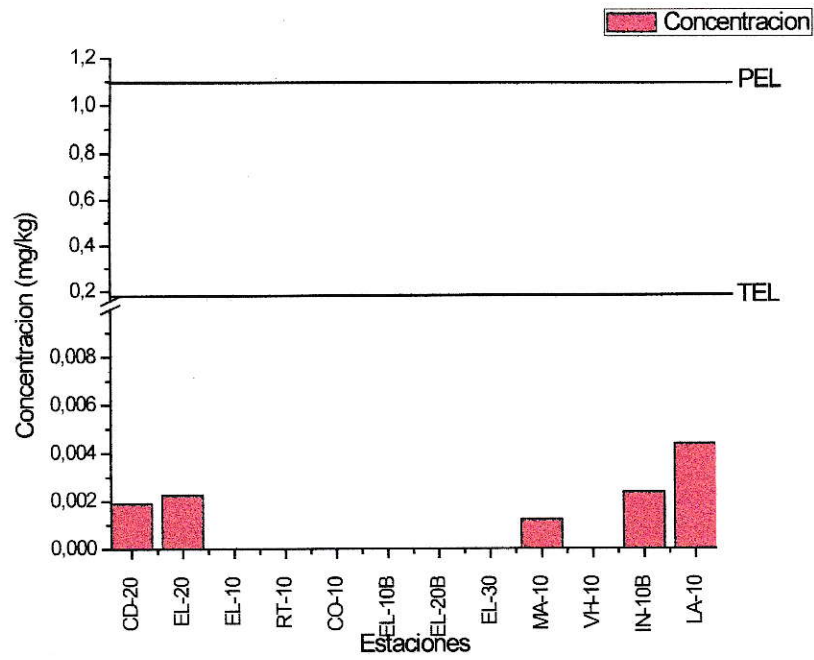
Figuras 64 y 65: Hierro en sedimentos de la cuenca del río Elqui

- Manganeso: las estaciones que estuvieron bajo el nivel de TEL fueron EL-20, EL-10, CO-10, CD-10, IN-10, LA-10, RT-10B, MA-10 y VH-10. En el nivel intermedio están EL-20B, CD-20, IN-10B y RT-10, mientras que EL-30 y EL-10B se encontraron por sobre el nivel de PEL.



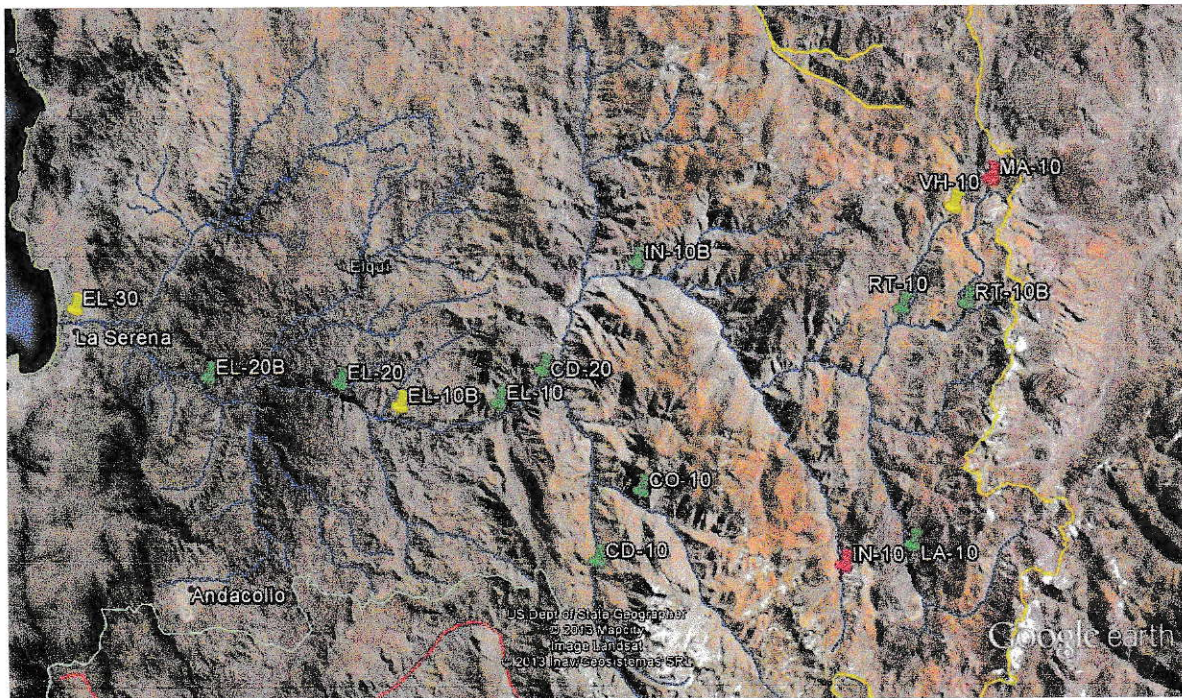
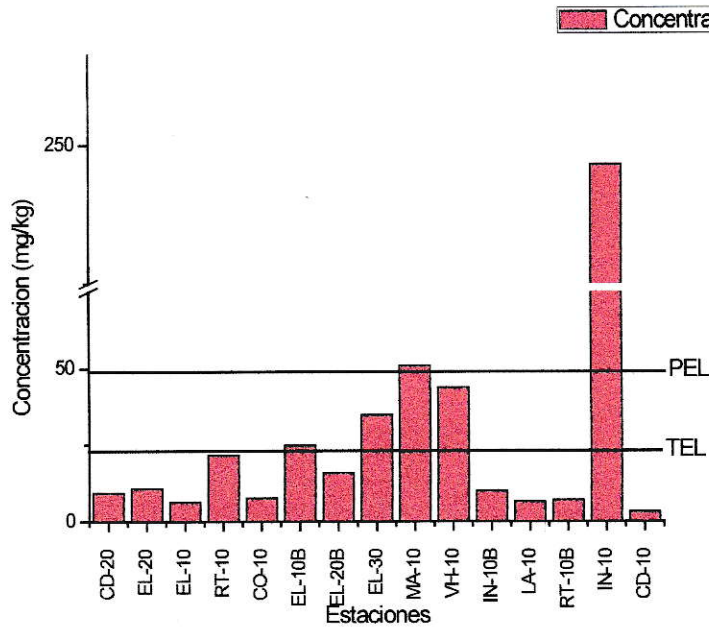
Figuras 66 y 67: Manganeso en sedimentos de la cuenca del río Elqui

- Mercurio: todas las estaciones estuvieron bajo el nivel de TEL.



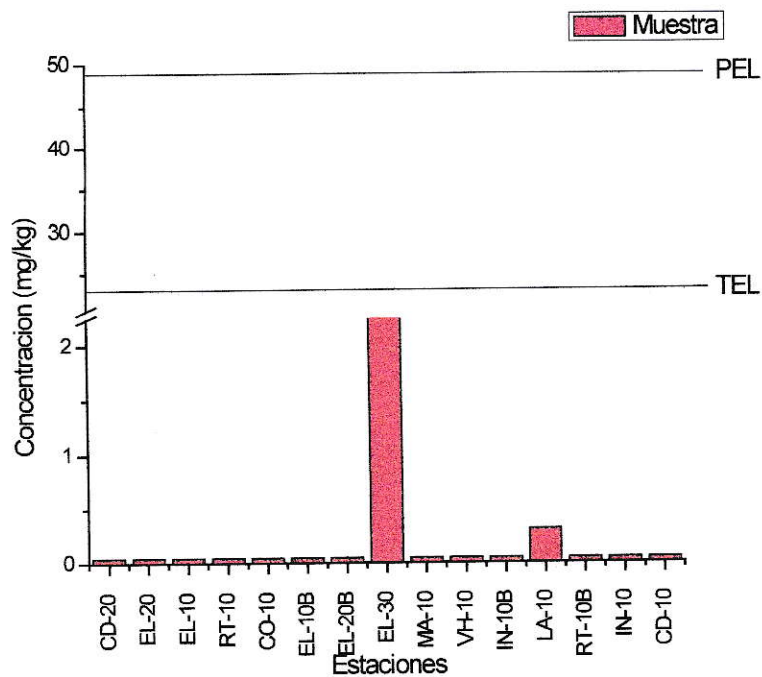
Figuras 68 y 69: Mercurio en sedimentos de la cuenca del río Elqui

- Níquel: las estaciones que están bajo el nivel de TEL son EL-20B, EL-20, EL-10, CD-20, CO-10, CD-10, LA-10, RT-10, RT-10B e IN-10B. Las estaciones que se encuentran entre TEL y PEL son EL-30, EL-10B y VH-10. Sobre el límite de PEL se encuentran IN-10 y MA-10. Sobre el límite de PEL se encuentran IN-10 y MA-10.



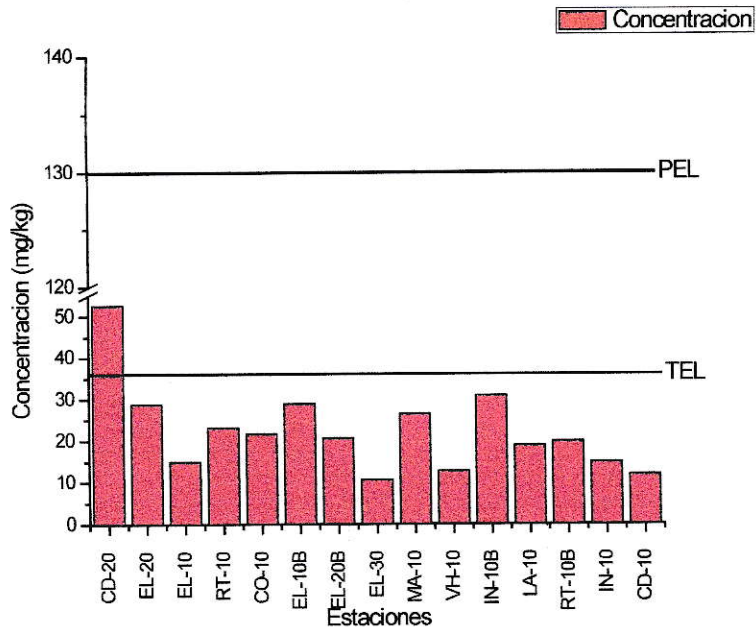
Figuras 70 y 71: Níquel en sedimentos de la cuenca del río Elqui

- Plata: todas las estaciones se encuentran por debajo del límite de TEL.



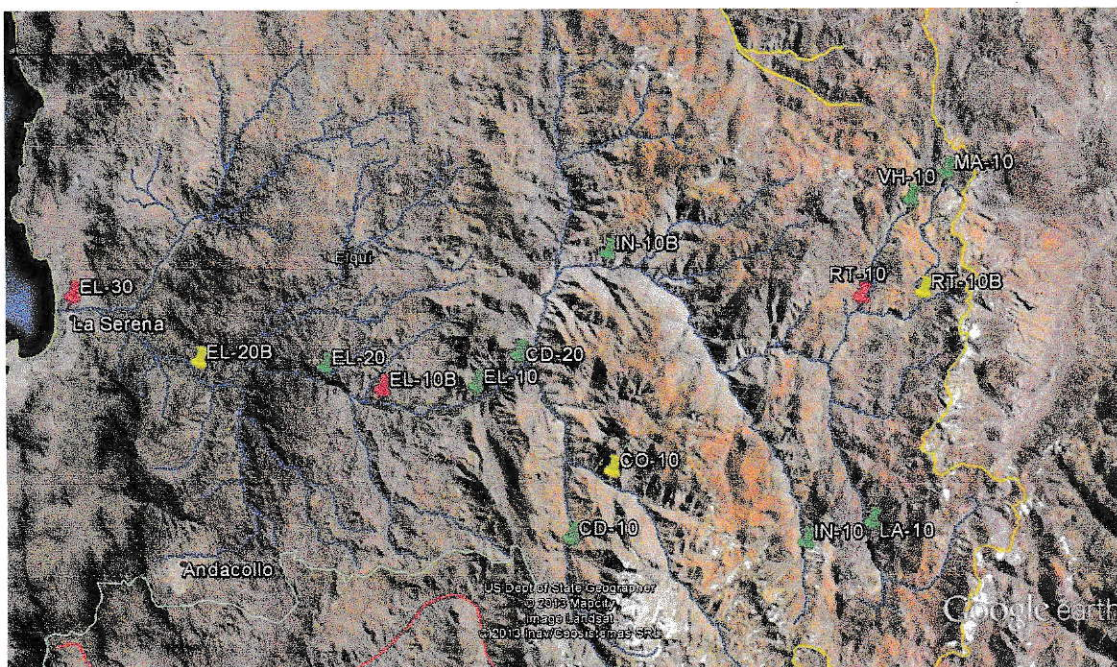
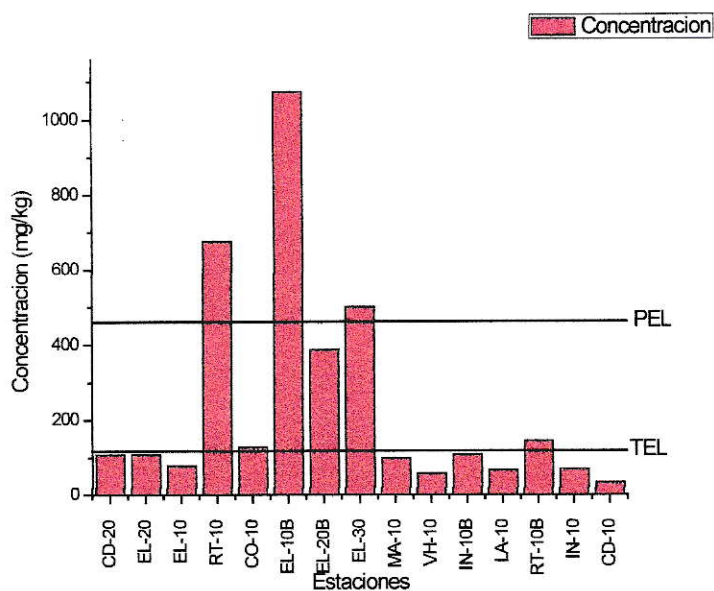
Figuras 72 y 73: Plata en sedimentos de la cuenca del río Elqui

- Plomo. todas las estaciones se encuentran por debajo del TEL, con excepción de CD-20, que posee concentraciones que se encuentran entre TEL y PEL.



Figuras 74 y 75: Plomo en sedimentos de la cuenca del río Elqui

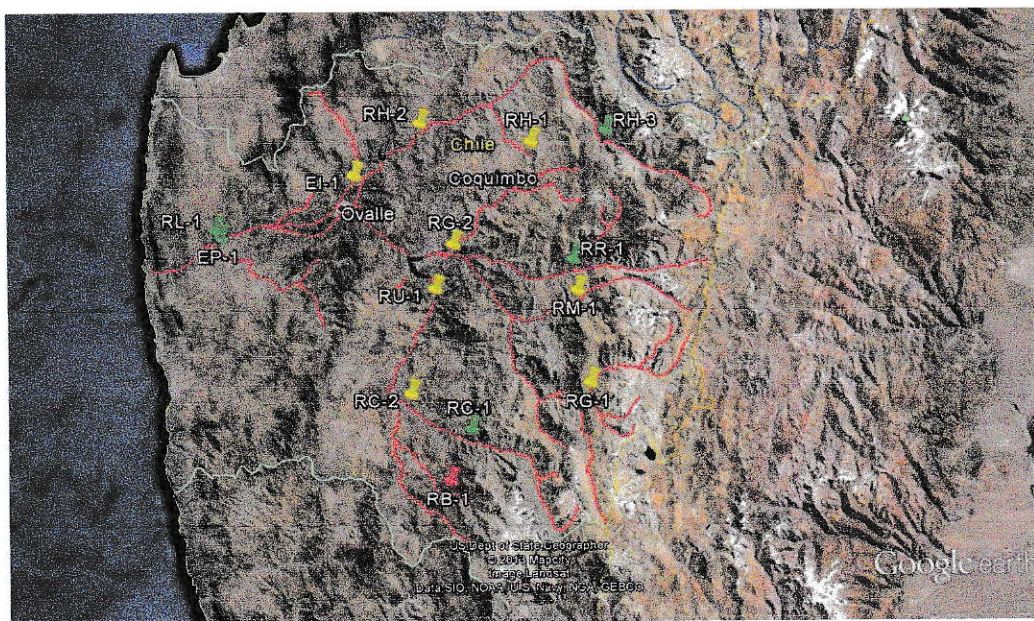
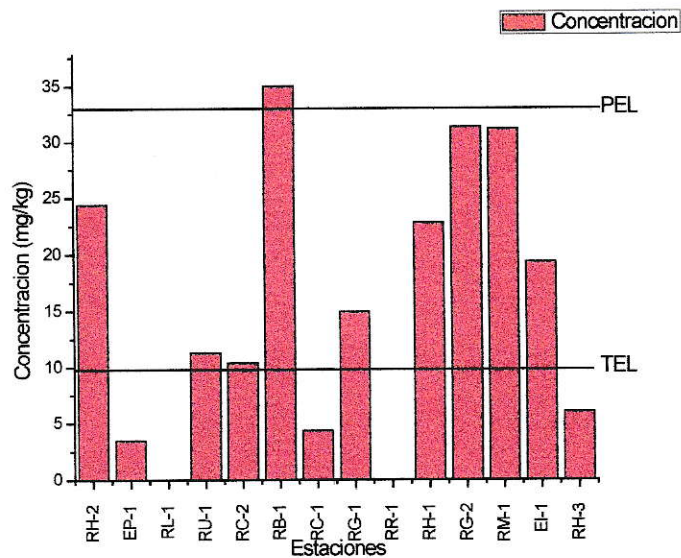
- Zinc: las estaciones EL-20, EL-10, CD-20, CD-10, IN-10, LA-10, IN-10B, VH-10 y MA-10 se encuentran por debajo del límite de TEL. Las estaciones EL-20B, CO-10 y RT-10B se encuentran entre los límites de TEL y PEL, mientras que EL-30, EL-10B y RT-10 se hallan por encima del límite de PEL.



Figuras 76 y 77: Zinc en sedimentos de la cuenca del río Elqui

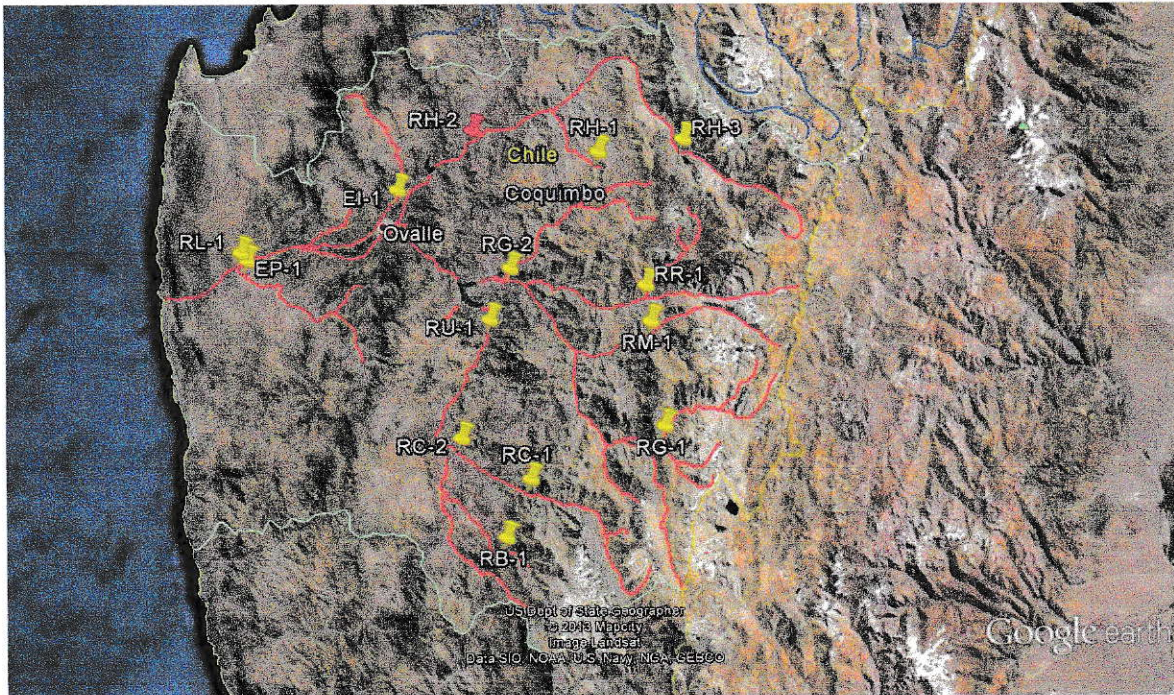
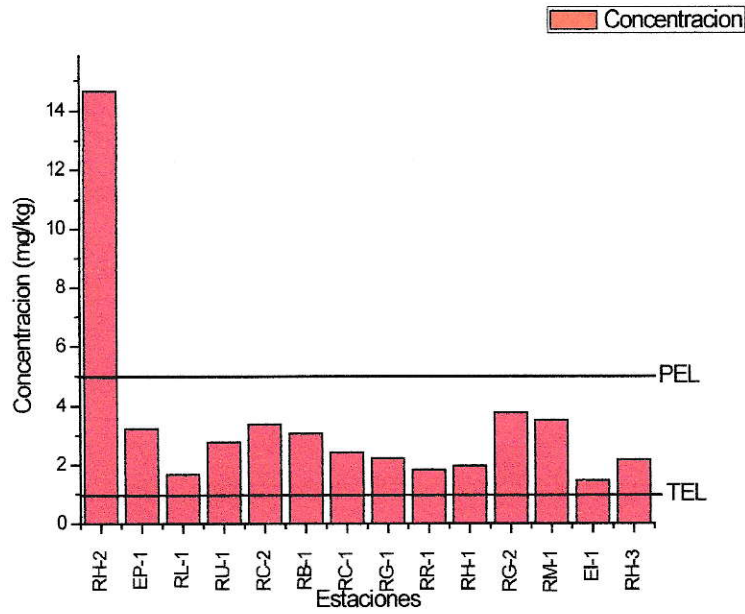
Cuenca del río Limarí

- Arsénico: las estaciones bajo el nivel de TEL son RL-1, EP-1, RC-1, RR-1 y RH-3, mientras que las estaciones con concentraciones entre TEL y PEL son RU-1, RG-2, RC-2, RM-1, RG-1, EI-1, RH.2 y RH-1. Por otro lado, la única estación que sobrepasa el límite PEL es RB-1.



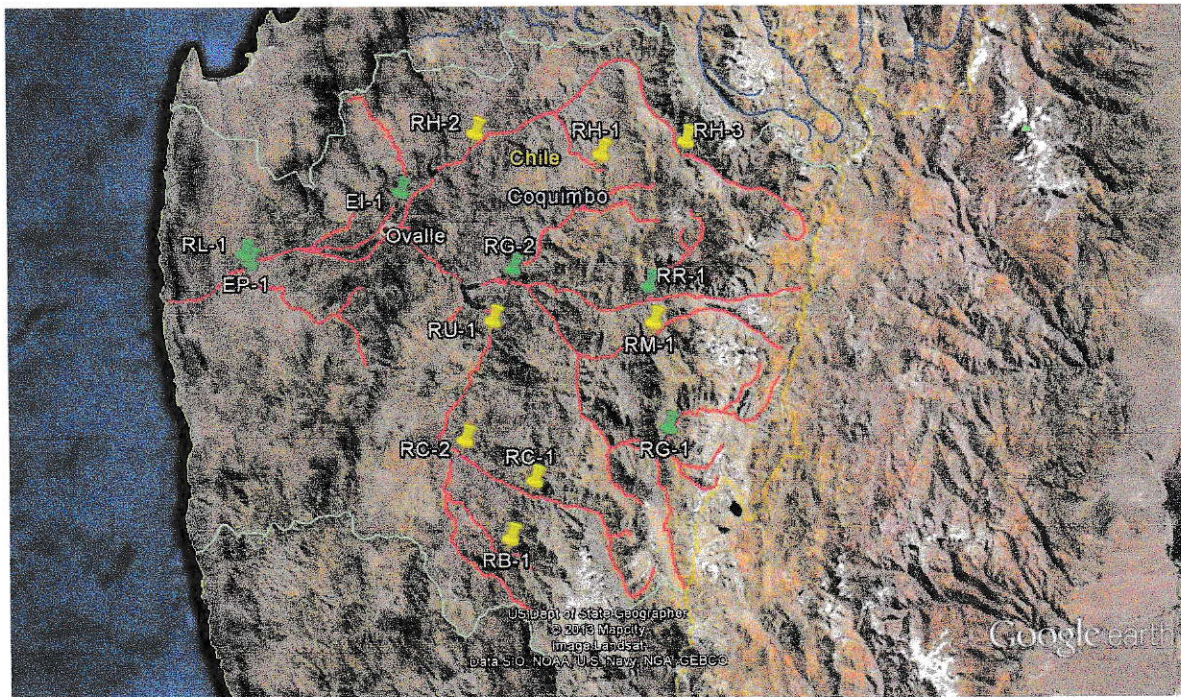
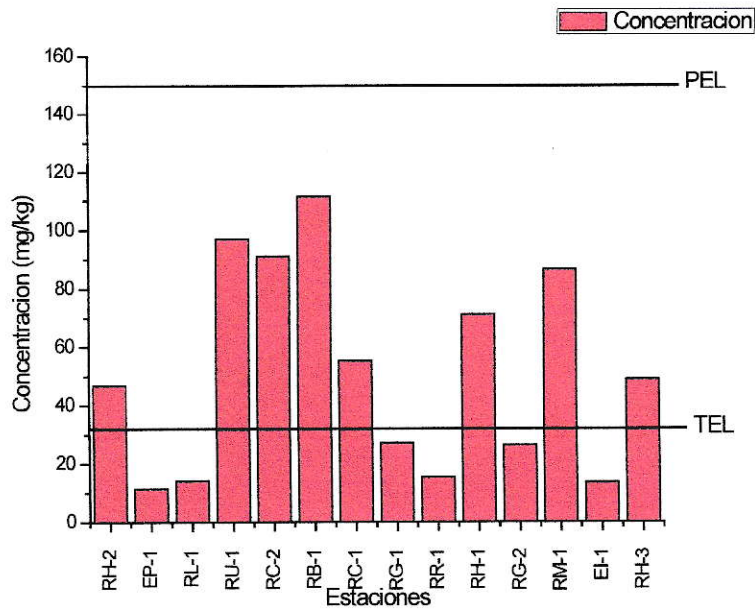
Figuras 78 y 79: Arsénico en sedimentos de la cuenca del río Limarí

- Cadmio: todas las estaciones presentan concentraciones entre TEL y PEL, con excepción de RH-2, la cual se encuentra por sobre el nivel de PEL.



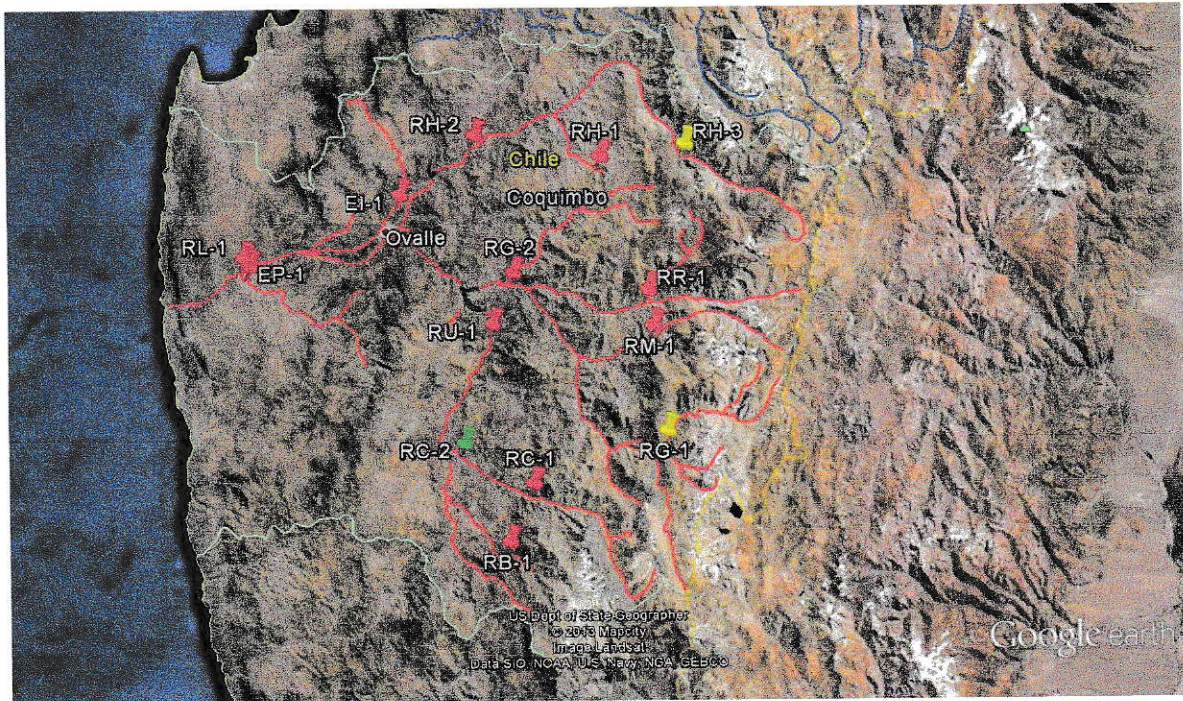
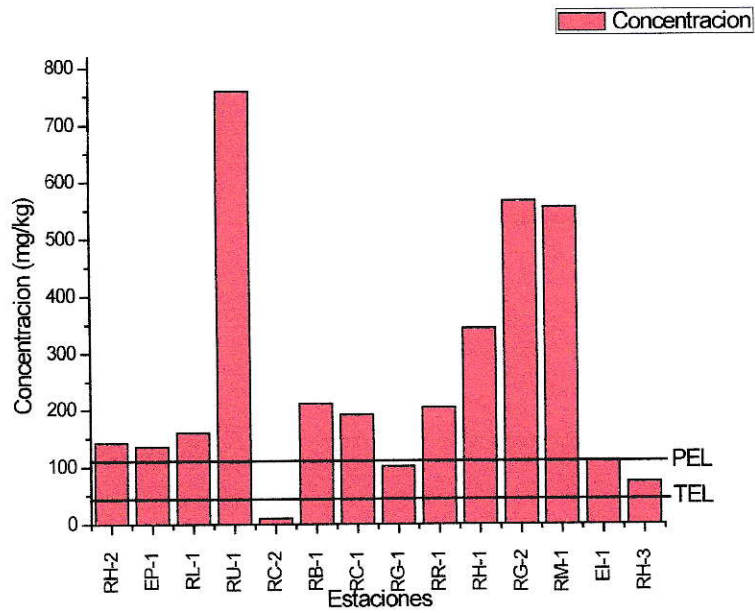
Figuras 80 y 81: Cadmio en sedimentos de la cuenca del río Limarí

- Cobre: las estaciones RL-1, EP-1, RG-2, RR-1 y RG-1 se encuentran por debajo del límite TEL, mientras que el resto de las estaciones poseen concentraciones entre TEL y PEL.



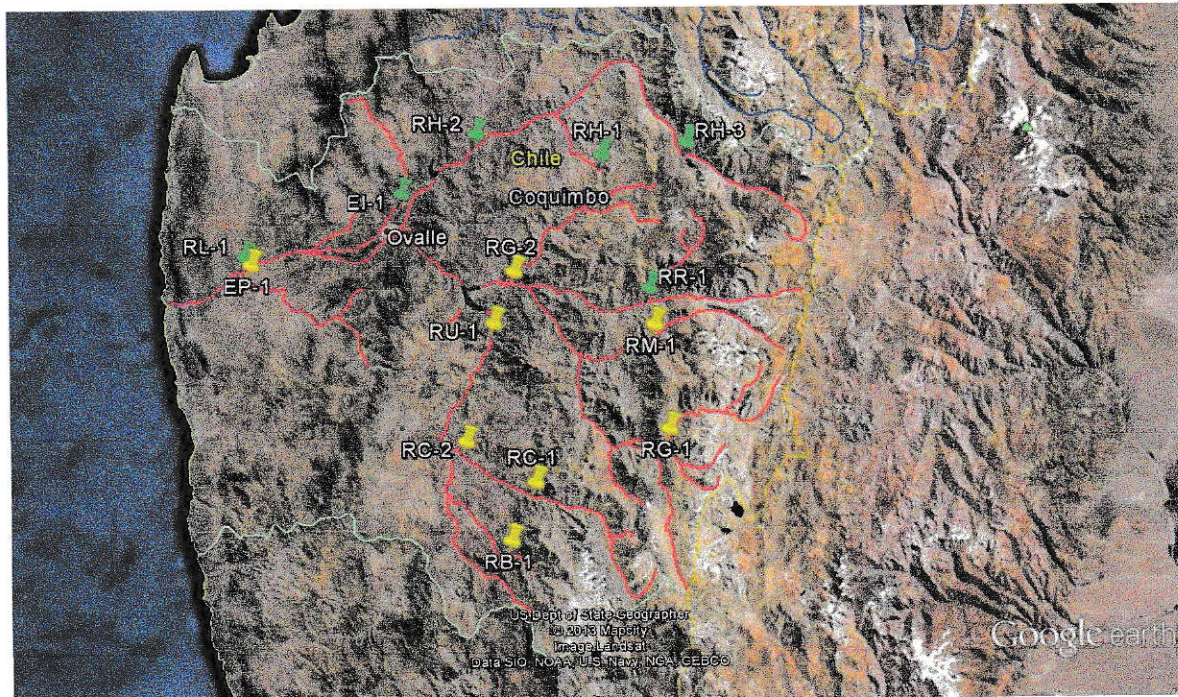
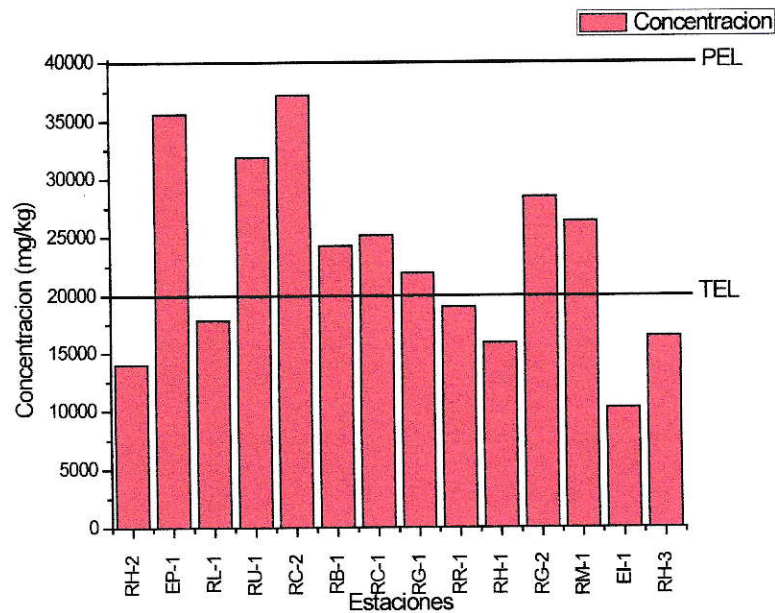
Figuras 82 y 83: Cobre en sedimentos de la cuenca del río Limarí

- Cromo: todas las estaciones superan el límite de PEL, con excepción de RH-3 y RG-1, que se encuentran entre ambos límites, y RC-2, que se ubica bajo el límite de TEL.



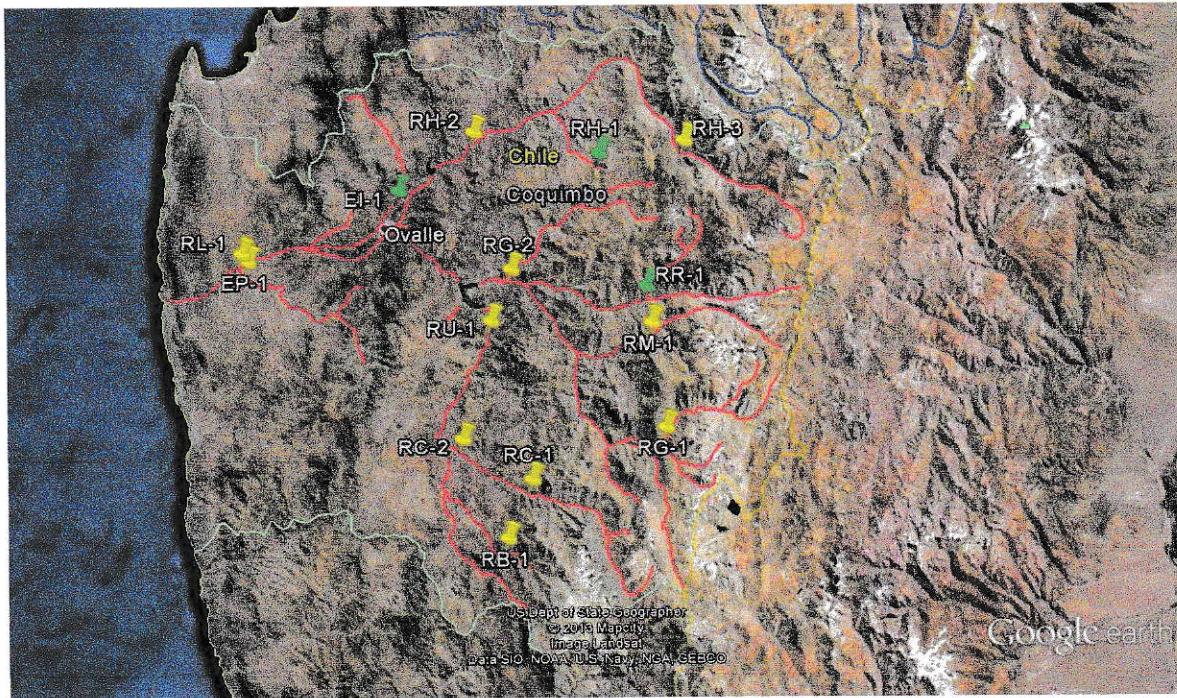
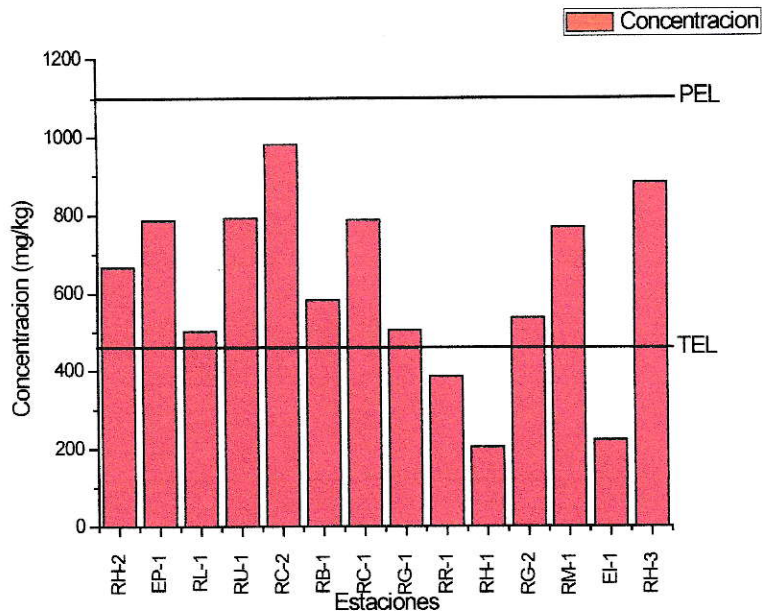
Figuras 84 y 85: Cromo en sedimentos de la cuenca del río Limarí

- Hierro: las estaciones RL-1, RH-2, RH-3, RH-3 y RR-1 poseen valores de concentración por debajo del TEL, mientras que el resto de las estaciones poseen concentraciones entre TEL y PEL.



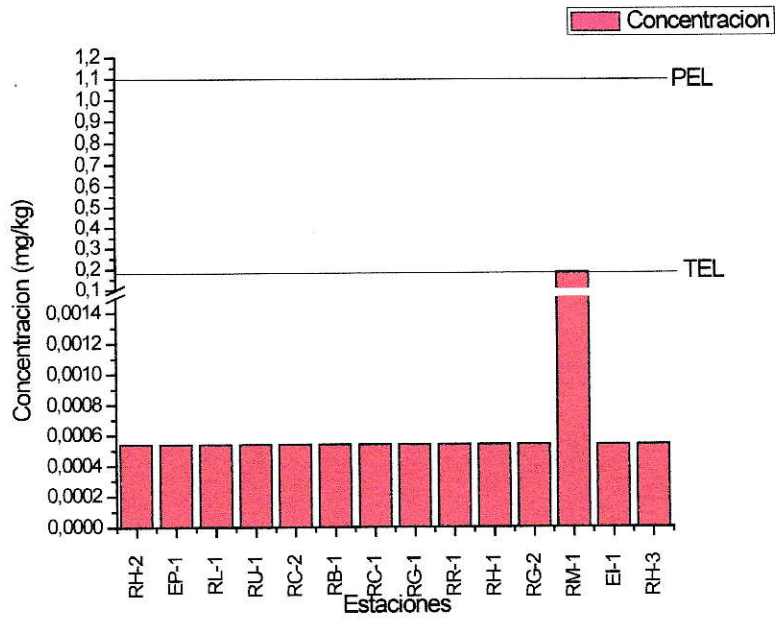
Figuras 86 y 87: Hierro en sedimentos de la cuenca del río Limarí

- Manganeso: todas las estaciones poseen niveles entre TEL y PEL, con excepción de RH-1 y RR-1, que se ubican por debajo del nivel TEL.

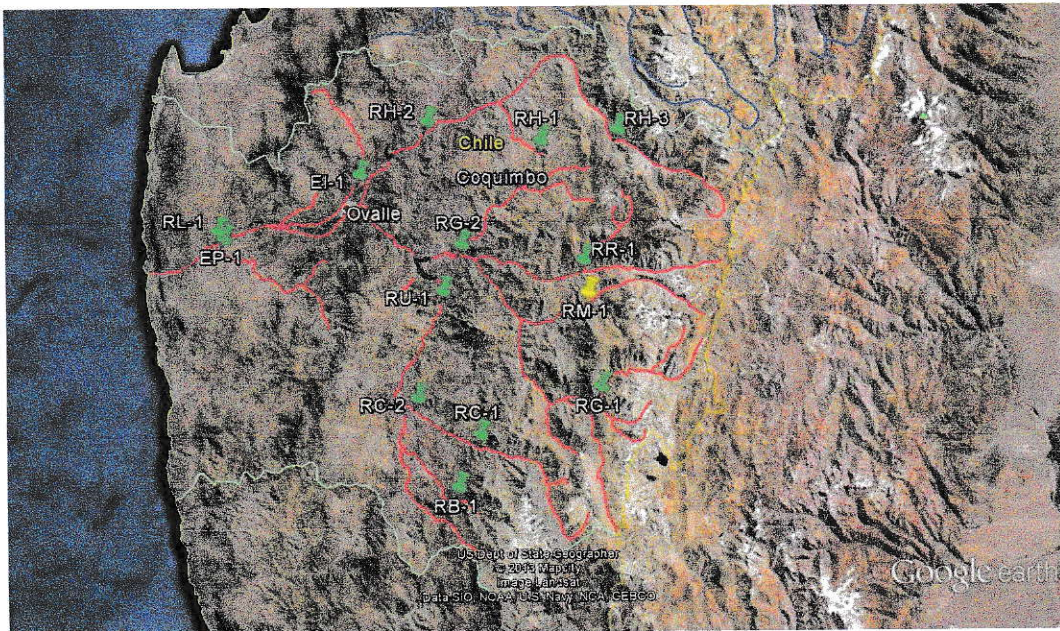


Figuras 88 y 89: Manganeso en sedimentos de la cuenca del río Limarí

- Mercurio: todas las estaciones están bajo TEL, salvo RM-1, la cual está ubicada entre TEL y PEL.

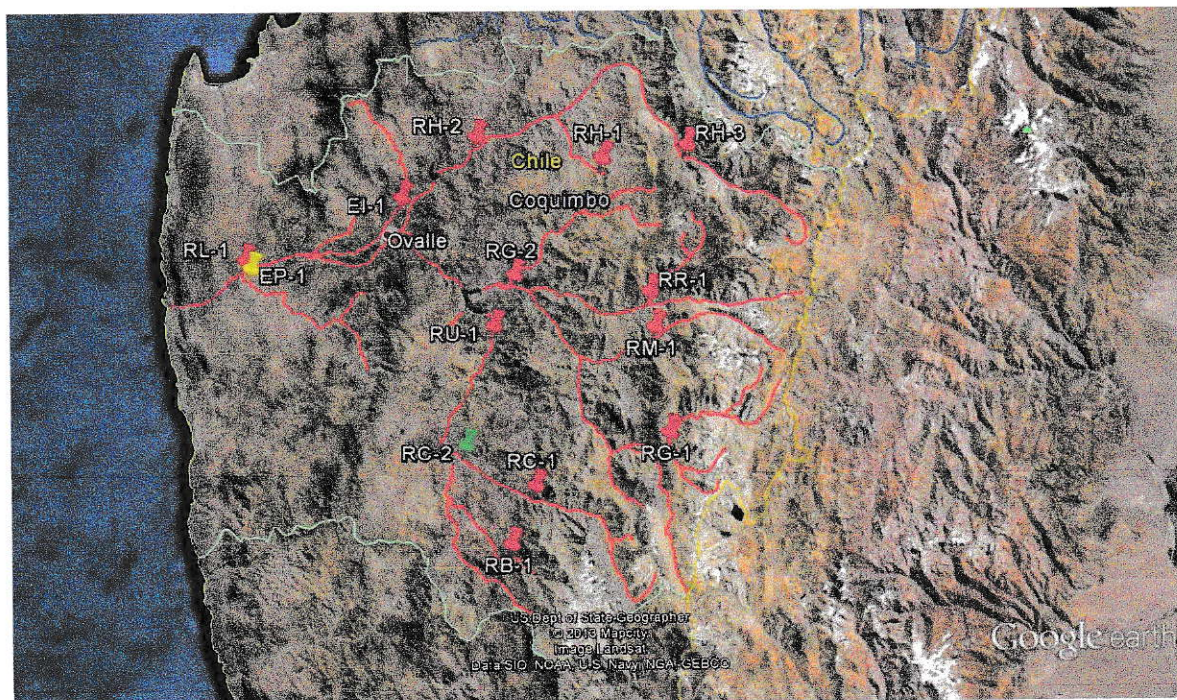
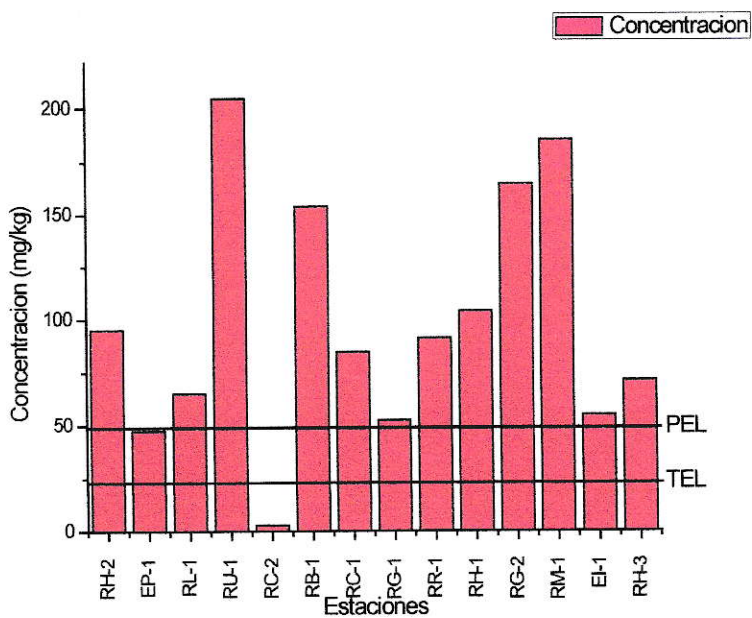


El resto de las estaciones tuvo concentraciones inferiores al límite de detección (LD), de 0,00054 mg/kg.



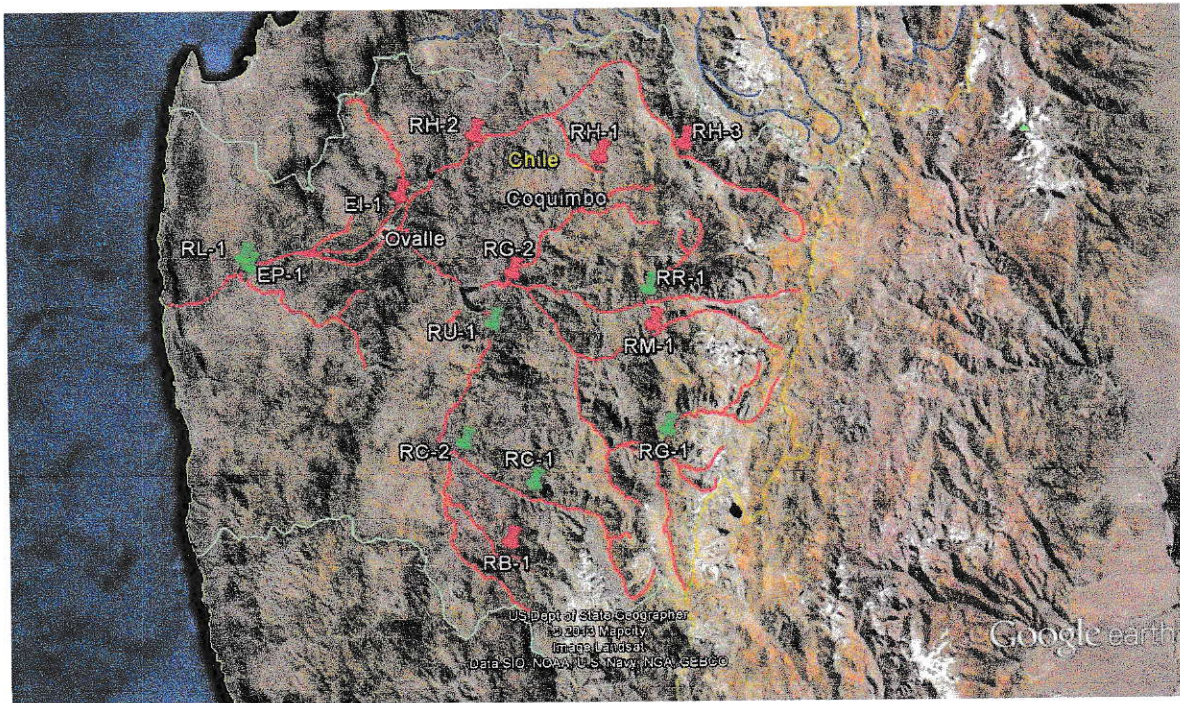
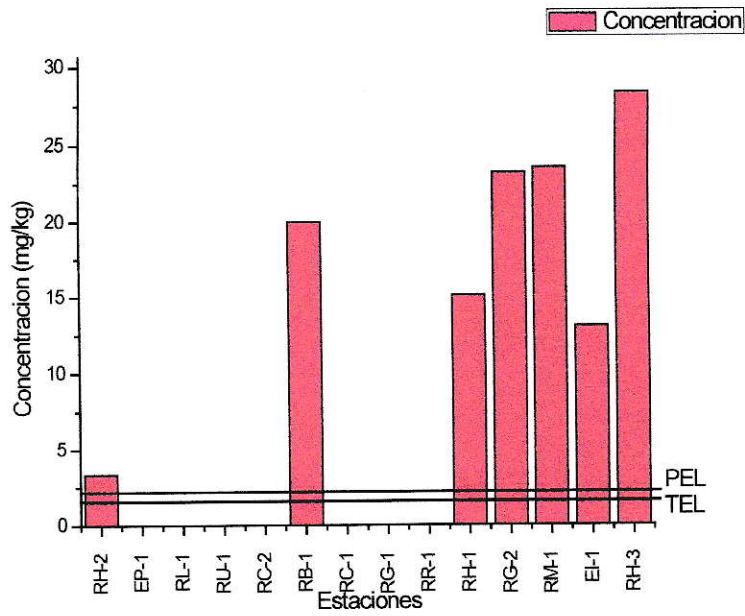
Figuras 90 y 91: Mercurio en sedimentos de la cuenca del río Limarí

- Níquel: la gran mayoría de las estaciones están sobre el nivel PEL, con excepción de RH-3 y RC-2, con niveles bajo el TEL, y EP-1, que está entre TEL y PEL.



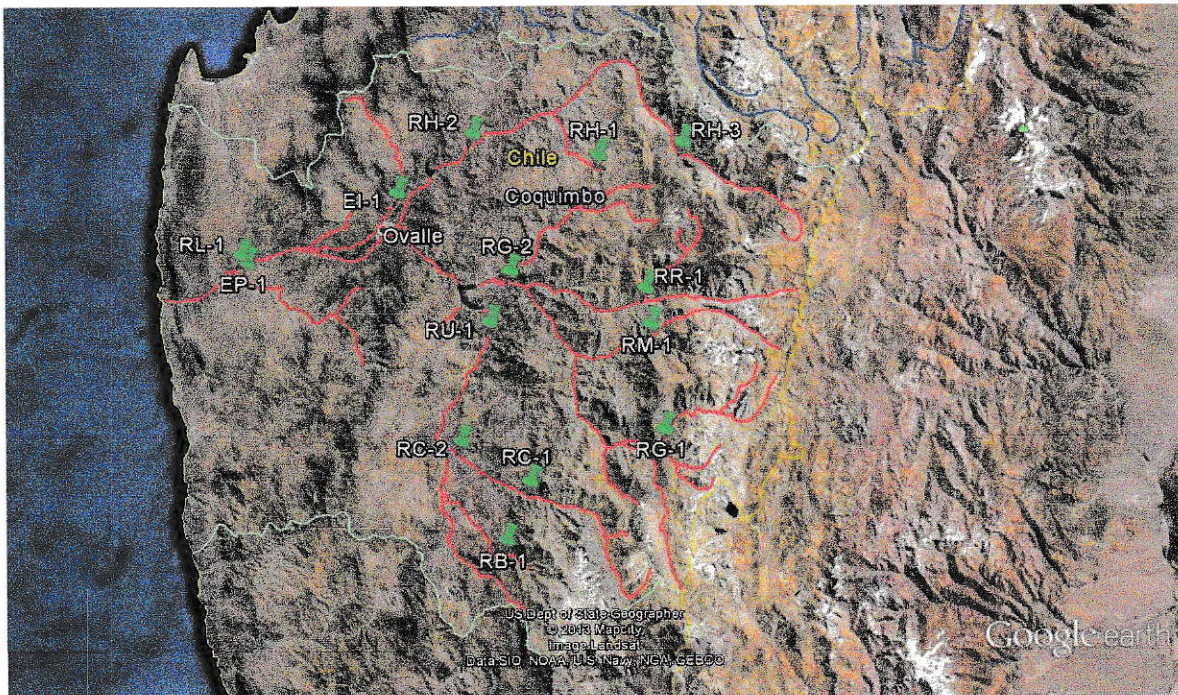
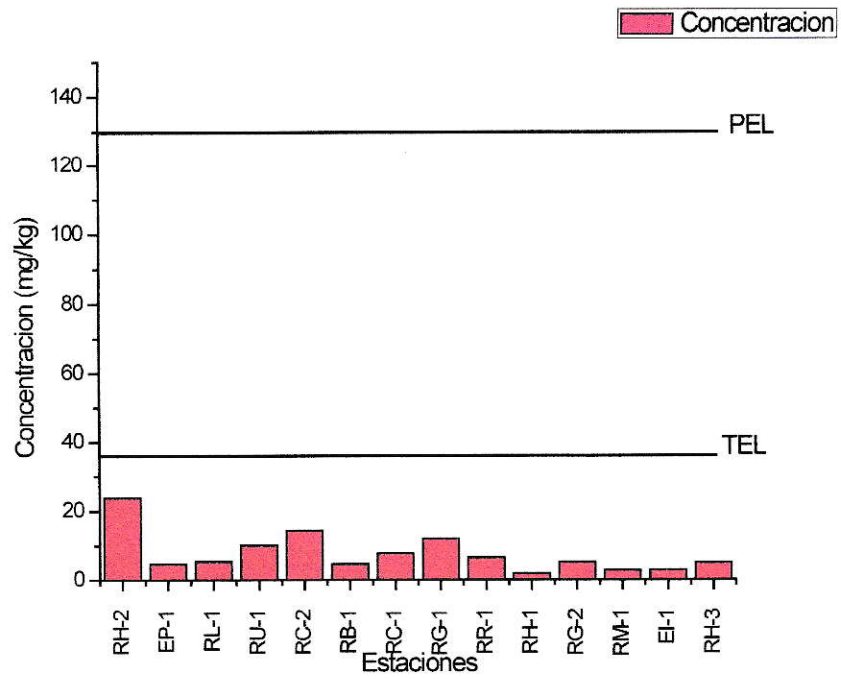
Figuras 92 y 93: Níquel en sedimentos de la cuenca del río Limarí

- Plata: las estaciones RL-1, EP-1, RR-1, RU-1, RG-1, RC-2 y RC-1 se encuentran bajo TEL, mientras que el resto se ubica por sobre el nivel PEL.



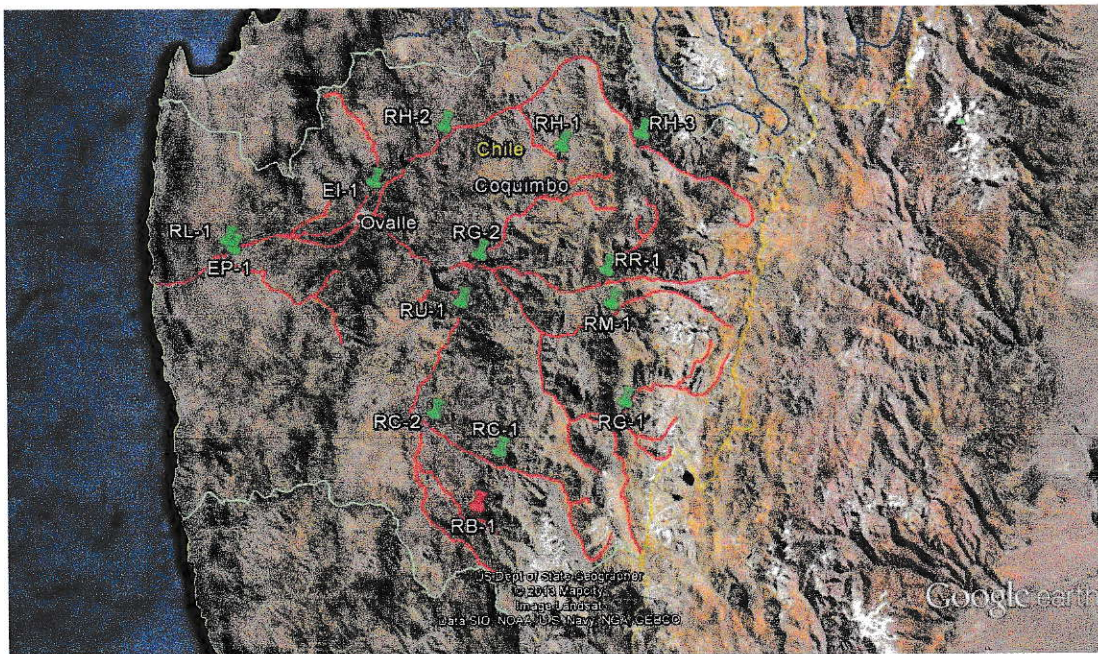
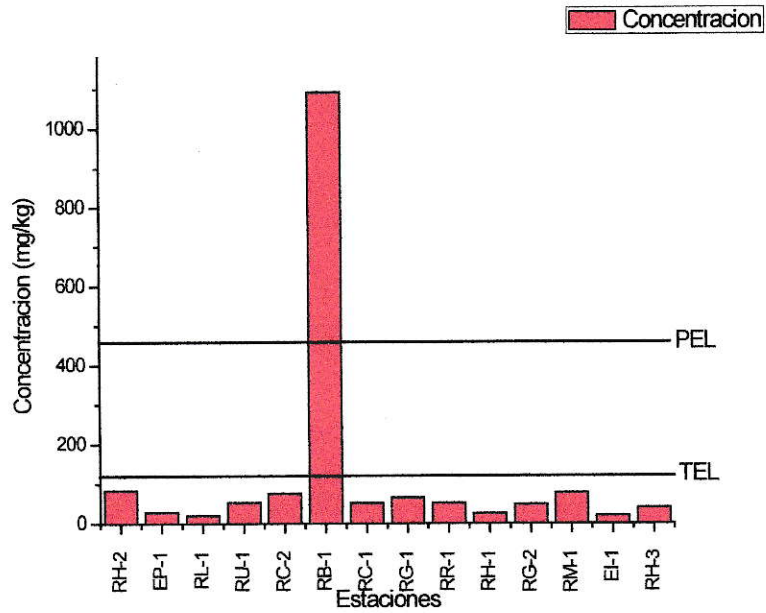
Figuras 94 y 95. Plata en sedimentos de la cuenca del río Limarí

- Plomo: todas las estaciones se encuentran por debajo del nivel TEL.



Figuras 96 y 97: Plomo en sedimentos de la cuenca del río Limarí

- Zinc: todas las estaciones se encuentran por debajo del nivel TEL, con excepción de RH-3, que se ubicó entre TEL y PEL, y RB-1, cuya concentración estuvo por sobre el nivel de PEL.



Figuras 98 y 99: Zinc en sedimentos de la cuenca del río Limarí

Para analizar si los sedimentos son una fuente altamente participativa del estado ecológico, junto con los niveles sobrepasados de PEL, es necesario analizar si las estaciones afectadas con dicho nivel afectan a la calidad de aguas superficiales presentes en el sitio (estación) de muestreo.

De esta forma, es posible observar que uniendo los datos de aguas superficiales y sedimentos, en la cuenca del río Huasco el mayor aporte de metales pesados proviene desde el SO de la cuenca, principalmente del río Potrerillos. Sin embargo, los niveles presentados en este cauce no han producido dispersión de los metales estudiados aguas abajo. Se hace, entonces, obligatorio enfocar las medidas de mitigación y/o compensación de los sedimentos con alta carga potencialmente contaminante en esta región de la cuenca, aún si el estado ecológico general de la cuenca es *Bueno*.

Por otro lado, en la cuenca del río Elqui se manifiesta con ciertos grados de evidencia el aporte de metales pesados de los ríos de *Tipo B*, es decir, aquellos ríos que se encuentran sobre los 1.600 m.s.n.m., y llamados “mediterráneos andinos semiáridos”, en donde los niveles de PEL se ven sobrepasados en los ríos Malo, Vacas Heladas y Toro. Sin embargo, también se observa una alta cantidad de metales que sobrepasan al PEL en el río Elqui, aunque dichos niveles no han afectado su calidad de agua. Las futuras medidas de tratamiento, mitigación y/o compensación en la cuenca del río Elqui deben centrarse, por lo tanto, en aquellos caudales que responda al *Tipo B* y a la extensión total del río Elqui, debido a que es en este último río en donde se concentra la mayor densidad poblacional y la mayor biodiversidad de la cuenca.

Finalmente, en la cuenca del río Limarí es donde se observa la mayor cantidad de metales que sobrepasan los niveles de PEL respectivos. Sin embargo, no es posible observar una zona donde se focalice la superación de dichos niveles, ya sea bajo o sobre

embalse; es posible inferir, por lo tanto, que toda la cuenca es rica en sedimentos con metales pesados, especialmente en cromo, níquel y plata. Estos sedimentos, no obstante, no han generado equilibrio con las aguas superficiales, por lo que los niveles de calidad de aguas son relativamente moderados, pudiendo en este caso, observar estados *Buenos* en situación "sobre embalse", *Moderados* en ríos "bajo embalse", con una desembocadura *Mala*. Bajo este punto, es que debe resaltarse la potencialidad de los sedimentos de producir accidentes ambientales, principalmente debido a la superación de los niveles de PEL en arsénico, cadmio, cromo, níquel, plata y zinc. Las medidas ambientales propuestas por el Poder Ejecutivo, en el caso de esta cuenca, deben focalizarse en la totalidad de la cuenca en sí, con un enfoque especial en la desembocadura del río Limarí, debido a que en su límite septentrional se ubica el Parque Nacional Bosque de Fray Jorge, último bastión del norte de Chile de bosque del tipo *Valdiviano*.

IV CONCLUSIONES

- El método de ICP-OES utilizado para la determinación de metales en matrices de sedimentos fue optimizado y validado de acuerdo a los parámetros de la química analítica, asegurando la obtención de medidas de concentración precisas y exactas para los elementos determinados, siendo importante el uso de material de referencia, de interferentes y de calibración para estimar la calidad del método y exactitud del resultado.
- La cuenca del río Huasco es rica en sedimentos con arsénico, cadmio, manganeso y zinc. Aún así, el estado ecológico de la cuenca del río Huasco es *Bueno*, poniendo énfasis a la situación *Moderada* de los ríos del Carmen y Potrerillos y sus tributarios para futuras decisiones del ejecutivo en materia de recuperación y mitigación de las aguas superficiales y sedimentos.
- La cuenca del río Elqui es rica en sedimentos con arsénico y cobre en toda la cuenca, y cromo y níquel en los sectores cordilleranos y nacientes de los ríos ubicados en esta zona. El estado ecológico de la cuenca del río Elqui es *Deficiente* para los ríos de *Tipo B* (La Laguna, Turbio, Vacas Heladas, Incaguaz, Malo y Toro) y *Moderado* para los de *Tipo C* (Derecho, Turbio y Elqui). En general, la calidad del estado ecológico de la cuenca disminuye en dirección cordillera-mar.
- La cuenca del río Limarí es rica en sedimentos con cromo y níquel, por las que las primeras medidas de recuperación y/o mitigación deben estar centradas en estos metales. El estado ecológico de la cuenca del río Limarí, aunque posee una única clasificación de río (*Tipo D*) se encuentra seccionado entre una situación de bajo embalse y sobre embalse. Los ríos ubicados sobre embalse (Recoleta, Cogotí y La Paloma) poseen un estado ecológico *Bueno*, mientras que los ríos bajo embalse

son calificados como *Moderados* con desembocadura *Mala*. Este último sector debe ser el focalizado para las medidas que el ejecutivo considere oportunas, debido a que en la desembocadura se encuentra el Parque Nacional Bosque de Fray Jorge, bosque de tipo “valdiviano” y cuyo parque es reserva de la biósfera.

- Aunque los índices TEL y PEL de MacDonald son bastante efectivos a la hora de establecer criterios de contaminación y calidad de sedimentos, se hace imperativo establecer límites de TEL y PEL para especies autóctonas chilenas, con el objeto de mejorar dichos criterios a la realidad país.
- Las normas de calidad secundarias de cuerpos de agua superficiales deben normalizar los analitos de estudio, junto con incluir en dichas normativas criterios de aceptabilidad de sedimentos, para todas las cuencas del país.



V REFERENCIAS

- ALLAN, R.J. 1986.** "The role of particulate matter in the fate of contaminants in aquatic ecosystems". Scientific Series No 142. Inland Waters Directorate, National Water Research Institute, Burlington Ontario, 128 pp.
- ALLAN, R.J. & A.J. BALL. 1990.** "An overview of toxic contaminants in water and sediments of the Great Lakes", Water Pollution Research Journal of Canada, 25(4), pp 387-505.
- ALONSO, A. & CAMARGO, J.A. 2005.** "Evaluating the effectiveness of five mineral artificial substrates for the sampling of benthic macroinvertebrates", Journal of Freshwater Ecology, 20, pp 311-320.
- ARCHE, A. 1992.** "Sedimentología", Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 1072 pp
- BURTON, G.A. 1991.** "Assessing the toxicity of freshwater sediments", Environmental Toxicology Chemistry No 10, pp 1585-1627.
- CAIRNS, J. & J.R. PRATT. 1993.** "A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates", Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates (D.M. Rosenberg y V.H. Resh, eds), Chapman and Hall, pp 10-27.
- CUBBAGE, J., D. BATTS & S. BREIDENBACH. 1997.** "Creation and analysis of freshwater Sediment Quality Values in Washington State". Washington State Department of Ecology, Environmental Investigations and Laboratory Services Program, Olympia, WA.
- D.O.C.E. 2000.** "Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas", D.O.C.E. L 327 de 22.12.00. 69 pp.
- DAWSON, D.A., E.F. STEBLER, S.L. BURKS & J.A. BANTLE. 1988.** "Evaluation of the developmental toxicity of metal-contaminated sediments using short-term fathead minnow and frog embryo-larval assays", Environmental Toxicology Chemistry No 7, pp 27-34.
- FIGUEROA, R., A. PALMA, V. RUIZ & X. NIELL. 2007.** "Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región". Revista Chilena de Historia Natural, 80, pp 225-242.
- FOSTER, G.D., S.M. BAKSI & J.C. MEANS. 1987.** "Bioaccumulation of trace organic contaminants from sediments by Baltic clams (*Macoma balthica*) and soft-shell clams (*Mya arenaria*)", Environmental Toxicology Chemistry 6, pp 969-976.

GOBIERNO DE CHILE, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. 2003. "Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad".

GOBIERNO DE CHILE, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. 2009. "Análisis de impacto económico y social de anteproyecto de normas secundarias de calidad – Cuenca Río Huasco".

GOBIERNO DE CHILE, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, DPTO. DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS. 2009. "Antecedentes para el análisis general del impacto económico y social de la norma de calidad secundaria de aguas superficiales en la cuenca del Limarí"

GOBIERNO DE CHILE, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. 1986. "Mapa hidrogeológico de Chile. Escala 1:2.500.000".

GOYETTE, D. & J. BOYD. 1989. "Distribution and environmental impact of selected benthic contaminants in Vancouver Harbour, British Columbia", Environmental Protection, Environmental Canada, Vancouver, B.C.

GOYETTE, D., D. BRAND & M. THOMAS. 1988. "Prevalence of idiopathic liver lesions in English sole and epidermal abnormalities in flatfish from Vancouver Harbour, British Columbia, 1986", Regional Program Report 87-09, Environment Canada, Vancouver, B.C., 48 pp.

HELLAWELL, J.M. 1978. "Biological surveillance of rivers: A biological monitoring handbook", Water Research Centre.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. 2005. "Norma Internacional ISO/IEC 17025: Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración", 38 pp.

KNEZOVICH, J.P., F.L. HARRISON & R.G. WILHELM. 1987. "The bioavailability of sediment-sorbed organic chemicals, a review", Water, Air & Soil Pollution, 32, pp 283-290.

KOSALWALT, P. & W. KNIGHT. 1987. "Chronic toxicity of copper to a partial life cycle of the midge, *Chironomus decorus*", Archives of Environmental Contamination and Toxicity No 16, pp 283-290.

LAMBERSON, J.O., T.H. DeWITT & R.C. SWARTZ. 1992. "In Sediment Toxicity Assessment", ed G.A. Burton, pp 183-211, Boca Raton, Fla, Lewis Publishers, Inc.

LARSSON, P. 1985. "Contaminated sediments of lakes and oceans act as sources of chlorinated hydrocarbons for release to water and atmosphere". Nature No 317, pp 347-349.

LONG, E.R., C.G. INGERSOLL & D.D. MacDONALD. 2006. "Calculation and uses of mean sediment quality guideline quotients: a critical review", *Environmental science & technology*, 40(6), pp 1726-1736.

LONG, E.R. & L.G. MORGAN. 1990. "The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Program", NOAA Technical Memo NOS OMA 52 Seattle, Wash, 175 pp.

LORING, D.H. & R.T.T. RANTALA. 1992. "Manual for the geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter", *Earth-Sci Rev* No 32, 235.

MacDONALD, D.D., C.G. INGERSOLL & T.A. BERGER. 2000. "Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems", *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39(1), pp 20-31.

MALINS, D.C., M.M. KRAHN, M.S. MYERS, L.D. RHODES, D.W. BROWN, C.A. KRONE, B.B. McCAIN & S.L. CHAN. 1985. "Toxic chemicals in sediments and biota from a creosote-polluted harbour relationships with hepatic neoplasms and other hepatic lesions in English sole (*Parophrys vetulus*)" *Carcinogenesis* 6(10), pp 1463-1469.

R. RAMOS-JILIBERTO, M. OLMEDO, C. CARVACHO, A. PALMA, J. GONZÁLEZ-BARRIENTOS & V. ESCANILLA. 2012. "Programas de vigilancia de normas secundarias de calidad y las que están en proceso con el objeto de avanzar en el estado ecológico de las aguas superficiales, Parte A: Campañas de monitoreo y evaluación de estado ecológico de 10 cuencas hidrográficas de Chile" INFORME TÉCNICO.

RESH, V.H. & J.K. JACKSON. 1993. "Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates", *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates* (D.M. Rosenberg y V.H. Resh, eds), Chapman and Hall, pp 195-233.

SIMPSON, S.L., BATLEY, G.E., CHARLSTON, A.A., STAUBER, J.L., KING, C.K., CHAPMAN, J.C., HYNE, R.V., GALE, S.A., ROACH, A.C. & MAHER, W.A. 2005. "Handbook for Sediment Quality Assessment (CSIRO: Bangor, NSW), 126 pp.

SOLOMONS, W., N.M. de ROOIJ, H. KERDIJK & J. BRIL. 1987. "Sediments as a source for contaminants". *Hydrobiologia* No 149, pp 13-30.

THOMAS, J.M., J.R. SKALSKI, J.F. CLINE, M.C. McSHANE, J.C. SIMPSON, W.E. MILLER, S.A. PETERSON, C.A. CALLAHAN & J.C. GREENE. 1986. "Characterization of chemical waste site contamination and determination of its extent using bioassays", *Environment Toxicology Chemistry* No 5, pp 478-501.

TRUDEL, L. 1991. "Dioxins and furans in bottom sediments near the 47 Canadian pulp and paper mills using chlorine bleaching", Water Quality Branch, Inland Waters Directorate, Environment Canada, Ottawa, Ontario, 197 pp.

WALDICHUK, M. 1988. "The nature and extent of marine contamination caused by land-based sources in Canada", In Canadian Conference on Marine Environmental Quality Proceedings, 29 February – 3 March 1988, Halifax, N.S., ed P.G. Wells & J. Gratwick, pp

75-136, The International Institute for Transportation and Ocean Policy Studies, Halifax, N.S.

WELLS, P.G. & S.J. ROLSTON. 1991. "Health of our oceans. A status report on Canadian marine environmental quality", Conservation and Protection, Environment Canada, Ottawa, Ontario and Dartmouth, N.S. 166 pp.

VI. ANEXOS

ANEXO A: Parámetros obtenidos en método de validación analítico

Analito	λ (nm)	Cond. Muestra	LD (mg/L)	LC (mg/L)	Recuperación (%)	u_{Rep}	u_{jus}	u_c	U
Ag	328,071	AS SD	0,002	0,006	84,2	5,3	2,1	5,7	11,4
		AS CD	0,010	0,032		19,4		19,5	38,9
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,8		2,7	5,5
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,5		2,6	5,2
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		2,2		3,0	6,1
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		8,1		8,3	16,6
	338,291	AS SD	0,003	0,011	84,4	N.A.	2,1	N.A.	N.A.
		AS CD	0,010	0,035		62,5		62,5	125,0
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,7		2,7	5,3
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,7		2,7	5,3
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,9		2,8	5,6
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		8,1		8,3	16,7
Al	237,316	AS SD	0,025	0,085	141,2	5,3	2,0	5,7	11,4
		AS CD	0,636	2,121		28,0		28,0	56,1
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		3,5		4,0	8,1
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		7,5		7,8	15,5
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		14,1		14,2	28,4
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		4,6		5,0	10,1
	308,216	AS SD	0,027	0,089	137,0	9,8	2,0	10,0	20,0
		AS CD	0,647	2,157		30,1		30,2	60,3
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		3,0		3,6	7,2
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		7,8		8,1	16,2
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		13,4		13,5	27,1
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		4,4		4,9	9,7
	396,157	AS SD	0,020	0,067	156,2	3,7	2,1	4,2	8,5
		AS CD	0,657	2,190		26,9		27,0	54,0
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		2,9		3,6	7,2
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		7,1		7,4	14,8
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		12,8		13,0	26,0
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		4,4		4,9	9,8
As	188,979	AS SD	0,059	0,196	137,0	9,3	2,1	9,5	19,0
		AS CD	0,046	0,153		7,8		8,1	16,1
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		3,3		3,9	7,7
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		3,7		4,2	8,5
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,9		2,8	5,7
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		1,4		2,5	5,0
	193,692	AS SD	0,082	0,274	56,4	N.A.	2,1	N.A.	N.A.
		AS CD	0,037	0,124		N.A.		N.A.	N.A.
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		4,6		5,1	10,2
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		8,1		8,4	16,8
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		2,0		2,9	5,8
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		2,1		3,0	6,0

AS: Agua Superficial; SD: Sin Digestión; CD: Con Digestión; SPK 0,15: Enriquecimiento 0,15 mg/L; SPK 0,8: Enriquecimiento 0,8 mg/L; u_{Rep} : Incertidumbre Repetibilidad; u_{jus} : Incertidumbre Justeza; u_c : Incertidumbre Combinada; U: Incertidumbre Expandida; LD: Límite de Detección; LC: Límite de Cuantificación.

Analito	λ (nm)	Cond. Muestra	LD (mg/L)	LC (mg/L)	Recuperación (%)	u_{Rep}	u_{jus}	u_c	U
B	249,674	AS SD	0,110	0,367	140,9	10,5	2,3	10,7	21,4
		AS CD	0,188	0,627		7,2		7,6	15,2
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,9		3,0	6,0
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		6,6		7,0	14,1
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,5		2,8	5,6
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		2,9		3,7	7,5
	249,773	AS SD	0,107	0,356	140,5	10,5	2,2	10,7	21,4
		AS CD	0,187	0,623		7,3		7,6	15,2
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,8		2,8	5,6
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		6,7		7,0	14,0
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,5		2,6	5,3
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		2,8		3,5	7,1
Ba	233,525	AS SD	0,004	0,014	105,4	2,7	2,1	3,4	6,8
		AS CD	0,005	0,017		3,7		4,2	8,4
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,2		2,4	4,8
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,2		2,4	4,8
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,5		2,6	5,1
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		1,3		2,4	4,9
	455,403	AS SD	0,004	0,14	103,8	2,8	2,1	3,5	7,0
		AS CD	0,006	0,019		4,0		4,5	9,0
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,4		2,5	5,0
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,4		2,5	4,9
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,5		2,5	5,0
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		1,4		2,5	5,0
	493,412	AS SD	0,004	0,013	106,1	2,6	2,1	3,3	6,6
		AS CD	0,006	0,020		4,2		4,6	9,3
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,5		2,6	5,1
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,5		2,5	5,1
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,5		2,6	5,2
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		1,4		2,5	5,0
Be	234,856	AS SD	0,001	0,002	102,5	3,6	2,1	4,2	8,3
		AS CD	0,008	0,027		N.A.		N.A.	N.A.
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		0,7		2,3	4,5
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,1		2,4	4,8
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,1		2,4	4,8
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		7,1		7,4	14,9
	313,055	AS SD	0,001	0,004	97,2	N.A.	2,1	N.A.	N.A.
		AS CD	0,000	0,001		13,8		14,0	27,9
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,6		2,7	5,3
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,6		2,6	5,2
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,8		2,8	5,5
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		7,0		7,3	14,6

AS: Agua Superficial; SD: Sin Digestión; CD: Con Digestión; SPK 0,15: Enriquecimiento 0,15 mg/L; SPK 0,8: Enriquecimiento 0,8 mg/L; u_{Rep} : Incertidumbre Repetibilidad; u_{jus} : Incertidumbre Justeza; u_c : Incertidumbre Combinada; U: Incertidumbre Expandida; LD: Límite de Detección; LC: Límite de Cuantificación.

Analito	λ (nm)	Cond. Muestra	LD (mg/L)	LC (mg/L)	Recuperación (%)	u_{Rep}	u_{jus}	u_c	U
Ca	315,895	AS SD	8,193	27,310	109,4	2,2	4,4	4,9	9,8
		AS CD	10,227	34,090		3,3		5,5	11,0
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,7		4,7	9,4
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,4		4,6	9,3
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,7		4,7	9,4
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		9,0		10,0	20,0
	317,940	AS SD	7,992	26,639	112,3	2,2	3,7	4,3	8,5
		AS CD	10,383	34,609		3,3		5,0	10,0
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,6		4,0	8,1
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,5		4,0	8,0
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,6		4,0	8,0
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		9,0		9,6	19,4
Cd	214,434	AS SD	0,008	0,027	93,1	11,0	2,0	11,2	22,5
		AS CD	0,004	0,012		N.A.		N.A.	N.A.
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,0		2,3	4,5
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,4		2,5	4,9
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,3		2,4	4,9
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		4,9		5,3	10,7
	226,500	AS SD	0,002	0,007	95,5	N.A.	2,0	N.A.	N.A.
		AS CD	0,003	0,011		N.A.		N.A.	N.A.
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		0,9		2,2	4,4
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,4		2,5	4,9
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,3		2,4	4,8
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		5,0		5,4	10,7
Co	228,617	AS SD	0,002	0,007	92,3	9,8	2,1	10,0	20,0
		AS CD	0,001	0,004		17,3		17,5	34,9
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,2		2,4	4,9
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,4		2,5	5,1
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,3		2,4	4,9
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		4,8		5,3	10,5
	230,789	AS SD	0,002	0,007	93,3	N.A.	2,1	N.A.	N.A.
		AS CD	0,002	0,007		9,8		10,0	20,1
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,3		2,5	5,0
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,4		2,6	5,1
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,3		2,5	5,0
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		4,8		5,3	10,6
Cr	206,160	AS SD	0,029	0,095	94,6	37,2	2,2	37,3	74,5
		AS CD	0,080	0,267		3,1		3,8	7,5
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,8		2,8	5,7
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,6		2,7	5,4
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,6		2,7	5,4
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		1,8		2,8	5,7

AS: Agua Superficial; SD: Sin Digestión; CD: Con Digestión; SPK 0,15: Enriquecimiento 0,15 mg/L; SPK 0,8: Enriquecimiento 0,8 mg/L; u_{Rep} : Incertidumbre Repetibilidad; u_{jus} : Incertidumbre Justeza; u_c : Incertidumbre Combinada; U: Incertidumbre Expandida; LD: Límite de Detección; LC: Límite de Cuantificación.

Analito	λ (nm)	Cond. Muestra	LD (mg/L)	LC (mg/L)	Recuperación (%)	u_{Rep}	u_{jus}	u_c	U
Cr	267,710	AS SD	0,004	0,014	95,2	N.A.	2,1	N.A.	N.A.
		AS CD	0,075	0,251		3,0		3,6	7,2
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,1		2,3	4,7
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,3		2,4	4,9
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,3		2,5	4,9
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		1,7		2,7	5,4
Cu	213,601	AS SD	0,134	0,447	90,8	46,4	2,1	46,5	92,9
		AS CD	0,018	0,061		7,2		7,5	15,1
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,6		2,6	5,3
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,6		2,6	5,3
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,8		2,7	5,5
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		1,7		2,7	5,4
	221,461	AS SD	0,114	0,379	111,2	18,8	2,2	19,0	37,9
		AS CD	0,085	0,283		17,7		17,9	35,8
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		4,4		5,0	9,9
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		3,9		4,5	9,0
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,7		2,8	5,6
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		2,1		3,1	6,1
	324,765	AS SD	0,170	0,565	98,4	36,6	2,2	36,7	73,3
		AS CD	0,018	0,061		8,3		8,6	17,2
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		2,1		3,1	6,1
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,4		2,6	5,2
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		2,0		3,0	5,9
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		1,5		2,7	5,3
Fe	238,207	AS SD	0,039	0,130	186,8	3,2	2,2	3,8	7,7
		AS CD	0,875	2,916		24,4		24,5	49,0
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		2,3		3,2	6,3
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		8,1		8,4	16,9
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		5,6		6,0	12,0
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		5,1		5,5	11,1
	259,948	AS SD	0,039	0,129	187,0	3,1	2,2	3,8	7,6
		AS CD	0,873	2,909		24,3		24,4	48,7
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		2,1		3,1	6,1
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		8,2		8,5	17,0
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		5,5		5,9	11,8
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		5,0		5,5	11,0
K	404,721	AS SD	0,953	3,177	51,4	26,5	31,4	41,1	82,2
		AS CD	0,648	2,160		273,9		275	551
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		61,0		68,7	137
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		34,3		46,5	92,9
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		5,9		31,9	63,9
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		16,2		35,3	70,7

AS: Agua Superficial; SD: Sin Digestión; CD: Con Digestión; SPK 0,15: Enriquecimiento 0,15 mg/L; SPK 0,8: Enriquecimiento 0,8 mg/L; u_{Rep} : Incertidumbre Repetibilidad; u_{jus} : Incertidumbre Justeza; u_c : Incertidumbre Combinada; U: Incertidumbre Expandida; LD: Límite de Detección; LC: Límite de Cuantificación.

Analito	λ (nm)	Cond. Muestra	LD (mg/L)	LC (mg/L)	Recuperación (%)	u_{Rep}	u_{jus}	u_c	U
K	766,503	AS SD	0,033	0,110	165,9	3,3	27,2	27,4	54,8
		AS CD	0,036	0,120		4,0		27,5	55,0
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		2,0		27,3	54,6
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,6		27,3	54,5
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		2,5		27,3	54,7
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		9,0		28,7	57,3
Mg	279,076	AS SD	2,416	8,052	174,2	3,0	3,3	4,5	9,0
		AS CD	2,429	8,095		3,6		4,9	9,8
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,8		3,8	7,6
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,6		3,7	7,4
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,9		3,8	7,7
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		9,2		9,7	19,5
	279,574	AS SD	1,564	5,212	172,5	2,0	3,8	4,3	8,5
		AS CD	1,564	5,212		3,1		4,9	9,9
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,6		4,1	8,3
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,5		4,1	8,1
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,4		4,0	8,0
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		9,1		9,9	19,7
Mn	257,612	AS SD	0,003	0,010	107,1	2,3	2,2	3,2	6,4
		AS CD	0,008	0,026		5,3		5,7	11,4
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,8		2,8	5,7
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,2		2,5	5,0
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,9		2,9	5,7
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		1,2		2,5	5,0
	294,927	AS SD	0,004	0,012	108,7	2,5	2,1	3,3	6,6
		AS CD	0,009	0,031		5,4		5,8	11,7
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,7		2,7	5,4
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,2		2,4	4,9
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,7		2,7	5,4
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		1,2		2,4	4,9
Mo	202,030	AS SD	0,005	0,015	97,4	5,4	2,0	5,8	11,6
		AS CD	0,091	0,303		3,4		4,0	8,0
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,0		2,3	4,5
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,7		2,7	5,4
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,2		2,4	4,7
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		6,1		6,5	12,9
	203,844	AS SD	0,014	0,046	83,7	15,2	2,1	15,3	30,6
		AS CD	0,088	0,293		3,5		4,1	8,1
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,4		2,5	5,0
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,8		2,7	5,4
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,5		2,5	5,1
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		6,1		6,4	12,9

AS: Agua Superficial; SD: Sin Digestión; CD: Con Digestión; SPK 0,15: Enriquecimiento 0,15 mg/L; SPK 0,8: Enriquecimiento 0,8 mg/L; u_{Rep} : Incertidumbre Repetibilidad; u_{jus} : Incertidumbre Justeza; u_c : Incertidumbre Combinada; U: Incertidumbre Expandida; LD: Límite de Detección; LC: Límite de Cuantificación.

Analito	λ (nm)	Cond. Muestra	LD (mg/L)	LC (mg/L)	Recuperación (%)	u_{Rep}	u_{jus}	u_c	U
Na	588,995	AS SD	4,588	15,294	148,4	4,6	2,0	5,1	10,1
		AS CD	3,594	11,978		3,8		4,3	8,6
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		2,1		2,9	5,8
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,5		2,6	5,1
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		2,0		2,9	5,7
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		8,8		9,1	18,1
	589,591	AS SD	4,866	16,221	148,9	4,7	2,0	5,1	10,2
		AS CD	3,967	13,224		4,0		4,5	9,0
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		2,1		3,0	5,9
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,6		2,6	5,2
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		2,2		3,0	6,0
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		8,9		9,1	18,2
Ni	221,652	AS SD	0,086	0,287	130,8	10,5	2,1	10,7	21,4
		AS CD	0,491	1,637		3,5		4,0	8,1
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,5		2,6	5,2
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,7		2,7	5,4
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,3		2,4	4,9
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		5,5		5,8	11,7
	231,605	AS SD	0,014	0,047	94,2	19,6	2,1	19,7	39,4
		AS CD	0,528	1,760		3,8		4,3	8,6
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,4		2,5	5,0
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,7		2,7	5,3
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,7		2,7	5,3
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		5,4		5,8	11,5
	341,476	AS SD	0,016	0,055	96,7	39,3	2,1	39,3	78,7
		AS CD	0,423	1,409		3,0		3,7	7,3
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,1		2,4	4,7
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,3		2,5	5,0
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,4		2,5	5,0
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		5,4		5,8	11,6
Pb	217,003	AS SD	0,054	0,178	92,9	22,4	2,0	22,5	44,9
		AS CD	0,036	0,121		18,0		18,1	36,3
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		3,8		4,3	8,7
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		3,8		4,3	8,5
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,5		2,6	5,1
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		1,3		2,4	4,9
	220,355	AS SD	0,014	0,045	92,4	12,5	2,1	12,6	25,2
		AS CD	0,017	0,056		25,1		25,2	50,4
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,6		2,6	5,2
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,8		2,7	5,5
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,7		2,7	5,4
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		1,5		2,6	5,1

AS: Agua Superficial; SD: Sin Digestión; CD: Con Digestión; SPK 0,15: Enriquecimiento 0,15 mg/L; SPK 0,8: Enriquecimiento 0,8 mg/L; u_{Rep} : Incertidumbre Repetibilidad; u_{jus} : Incertidumbre Justeza; u_c : Incertidumbre Combinada; U: Incertidumbre Expandida; LD: Límite de Detección; LC: Límite de Cuantificación.

Analito	λ (nm)	Cond. Muestra	LD (mg/L)	LC (mg/L)	Recuperación (%)	u_{Rep}	u_{jus}	u_c	U
Sb	206,836	AS SD	0,025	0,082	93,6	20,8	2,1	20,9	41,9
		AS CD	0,023	0,076		17,3		17,4	34,8
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,6		2,6	5,3
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		4,3		4,8	9,6
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,6		2,6	5,3
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		2,7		3,4	6,8
	217,583	AS SD	0,021	0,069	68,1	5,8	2,1	6,2	12,4
		AS CD	0,017	0,057		5,1		5,5	11,0
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		3,4		4,0	8,0
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		6,2		6,5	13,0
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,6		2,6	5,2
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		3,0		3,6	7,3
Se	196,023	AS SD	0,412	1,373	206,8	27,4	2,0	27,5	55,0
		AS CD	0,153	0,511		6,1		6,5	12,9
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		11,0		11,2	22,4
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		4,9		5,3	10,5
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		3,4		4,0	8,0
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		2,4		3,1	6,3
	203,099	AS SD	0,315	1,052	45,2	23,9	2,1	24,0	48,0
		AS CD	0,091	0,304		4,9		5,3	10,6
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		50,4		50,5	100,9
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		3,3		3,9	7,8
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		4,6		5,0	10,1
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		2,0		2,9	5,9
Si	212,413	AS SD	9,451	31,503	186,1	10,8	2,4	11,1	22,1
		AS CD	3,648	12,162		11,8		12,0	24,1
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		2,4		3,4	6,8
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		8,6		8,9	17,8
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		2,2		3,3	6,6
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		13,8		14,0	28,0
	251,616	AS SD	10,015	33,382	98,4	11,2	2,9	11,6	23,1
		AS CD	3,652	12,173		11,7		12,1	24,1
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		2,5		3,8	7,7
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		8,6		9,1	18,1
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		2,3		3,7	7,4
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		12,7		13,0	26,0
Ti	334,952	AS SD	0,002	0,007	98,3	15,2	3,1	15,5	30,9
		AS CD	0,073	0,245		39,7		39,8	79,6
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,8		3,6	7,2
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,9		3,7	7,3
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		2,2		3,8	7,6
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		9,2		9,7	19,3

AS: Agua Superficial; SD: Sin Digestión; CD: Con Digestión; SPK 0,15: Enriquecimiento 0,15 mg/L; SPK 0,8: Enriquecimiento 0,8 mg/L; u_{Rep} : Incertidumbre Repetibilidad; u_{jus} : Incertidumbre Justeza; u_c : Incertidumbre Combinada; U: Incertidumbre Expandida; LD: Límite de Detección; LC: Límite de Cuantificación.

Analito	λ (nm)	Cond. Muestra	LD (mg/L)	LC (mg/L)	Recuperación (%)	u_{Rep}	u_{jus}	u_c	U
Ti	336,122	AS SD	0,001	0,003	97,7	15,4	3,6	15,8	31,6
		AS CD	0,074	0,245		46,3		46,4	92,8
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,8		4,1	8,1
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,9		4,1	8,3
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		2,2		4,2	8,5
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		9,2		9,9	19,8
	368,530	AS SD	0,002	0,006	98,3	12,2	3,3	12,6	25,2
		AS CD	0,074	0,245		39,5		39,7	79,3
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,9		3,8	7,6
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,9		3,8	7,7
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		2,2		4,0	8,0
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		9,1		9,7	19,5
Tl	190,801	AS SD	0,059	0,195	266,0	2,3	2,1	3,1	6,2
		AS CD	0,084	0,280		3,3		3,9	7,9
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		2,5		3,3	6,5
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,7		2,7	5,4
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		2,5		3,3	6,5
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		1,6		2,6	5,2
	276,787	AS SD	1,064	3,545	308,3	42,0	2,3	42,1	84,1
		AS CD	0,110	0,367		4,5		5,1	10,1
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		23,9		24,0	48,1
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		7,5		7,9	15,7
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		10,1		10,4	20,7
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		6,6		7,0	13,9
	351,916	AS SD	0,022	0,074	99,8	36,6	2,1	36,7	73,4
		AS CD	0,053	0,178		27,4		27,5	55,0
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		2,8		3,5	7,0
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		3,9		4,5	8,9
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,2		2,4	4,9
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		2,2		3,0	6,1
V	290,890	AS SD	0,008	0,025	115,4	3,2	2,1	3,8	7,6
		AS CD	0,005	0,015		5,9		6,3	12,5
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,4		2,5	5,0
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,3		2,4	4,9
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,6		2,6	5,2
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		5,1		5,5	10,9
	292,402	AS SD	0,002	0,006	100,1	13,6	2,0	13,7	27,5
		AS CD	0,003	0,008		22,5		22,6	45,1
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,5		2,5	5,0
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		1,3		2,4	4,9
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,6		2,6	5,1
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		5,1		5,5	10,9

AS: Agua Superficial; SD: Sin Digestión; CD: Con Digestión; SPK 0,15: Enriquecimiento 0,15 mg/L; SPK 0,8: Enriquecimiento 0,8 mg/L; u_{Rep} : Incertidumbre Repetibilidad; u_{jus} : Incertidumbre Justeza; u_c : Incertidumbre Combinada; U: Incertidumbre Expandida; LD: Límite de Detección; LC: Límite de Cuantificación.

Analito	λ (nm)	Cond. Muestra	LD (mg/L)	LC (mg/L)	Recuperación (%)	u_{Rep}	u_{jus}	u_c	U
Zn	206,198	AS SD	0,010	0,035	104,6	95,6	2,0	95,7	191,3
		AS CD	0,060	0,200		11,5		11,7	23,3
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,5		2,5	5,1
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		4,4		4,8	9,7
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,3		2,4	4,9
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		1,4		2,5	5,0
	213,855	AS SD	0,009	0,029	113,5	4,3	2,1	4,7	9,5
		AS CD	0,058	0,193		7,5		7,8	15,6
		SPK 0,15 SD	N.A.	N.A.		1,3		2,4	4,8
		SPK 0,15 CD	N.A.	N.A.		3,9		4,4	8,8
		SPK 0,8 SD	N.A.	N.A.		1,6		2,6	5,2
		SPK 0,8 CD	N.A.	N.A.		1,4		2,5	5,0

AS: Agua Superficial; SD: Sin Digestión; CD: Con Digestión; SPK 0,15: Enriquecimiento 0,15 mg/L; SPK 0,8: Enriquecimiento 0,8 mg/L; u_{Rep} : Incertidumbre Repetibilidad; u_{jus} : Incertidumbre Justeza; u_c : Incertidumbre Combinada; U: Incertidumbre Expandida; LD: Límite de Detección; LC: Límite de Cuantificación.

ANEXO B: Parámetros obtenidos en cuantificación de metales pesados en Sedimentos de las cuencas en estudio

Cuenca del río Huasco.

Elemento	Unidad	HU-20	HU-20 (1)	HU-20 (2)	HU-30	HU-30 (1)
Boro	mg/L	1,250	0,269	0,059	1,250	0,293
Cobre	mg/L	0,010	<0,032	<0,032	0,020	<0,032
Cromo	mg/L	0,020	<0,017	<0,017	0,020	<0,017
Hierro	mg/L	0,300	<0,061	<0,061	0,400	<0,061
Manganeso	mg/L	0,040	<0,029	<0,029	0,070	<0,029
Molibdeno	mg/L	0,013	<0,014	<0,014	0,020	<0,014
Níquel	mg/L	0,020	<0,027	<0,027	0,020	<0,027
Selenio	mg/L	0,002	<0,130	<0,130	0,002	0,145
Zinc	mg/L	0,020	<0,022	<0,022	0,020	0,067
Aluminio	mg/L	0,500	<0,025	<0,025	0,500	<0,025
Arsénico	mg/L	0,005	<0,041	<0,041	0,007	<0,041
Cadmio	mg/L	0,020	<0,013	<0,013	0,020	<0,013
Mercurio	mg/L	0,002	<0,00012	<0,00012	0,002	<0,00012
Plomo	mg/L	0,020	<0,023	<0,023	0,020	<0,023
Plata	mg/L	N.I.	<0,023	<0,023	N.I.	<0,023
Vanadio	mg/L	N.I.	<0,022	<0,022	N.I.	<0,022
Bario	mg/L	N.I.	0,053	<0,020	N.I.	0,071
Cobalto	mg/L	N.I.	<0,018	<0,018	N.I.	<0,018
Berilio	mg/L	N.I.	<0,025	0,263	N.I.	<0,025
Antimonio	mg/L	N.I.	<0,036	<0,036	N.I.	<0,036

Elemento	Unidad	HU-30	HU-30 (2)	CA-10	CA-10 (1)	CA-10 (2)
----------	--------	-------	-----------	-------	-----------	-----------

Boro	mg/L	1,250	<0,039	1,250	0,810	0,766
Cobre	mg/L	0,020	<0,032	0,020	<0,032	<0,032
Cromo	mg/L	0,020	<0,017	0,020	<0,017	<0,017
Hierro	mg/L	0,400	<0,061	0,600	<0,061	<0,061
Manganeso	mg/L	0,070	<0,029	0,100	<0,029	<0,029
Molibdeno	mg/L	0,020	<0,014	0,013	<0,014	<0,014
Níquel	mg/L	0,020	<0,027	0,020	<0,027	<0,027
Selenio	mg/L	0,002	<0,130	0,002	<0,130	<0,130
Zinc	mg/L	0,020	<0,022	0,023	<0,022	<0,022
Aluminio	mg/L	0,500	<0,025	1,000	<0,025	<0,025
Arsénico	mg/L	0,007	<0,041	0,008	<0,041	<0,041
Cadmio	mg/L	0,020	<0,013	0,020	<0,013	<0,013
Mercurio	mg/L	0,002	<0,00012	0,002	<0,00012	<0,00012
Plomo	mg/L	0,020	<0,023	0,020	<0,023	<0,023
Plata	mg/L	N.I.	<0,023	N.I.	<0,023	<0,023
Vanadio	mg/L	N.I.	<0,022	N.I.	<0,022	<0,022
Bario	mg/L	N.I.	<0,020	N.I.	0,043	0,025
Cobalto	mg/L	N.I.	<0,018	N.I.	<0,018	<0,018
Berilio	mg/L	N.I.	0,242	N.I.	<0,025	<0,025
Antimonio	mg/L	N.I.	0,051	N.I.	<0,036	<0,036

Elemento	Unidad	PO-10	PO-10 (1)	PO-10 (2)	PO-20	PO-20 (1)
Boro	mg/L	0,630	0,430	0,792	0,630	0,057
Cobre	mg/L	0,040	<0,032	<0,032	0,020	<0,032
Cromo	mg/L	0,008	<0,017	<0,017	0,005	<0,017
Hierro	mg/L	0,600	<0,061	<0,061	1,100	<0,061
Manganeso	mg/L	1,910	0,500	0,580	0,810	0,779
Molibdeno	mg/L	0,004	<0,014	<0,014	0,005	<0,014
Níquel	mg/L	0,060	<0,027	<0,027	0,021	<0,027
Selenio	mg/L	0,004	<0,130	<0,130	0,005	<0,130
Zinc	mg/L	0,290	0,052	0,332	0,150	0,172
Aluminio	mg/L	3,000	<0,025	3,482	2,000	<0,025
Arsénico	mg/L	0,013	<0,041	<0,041	0,028	<0,041
Cadmio	mg/L	0,00155	<0,013	<0,013	0,0018	<0,013
Mercurio	mg/L	0,0002	<0,00012	<0,00012	0,0002	<0,00012
Plomo	mg/L	0,016	<0,023	<0,023	0,0130	<0,023
Plata	mg/L	N.I.	<0,023	<0,023	N.I.	<0,023
Vanadio	mg/L	N.I.	<0,022	<0,022	N.I.	<0,022
Bario	mg/L	N.I.	0,059	<0,020	N.I.	0,052
Cobalto	mg/L	N.I.	<0,018	<0,018	N.I.	<0,018
Berilio	mg/L	N.I.	<0,025	0,457	N.I.	<0,025
Antimonio	mg/L	N.I.	<0,036	<0,036	N.I.	<0,036

Elemento	Unidad	PO-20	PO-20 (2)	QU-10	QU-10 (1)	QU-10 (2)
Boro	mg/L	0,630	0,209	0,630	0,283	<0,039
Cobre	mg/L	0,020	<0,032	0,030	<0,032	<0,032
Cromo	mg/L	0,005	<0,017	0,005	<0,017	<0,017
Hierro	mg/L	1,100	<0,061	0,600	<0,061	<0,061
Manganeso	mg/L	0,810	0,833	0,030	<0,029	<0,029
Molibdeno	mg/L	0,005	<0,014	0,007	<0,014	<0,014
Níquel	mg/L	0,021	<0,027	0,025	<0,027	<0,027
Selenio	mg/L	0,005	<0,130	0,002	<0,130	<0,130
Zinc	mg/L	0,150	0,281	0,020	0,060	0,060
Aluminio	mg/L	2,000	1,120	0,200	<0,025	<0,025
Arsénico	mg/L	0,028	<0,041	0,042	<0,041	<0,041
Cadmio	mg/L	0,0018	<0,013	0,0009	<0,013	<0,013
Mercurio	mg/L	0,0002	<0,00012	0,0002	<0,00012	<0,00012
Plomo	mg/L	0,0130	<0,023	0,0175	<0,023	<0,023
Plata	mg/L	N.I.	<0,023	N.I.	<0,023	<0,023
Vanadio	mg/L	N.I.	<0,022	N.I.	<0,022	<0,022
Bario	mg/L	N.I.	<0,020	N.I.	0,052	<0,020
Cobalto	mg/L	N.I.	<0,018	N.I.	<0,018	<0,018
Berilio	mg/L	N.I.	0,063	N.I.	<0,025	0,253
Antimonio	mg/L	N.I.	<0,036	N.I.	<0,036	<0,036

Elemento	Unidad	TO-10	TO-10 (1)	TO-10 (2)	TR-10	TR-10 (1)	TR-10 (2)
Boro	mg/L	0,630	0,316	0,354	1,250	1,501	1,543
Cobre	mg/L	0,030	<0,032	<0,032	0,030	<0,032	<0,032
Cromo	mg/L	0,005	<0,017	<0,017	0,020	<0,017	<0,017
Hierro	mg/L	0,400	<0,061	0,163	0,900	<0,061	0,042
Manganeso	mg/L	0,020	0,535	0,541	0,150	<0,029	0,029
Molibdeno	mg/L	0,003	<0,014	<0,014	0,020	<0,014	<0,014
Níquel	mg/L	0,018	<0,027	<0,027	0,020	<0,027	<0,027
Selenio	mg/L	0,002	<0,130	<0,130	0,002	<0,130	<0,140
Zinc	mg/L	0,050	<0,022	0,063	0,045	<0,022	0,005
Aluminio	mg/L	0,100	<0,025	<0,025	2,300	<0,025	<0,025
Arsénico	mg/L	0,006	<0,041	<0,041	0,004	<0,041	<0,041
Cadmio	mg/L	0,002	<0,013	<0,013	0,020	<0,013	<0,013
Mercurio	mg/L	0,0002	<0,00012	<0,00012	0,002	<0,00012	<0,00012
Plomo	mg/L	0,007	<0,023	<0,023	0,020	<0,023	<0,023
Plata	mg/L	N.I.	<0,023	<0,023	N.I.	0,024	0,023
Vanadio	mg/L	N.I.	<0,022	<0,022	N.I.	<0,022	<0,022
Bario	mg/L	N.I.	0,050	0,030	N.I.	0,051	0,029
Cobalto	mg/L	N.I.	<0,018	<0,018	N.I.	<0,018	<0,018
Berilio	mg/L	N.I.	<0,025	<0,025	N.I.	<0,025	<0,025
Antimonio	mg/L	N.I.	<0,036	<0,036	N.I.	0,037	<0,036

Elemento	Unidad	CH-10	CH-10 (1)	CH-10 (2)	ES-10	ES-10 (1)	ES-10 (2)
Boro	mg/L	1,250	1,604	1,673	0,630	0,275	<0039
Cobre	mg/L	0,030	<0,032	<0,032	0,160	<0,032	<0,032
Cromo	mg/L	0,020	<0,017	<0,017	0,050	<0,017	<0,017
Hierro	mg/L	0,800	<0,061	0,048	0,700	<0,061	<0,061
Manganeso	mg/L	0,360	0,067	0,067	2,100	<0,029	<0,029
Molibdeno	mg/L	0,020	<0,014	<0,014	0,010	<0,014	<0,014
Níquel	mg/L	0,020	<0,027	<0,027	0,057	<0,027	<0,027
Selenio	mg/L	0,002	<0,130	<0,130	0,002	<0130	<0130
Zinc	mg/L	0,150	<0,022	0,009	0,930	<0,022	<0,022
Aluminio	mg/L	2,700	<0,025	<0,025	4,000	<0,025	<0,025
Arsénico	mg/L	0,006	<0,041	<0,041	0,0015	<0,041	<0,041
Cadmio	mg/L	0,020	<0,013	<0,013	0,010	<0,013	<0,013
Mercurio	mg/L	0,002	<0,00012	<0,00012	0,001	<0,00012	<0,00012
Plomo	mg/L	0,020	<0,023	<0,023	0,050	<0,023	<0,023
Plata	mg/L	N.I.	0,028	0,028	N.I.	<0,023	<0,023
Vanadio	mg/L	N.I.	<0,022	<0,022	N.I.	<0,022	<0,022
Bario	mg/L	N.I.	0,058	0,034	N.I.	0,057	<0,020
Cobalto	mg/L	N.I.	<0,018	<0,018	N.I.	<0,018	<0,018
Berilio	mg/L	N.I.	<0,025	<0,025	N.I.	<0,025	0,254
Antimonio	mg/L	N.I.	<0,036	0,038	N.I.	<0,036	0,038

Elemento	Unidad	CO-10	CO-10 (1)	CO-10 (2)
Boro	mg/L	1,250	1,171	1,659
Cobre	mg/L	0,070	<0,032	<0,032
Cromo	mg/L	0,020	<0,017	<0,017
Hierro	mg/L	1,200	<0,061	0,052
Manganeso	mg/L	0,200	<0,029	<0,029
Molibdeno	mg/L	0,020	<0,014	<0,014
Níquel	mg/L	0,020	<0,027	<0,027
Selenio	mg/L	0,002	<0,130	<0,130
Zinc	mg/L	0,130	<0,022	0,007
Aluminio	mg/L	2,600	<0,025	<0,025
Arsénico	mg/L	0,010	<0,041	<0,041
Cadmio	mg/L	0,020	<0,013	<0,013
Mercurio	mg/L	0,002	<0,00012	<0,00012
Plomo	mg/L	0,020	<0,023	<0,023
Plata	mg/L	N.I.	0,023	0,026
Vanadio	mg/L	N.I.	<0,022	<0,022
Bario	mg/L	N.I.	0,046	0,033
Cobalto	mg/L	N.I.	<0,018	<0,018
Berilio	mg/L	N.I.	<0,025	<0,025
Antimonio	mg/L	N.I.	<0,036	0,039

Cuenca del río Elqui.

Elemento	Unidad	VH-10	VH-10 (1)	VH-10 (2)	MA-10	MA-10 (1)	MA-10 (2)	RT-10	RT-10 (1)	RT-10 (2)	RT-10 (3)
Boro	mg/L	4,50	5,234	3,748	3,94	25,30	4,233	4,12	0,982	0,771	4,613
Cobre	mg/L	0,198	10,17	10,19	22,91	<0,032	<0,032	11,962	0,715	<0,032	7,683
Hierro	mg/L	20,60	12,95	5,625	28,50	27,39	2,41	26,20	2,137	<0,061	10,83
Manganeso	mg/L	4,76	7,571	5,962	8,08	3,877	3,263	5,55	0,650	0,303	6,529
Molibdeno	mg/L	0,02	<0,014	<0,014	0,02	<0,014	<0,014	0,01	<0,014	<0,014	<0,014
Níquel	µg/L	0,030	<0,027	0,029	0,06	<0,027	<0,027	0,050	<0,027	<0,027	<0,027
Zinc	mg/L	0,835	3,73	2,351	3,81	0,488	0,301	2,492	0,311	<0,022	2,619
Aluminio	mg/L	27,96	36,73	32,57	6,64	24,55	0,320	38,13	4,634	0,115	31,11
Arsénico	mg/L	0,59	0,453	0,161	1,19	0,433	0,202	0,86	0,048	<0,041	0,352
Plomo	mg/L	0,026	<0,023	0,036	0,02	<0,023	0,030	0,0228	<0,023	0,033	<0,023
Cadmio	mg/L	N.I	0,021	<0,013	N.I	<0,013	<0,013	N.I	<0,013	<0,013	0,015
Cromo	mg/L	N.I	<0,017	<0,017	N.I	<0,017	<0,017	N.I	<0,017	<0,017	<0,017
Selenio	mg/L	N.I	0,11	<0,130	N.I	<0,130	<0,130	N.I	<0,130	<0,130	<0,130
Plata	mg/L	N.I	<0,023	0,026	N.I	<0,023	0,031	N.I	<0,023	<0,023	<0,023
Vanadio	mg/L	N.I	<0,022	<0,022	N.I	<0,022	<0,022	N.I	<0,022	<0,022	<0,022
Bario	mg/L	N.I	<0,023	0,032	N.I	<0,023	0,027	N.I	0,042	0,092	0,027
Cobalto	mg/L	N.I	0,098	0,080	N.I	0,040	0,035	N.I	<0,018	<0,018	0,075
Berilio	mg/L	N.I	<0,025	<0,025	N.I	<0,025	<0,025	N.I	<0,025	<0,025	<0,025
Antimonio	mg/L	N.I	<0,036	<0,036	N.I	0,044	0,040	N.I	<0,036	<0,036	0,046
Mercurio	mg/L	N.I	<0,000393	<0,000393	N.I	<0,000393	<0,000393	N.I	<0,000393	0,000467	<0,000393

Elemento	Unidad	RT-10	RT-10 (4)	RT-10 (5)	RT-10 (6)	IN-10	IN-10 (1)	IN-10 (2)	CD-10	CD-10 (1)
Boro	mg/L	4,12	4,745	0,995	0,947	1,00	0,169	0,057	1,00	0,034
Cobre	mg/L	11,962	6,985	0,908	0,050	0,070	0,039	<0,032	0,020	<0,032
Hierro	mg/L	26,20	4,401	2,704	<0,061	0,60	0,363	<0,061	0,50	0,091
Manganeso	mg/L	5,55	5,208	0,975	0,648	0,18	0,038	0,029	0,04	<0,029
Molibdeno	mg/L	0,01	<0,014	<0,014	<0,014	0,02	<0,014	<0,014	0,02	<0,014
Níquel	µg/L	0,050	<0,027	<0,027	<0,027	0,010	<0,027	<0,027	0,02	<0,027
Zinc	mg/L	2,492	2,384	0,388	0,094	0,056	0,042	0,038	0,016	<0,022
Aluminio	mg/L	38,13	19,530	6,663	0,144	4,53	0,90	0,202	0,40	0,11
Arsénico	mg/L	0,86	0,12	0,09	<0,041	0,01	<0,041	<0,041	0,01	<0,041
Plomo	mg/L	0,0228	0,030	<0,023	0,029	0,0114	<0,023	0,033	0,0114	<0,023
Cadmio	mg/L	N.I	0,014	<0,013	<0,013	N.I	<0,013	<0,013	N.I	<0,013
Cromo	mg/L	N.I	<0,017	<0,017	<0,017	N.I	<0,017	<0,017	N.I	<0,017
Selenio	mg/L	N.I	<0,130	<0,130	<0,130	N.I	<0,130	<0,130	N.I	<0,130
Plata	mg/L	N.I	<0,023	<0,023	<0,023	N.I	<0,023	<0,023	N.I	<0,023
Vanadio	mg/L	N.I	<0,022	<0,022	<0,022	N.I	<0,022	<0,022	N.I	<0,022
Bario	mg/L	N.I	0,038	0,055	0,060	N.I	0,028	0,036	N.I	0,035
Cobalto	mg/L	N.I	0,069	<0,018	<0,018	N.I	<0,018	<0,018	N.I	<0,018
Berilio	mg/L	N.I	<0,025	<0,025	<0,025	N.I	<0,025	<0,025	N.I	<0,025
Antimonio	mg/L	N.I	0,073	<0,036	0,074	N.I	<0,036	0,053	N.I	<0,036
Mercurio	mg/L	N.I	<0,000393	<0,000393	<0,000393	N.I	<0,000393	<0,000393	N.I	<0,000393

Elemento	Unidad	CO-10	CO-10 (1)	EL-10	EL-10 (1)	EL-10 (2)	EL-10 (3)	EL-10 (4)	EL-10 (5)	EL-10 (6)
Boro	mg/L	0,40	0,054	1,00	0,675	0,674	0,796	0,639	0,604	0,627
Cobre	mg/L	0,010	<0,032	0,75	0,438	<0,032	<0,032	0,306	<0,032	<0,032
Hierro	mg/L	0,80	<0,061	3,30	1,489	1,083	0,340	1,239	<0,061	<0,061
Manganeso	mg/L	0,04	<0,029	0,52	0,425	0,215	0,061	0,319	<0,029	<0,029
Molibdeno	mg/L	0,008	<0,014	0,02	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014
Níquel	µg/L	0,042	<0,027	0,02	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
Zinc	mg/L	0,096	<0,022	0,17	0,207	0,126	0,030	0,166	<0,022	<0,022
Aluminio	mg/L	0,07	0,059	6,99	3,296	2,164	0,208	2,576	0,057	0,042
Arsénico	mg/L	0,04	<0,041	0,09	0,067	0,066	<0,041	0,047	<0,041	<0,041
Plomo	mg/L	0,002	0,026	0,0133	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	0,036
Cadmio	mg/L	N.I	<0,013	N.I	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013
Cromo	mg/L	N.I	<0,017	N.I	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
Selenio	mg/L	N.I	<0,130	N.I	<0,130	<0,130	<0,130	<0,130	<0,130	<0,130
Plata	mg/L	N.I	<0,023	N.I	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	0,024
Vanadio	mg/L	N.I	<0,022	N.I	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022
Bario	mg/L	N.I	0,040	N.I	0,040	0,049	0,071	0,038	0,046	0,071
Cobalto	mg/L	N.I	<0,018	N.I	<0,018	<0,018	<0,018	<0,018	<0,018	<0,018
Berilio	mg/L	N.I	<0,025	N.I	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Antimonio	mg/L	N.I	<0,036	N.I	<0,036	<0,036	0,046	0,041	0,039	<0,036
Mercurio	mg/L	N.I	<0,000393	N.I	<0,000393	<0,000393	<0,000393	<0,000393	<0,000393	<0,000393

Elemento	Unidad	EL-10	EL-10 (7)	EL-10 (8)	EL-10 (9)	EL-10 (10)	EL-30	EL-30 (1)	EL-30 (2)	EL-30 (3)	EL-30 (4)
Boro	mg/L	1,00	0,566	0,506	0,489	0,474	1,00	0,887	0,070	0,651	<0,039
Cobre	mg/L	0,75	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	0,116	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032
Hierro	mg/L	3,30	<0,061	<0,061	<0,061	<0,061	0,60	0,294	0,163	<0,061	<0,061
Manganeso	mg/L	0,52	0,079	0,189	0,144	<0,029	0,05	0,106	<0,029	0,040	<0,029
Molibdeno	mg/L	0,02	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	0,02	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014
Níquel	µg/L	0,02	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,024	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
Zinc	mg/L	0,17	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	0,017	0,026	0,050	<0,022	<0,022
Aluminio	mg/L	6,99	0,120	0,114	0,110	0,062	0,66	0,141	<0,025	0,050	0,050
Arsénico	mg/L	0,09	<0,041	<0,041	<0,041	<0,041	0,02	<0,041	0,044	<0,041	<0,041
Plomo	mg/L	0,0133	0,033	0,033	0,033	0,037	0,0128	<0,023	<0,023	0,026	0,031
Cadmio	mg/L	N.I	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	N.I	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013
Cromo	mg/L	N.I	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017	N.I	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
Selenio	mg/L	N.I	<0,130	<0,130	<0,130	<0,130	N.I	<0,130	<0,130	<0,130	<0,130
Plata	mg/L	N.I	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	N.I	<0,023	<0,023	0,026	<0,023
Vanadio	mg/L	N.I	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	N.I	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022
Bario	mg/L	N.I	0,068	0,054	0,048	0,053	N.I	0,077	<0,023	0,077	<0,023
Cobalto	mg/L	N.I	<0,018	<0,018	<0,018	<0,018	N.I	<0,018	<0,018	<0,018	<0,018
Berilio	mg/L	N.I	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	N.I	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Antimonio	mg/L	N.I	<0,036	<0,036	<0,036	<0,036	N.I	0,041	<0,036	0,038	0,052
Mercurio	mg/L	N.I	<0,000393	<0,000393	<0,000393	<0,000393	N.I	<0,000393	<0,000393	<0,000393	<0,000393

Cuenca del río Limarí

Elemento	Unidad	RC-1	RC-1 (1)	RC-2	RC-2 (1)	RB-1	RB-1 (1)
Cobre	mg/L	0,010	<0,032	0,010	<0,032	0,010	<0,032
Hierro	mg/L	0,700	0,261	0,800	0,339	1,500	0,490
Manganeso	mg/L	0,070	<0,029	0,080	<0,029	0,030	<0,029
Zinc	mg/L	0,015	0,183	0,030	0,281	0,020	0,288
Aluminio	mg/L	1,900	<0,075	1,500	<0,075	1,100	<0,075
Arsénico	mg/L	0,005	<0,041	0,007	<0,041	0,005	<0,041
Cadmio	mg/L	N.I.	<0,013	N.I.	<0,013	N.I.	<0,013
Cromo	mg/L	N.I.	<0,017	N.I.	0,017	N.I.	0,026
Níquel	mg/L	N.I.	<0,025	N.I.	<0,025	N.I.	<0,025
Plomo	mg/L	N.I.	<0,023	N.I.	<0,023	N.I.	<0,023
Selenio	mg/L	N.I.	<0,130	N.I.	<0,130	N.I.	<0,130
Plata	mg/L	N.I.	<0,023	N.I.	<0,023	N.I.	<0,023
Vanadio	mg/L	N.I.	<0,022	N.I.	<0,022	N.I.	<0,022
Bario	mg/L	N.I.	<0,023	N.I.	0,037	N.I.	0,025
Cobalto	mg/L	N.I.	<0,018	N.I.	<0,018	N.I.	<0,018
Molibdeno	mg/L	N.I.	<0,014	N.I.	0,022	N.I.	0,022
Berilio	mg/L	N.I.	<0,025	N.I.	<0,025	N.I.	<0,025
Boro	mg/L	N.I.	0,234	N.I.	0,253	N.I.	0,272
Antimonio	mg/L	N.I.	<0,036	N.I.	<0,036	N.I.	<0,036
Mercurio	mg/L	N.I.	<0,000393	N.I.	<0,000393	N.I.	<0,000393

Elemento	Unidad	RG-1	RG-1 (1)	RG-1 (2)	RG-2	RG-2 (1)	RG-2 (2)
Cobre	mg/L	0,010	<0,032	<0,032	0,010	<0,032	<0,032
Hierro	mg/L	0,900	0,390	0,242	2,500	0,096	0,170
Manganeso	mg/L	0,150	<0,029	<0,029	0,250	<0,029	<0,029
Zinc	mg/L	0,040	0,088	0,177	0,050	<0,022	0,124
Aluminio	mg/L	3,200	<0,075	<0,075	4,300	<0,075	<0,075
Arsénico	mg/L	0,030	<0,041	0,070	0,009	<0,041	<0,041
Cadmio	mg/L	N.I.	<0,013	<0,013	N.I.	<0,013	<0,013
Cromo	mg/L	N.I.	<0,017	0,021	N.I.	<0,017	<0,017
Níquel	mg/L	N.I.	<0,025	<0,025	N.I.	<0,025	<0,025
Plomo	mg/L	N.I.	<0,023	<0,023	N.I.	0,023	0,024
Selenio	mg/L	N.I.	<0,130	<0,130	N.I.	<0,130	<0,130
Plata	mg/L	N.I.	<0,023	<0,023	N.I.	<0,023	<0,023
Vanadio	mg/L	N.I.	<0,022	<0,022	N.I.	<0,022	<0,022
Bario	mg/L	N.I.	<0,023	0,023	N.I.	<0,023	0,025
Cobalto	mg/L	N.I.	<0,018	<0,018	N.I.	<0,018	<0,018
Molibdeno	mg/L	N.I.	<0,014	0,020	N.I.	<0,014	<0,014
Berilio	mg/L	N.I.	<0,025	<0,025	N.I.	<0,025	<0,025
Boro	mg/L	N.I.	0,333	0,474	N.I.	0,161	0,180
Antimonio	mg/L	N.I.	<0,036	<0,036	N.I.	<0,036	<0,036
Mercurio	mg/L	N.I.	<0,000393	0,001225	N.I.	<0,000393	<0,000393

Elemento	Unidad	RH-1	RH-1 (1)	RH-1 (2)	RH-1 (3)	RH-1 (4)
Cobre	mg/L	0,060	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032
Hierro	mg/L	0,500	0,169	0,088	0,503	0,168
Manganeso	mg/L	0,300	<0,029	<0,029	0,060	<0,029
Zinc	mg/L	0,140	<0,022	0,102	0,033	0,135
Aluminio	mg/L	1,900	<0,075	<0,075	<0,075	<0,075
Arsénico	mg/L	0,007	<0,041	<0,041	<0,041	<0,041
Cadmio	mg/L	N.I.	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013
Cromo	mg/L	N.I.	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
Níquel	mg/L	N.I.	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Plomo	mg/L	N.I.	0,024	<0,023	0,027	0,024
Selenio	mg/L	N.I.	<0,130	<0,130	<0,130	<0,130
Plata	mg/L	N.I.	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Vanadio	mg/L	N.I.	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022
Bario	mg/L	N.I.	0,027	0,041	<0,023	<0,023
Cobalto	mg/L	N.I.	<0,018	<0,018	<0,018	<0,018
Molibdeno	mg/L	N.I.	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014
Berilio	mg/L	N.I.	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Boro	mg/L	N.I.	0,130	0,307	0,058	0,061
Antimonio	mg/L	N.I.	<0,036	<0,036	<0,036	<0,036
Mercurio	mg/L	N.I.	<0,000393	<0,000393	<0,000393	<0,000393

Elemento	Unidad	RH-2	RH-2 (1)	RH-2 (2)	RL-1	RL-1 (1)
Cobre	mg/L	0,010	<0,032	<0,032	0,010	<0,032
Hierro	mg/L	0,400	0,215	0,444	0,400	0,213
Manganeso	mg/L	0,060	<0,029	<0,029	0,080	<0,029
Zinc	mg/L	0,050	0,171	0,346	0,050	0,150
Aluminio	mg/L	1,050	<0,075	<0,075	2,000	<0,075
Arsénico	mg/L	0,007	<0,041	<0,041	0,007	<0,041
Cadmio	mg/L	N.I.	<0,013	<0,013	N.I.	<0,013
Cromo	mg/L	N.I.	<0,017	0,020	N.I.	<0,017
Níquel	mg/L	N.I.	<0,025	<0,025	N.I.	<0,025
Plomo	mg/L	N.I.	0,029	<0,023	N.I.	0,025
Selenio	mg/L	N.I.	<0,130	<0,130	N.I.	<0,130
Plata	mg/L	N.I.	<0,023	<0,023	N.I.	<0,023
Vanadio	mg/L	N.I.	<0,022	<0,022	N.I.	<0,022
Bario	mg/L	N.I.	<0,023	0,040	N.I.	0,159
Cobalto	mg/L	N.I.	<0,018	<0,018	N.I.	<0,018
Molibdeno	mg/L	N.I.	<0,014	0,025	N.I.	<0,014
Berilio	mg/L	N.I.	<0,025	<0,025	N.I.	<0,025
Boro	mg/L	N.I.	0,155	0,343	N.I.	0,256
Antimonio	mg/L	N.I.	<0,036	<0,036	N.I.	<0,036
Mercurio	mg/L	N.I.	<0,000393	<0,000393	N.I.	0,000524

Elemento	Unidad	RL-1	RL-1 (1)	RL-1 (2)	RL-1 (3)	RL-1 (4)	RL-1 (5)	RL-1 (6)
Cobre	mg/L	0,010	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032
Hierro	mg/L	0,400	0,313	0,142	0,114	0,104	0,153	0,108
Manganeso	mg/L	0,080	0,031	0,132	0,104	0,168	0,081	<0,029
Zinc	mg/L	0,050	0,327	0,024	0,101	<0,022	0,130	0,095
Aluminio	mg/L	2,000	<0,075	<0,075	<0,075	<0,075	<0,075	<0,075
Arsénico	mg/L	0,007	<0,041	<0,041	<0,041	<0,041	<0,041	<0,041
Cadmio	mg/L	N.I.	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013
Cromo	mg/L	N.I.	0,018	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
Níquel	mg/L	N.I.	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Plomo	mg/L	N.I.	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	0,023	<0,023
Selenio	mg/L	N.I.	<0,130	0,205	<0,130	<0,130	<0,130	0,206
Plata	mg/L	N.I.	0,025	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Vanadio	mg/L	N.I.	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022
Bario	mg/L	N.I.	0,193	0,076	0,088	0,042	0,060	0,168
Cobalto	mg/L	N.I.	<0,018	<0,018	<0,018	<0,018	<0,018	<0,018
Molibdeno	mg/L	N.I.	0,025	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014
Berilio	mg/L	N.I.	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Boro	mg/L	N.I.	0,447	0,278	0,278	0,163	0,196	0,267
Antimonio	mg/L	N.I.	<0,036	<0,036	<0,036	0,038	<0,036	<0,036
Mercurio	mg/L	N.I.	<0,000393	<0,000393	<0,000393	<0,000393	<0,000393	<0,000393

Elemento	Unidad	RM-1	RM-1 (1)	EP-1	EP-1 (1)	EP-1 (2)	RR-1	RR-1 (1)	RR-1 (2)
Cobre	mg/L	0,040	<0,032	0,010	<0,032	<0,032	0,010	<0,032	<0,032
Hierro	mg/L	0,500	0,251	0,200	0,163	0,194	0,400	<0,061	0,293
Manganeso	mg/L	0,060	<0,029	0,030	<0,029	<0,029	0,060	<0,029	<0,029
Zinc	mg/L	0,030	0,343	0,015	0,120	0,236	0,030	<0,022	0,241
Aluminio	mg/L	1,300	<0,075	1,100	<0,075	<0,075	1,300	<0,075	<0,075
Arsénico	mg/L	0,005	<0,041	0,003	<0,041	<0,041	0,007	<0,041	<0,041
Cadmio	mg/L	N.I.	<0,013	N.I.	<0,013	<0,013	N.I.	<0,013	<0,013
Cromo	mg/L	N.I.	<0,017	N.I.	<0,017	<0,017	N.I.	<0,017	0,035
Níquel	mg/L	N.I.	<0,025	N.I.	<0,025	<0,025	N.I.	<0,025	<0,025
Plomo	mg/L	N.I.	<0,023	N.I.	0,025	<0,023	N.I.	0,024	<0,023
Selenio	mg/L	N.I.	<0,130	N.I.	<0,130	0,202	N.I.	<0,130	<0,130
Plata	mg/L	N.I.	<0,023	N.I.	<0,023	<0,023	N.I.	<0,023	<0,023
Vanadio	mg/L	N.I.	<0,022	N.I.	<0,022	<0,022	N.I.	<0,022	<0,022
Bario	mg/L	N.I.	0,066	N.I.	0,125	0,187	N.I.	<0,023	0,037
Cobalto	mg/L	N.I.	<0,018	N.I.	<0,018	<0,018	N.I.	<0,018	<0,018
Molibdeno	mg/L	N.I.	0,022	N.I.	0,022	0,019	N.I.	<0,014	0,019
Berilio	mg/L	N.I.	<0,025	N.I.	<0,025	<0,025	N.I.	<0,025	<0,025
Boro	mg/L	N.I.	0,277	N.I.	0,185	0,415	N.I.	<0,039	0,299
Antimonio	mg/L	N.I.	<0,036	N.I.	<0,036	<0,036	N.I.	<0,036	<0,036
Mercurio	mg/L	N.I.	<0,000393	N.I.	0,000476	<0,000393	N.I.	<0,000393	<0,000393