

UCH-FC
Q. Ambiental
S. 586
C. 1



FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE PREGRADO

**ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUAS DURANTE EL PERÍODO 2002-2012 PARA UNA
ZONA DEL RÍO ELQUI, IV REGION DE COQUIMBO, CHILE**

Seminario de Título

Entregado a la

Universidad de Chile

en cumplimiento parcial de los requisitos

para optar al Título de

Químico Ambiental

Gabriela Violeta Silva Jiménez

2015

Santiago- Chile

Director del Seminario de Título: Ing. María Angélica Alegría Calvo

Profesor Patrocinante: Dra. Isel Cortés Nodarse



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por la Srta. Gabriela Silva Jiménez

“ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUAS DURANTE EL PERIODO 2002-2012 PARA UNA ZONA DEL RÍO ELQUI, IV REGION DE COQUIMBO, CHILE”

Ha sido aprobada por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

Director Seminario de Título

Ing. María Angélica Alegría

Firma manuscrita en azul sobre una línea horizontal.

Profesor patrocinante:

Dra. Isel Cortés Nodarse

Firma manuscrita en azul sobre una línea horizontal.

Presidente de la comisión:

Dra. María Inés Toral

Firma manuscrita en azul sobre una línea horizontal.

Evaluador:

Dr. Antonio Galdámez

Firma manuscrita en azul sobre una línea horizontal.

Santiago, Octubre 2014.



BIOGRAFÍA



Gabriela Silva Jiménez nace el 30 de mayo de 1988 en la ciudad de Antofagasta, hija de Susana Jiménez Calabresse y Carlos Silva Alarcón. A la edad de 3 años se traslada junto a sus padres y hermanos, Carlos y Héctor Silva a Santiago, en donde inicia sus estudios en British Royal School, establecimiento al cual perteneció hasta finalizar cuarto medio en el 2005.

Entra a la carrera de Química Ambiental el año 2007 para egresar el año 2012. Realiza su Unidad de Investigación en el Centro Nacional del Medio Ambiente sobre determinación de mercurio en relaves de la IV región, y finalmente realiza su Seminario de Título junto a la consultora Gestión Ambiental Consultores realizando un estudio de calidad de aguas.

Dedicatoria

... A mi familia....

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Gestión Ambiental Consultores, por darme la posibilidad de realizar mi Seminario de Título ahí, en especial a María Angélica Alegría, por su buena disposición a enseñar y gran vocación.

Nunca terminaré de agradecer a mis padres, Carlos Silva y Susana Jiménez, por su paciencia, amor infinito, incondicionalidad y constantes lecciones de vida que me entregan siempre, no hay día en que no agradezca que estén conmigo y todo el esfuerzo que han hecho por mi y mis hermanos. A Sara Calabresse, mi abuela, por su alegría, dulzura e inocencia, por enseñarme que nunca es tarde para viajar, aprender y amar. A mis amigas, Elisa Correa y Camila Aranda, por demostrarme que todo es posible, ustedes saben que las llevo conmigo por siempre. A todas las amigas que ayudaron en mi camino por la universidad, en especial a Catalina Rojas y Carolina Escobar; gracias por haber pasado de ser compañeras de carrera a amigas del alma, por siempre estar ahí y dejarme ser parte de sus vidas, sin ustedes nada de mi vida universitaria (y la que viene después) hubiera sido igual. Finalmente agradezco a todas las personas que me han ayudado a ser quien soy, como diría una persona muy especial para mí, gracias a los presentes y a los ausentes.

INDICE DE CONTENIDOS

I.- INTRODUCCIÓN	1
1.1 Contaminación del agua.....	1
1.1.1 Contaminación agrícola.....	1
1.1.2 Contaminación minera.....	1
1.2 Calidad de aguas	3
1.3 Evaluación de calidad de aguas.....	4
1.3.1 Evaluación de calidad de aguas en Chile.....	4
1.4 Caracterización de la zona estudiada.....	5
1.4.1 Ubicación Geográfica	5
1.4.2 Caracterización hidrográfica.....	5
1.4.2 Clima.....	7
1.4.3 Geología y Litología.....	8
1.4.4 Actividades antrópicas.....	9
1.4.4.1. Actividad Agrícola	9
1.4.4.2 Actividad Ganadera.....	10
1.4.4.3 Actividad inmobiliaria y residencial	10
1.2.4.4 Actividad minera.....	10
1.5 Gestión y administración del recurso: DGA.....	13
1.6 Normativa legal.....	15
1.7 Hipótesis.....	17
1.8 Objetivos.....	17
1.8.1 Objetivo general.....	17
1.8.2 Objetivos Específicos	17

II.- MATERIALES Y MÉTODOS	19
2.1 Materiales.....	19
2.2 Métodos.....	19
2.2.1 Selección de estaciones de monitoreo	19
2.2.2 Recopilación y Selección de la información	20
2.2.3 Análisis de datos.....	21
2.2.4 Interpretación de datos	22
2.2.5 Análisis de resultados y conclusiones	23
III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
3.1 Estudio de variación de pH.....	24
3.1.1 Análisis de promedios anuales de pH en las estaciones de monitoreo (2002-2012).....	24
3.1.2 Análisis de calidad de agua de pH en las estaciones de monitoreo (2002-2012).....	25
3.1.3 Análisis estacional de pH en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	27
3.1.4 Análisis espacial de pH en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	28
3.2 Estudio de variación de conductividad específica.....	30
3.2.1 Análisis de promedios anuales de conductividad específica en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	30
3.2.2 Análisis de calidad de agua de conductividad específica en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	31
3.2.3 Análisis estacional de conductividad específica en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	34
3.2.4 Análisis espacial de conductividad específica en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	35

3.3 Estudio de variación de temperatura.....	37
3.3.1 Análisis de promedios anuales de temperatura en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	37
3.3.2 Análisis de calidad de agua de temperatura en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	37
3.3.3 Análisis estacional de temperatura en las estaciones de monitoreo (2002-2012).....	40
3.3.4 Análisis espacial de temperatura en las estaciones de monitoreo (2002-2012).....	41
3.4 Estudio de concentración de aluminio.....	41
3.4.1 Análisis de promedios anuales de aluminio en las estaciones de monitoreo (2002-2012).	41
3.4.2 Análisis de calidad de agua de aluminio en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	42
3.4.3 Análisis estacional de aluminio en las estaciones de monitoreo (2002-2012).....	45
3.4.4. Análisis espacial de aluminio en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	46
3.5 Estudio de concentración de arsénico.....	47
3.5.1 Análisis de promedios anuales de arsénico en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	47
3.5.3 Análisis de calidad de agua de arsénico en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	48
3.5.4 Análisis estacional de arsénico en las estaciones de monitoreo (2002-2012).....	52
3.5.5 Análisis espacial de arsénico en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	53
3.6 Estudio de concentración de cobre.....	54

3.6.1	Análisis de promedios anuales de cobre en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	54
3.6.2	Análisis de calidad de agua de cobre en las estaciones de monitoreo (2002-2012).....	55
3.6.3	Análisis estacional de cobre en las estaciones de monitoreo (2002-2012)..	57
3.6.4	Análisis espacial de cobre en las estaciones de monitoreo (2002-2012).....	58
3.7	Estudio de concentración de hierro.....	59
3.7.1	Análisis de promedios anuales de hierro en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	59
3.7.2	Análisis de calidad de agua de hierro en las estaciones de monitoreo (2002-2012).....	60
3.7.3	Análisis estacional de hierro en las estaciones de monitoreo (2002-2012)..	64
3.7.2	Análisis espacial de hierro en las estaciones de monitoreo (2002-2012).....	65
3.8	Estudio de concentración de manganeso.....	66
3.8.1	Análisis de promedios anuales de manganeso en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	66
3.8.2	Análisis de calidad de agua de manganeso en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	67
3.8.2	Análisis estacional de manganeso en las estaciones de monitoreo (2002-2012).....	70
3.8.3	Análisis espacial de hierro en las estaciones de monitoreo (2002-2012).....	70
3.9	Estudio de concentración de sulfato.....	71
3.9.1	Análisis de promedios anuales de sulfato en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	71

3.9.2 Análisis de calidad de agua de sulfato en las estaciones de monitoreo (2002-2012).....	72
3.9.2 Análisis estacional de sulfato en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	75
3.9.4 Análisis espacial de sulfato en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	75
3.10 Estudio de concentración de zinc.....	76
3.10.1 Análisis de promedios anuales de zinc en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	76
3.10.2 Análisis de calidad de agua de zinc en las estaciones de monitoreo (2002-2012).....	77
3.10.3 Análisis estacional de zinc en las estaciones de monitoreo (2002-2012) ..	79
3.10.4 Análisis espacial de zinc en las estaciones de monitoreo (2002-2012)	80
V.- CONCLUSIONES	86
VI.- REFERENCIAS.....	87
ANEXO A: “ DATOS ENVIADOS POR LA DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS”	89
ANEXO B: “ P-VALUES DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO ANALIZADAS ”.	101

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Caudales medios para cada período estival en estaciones de monitoreo.....	8
Tabla 2: Actividades agrícolas cercanas a estaciones de monitoreo.	10
Tabla 3: Posibles factores que pueden incidir en cursos de agua cercanos a las estaciones de monitoreo analizadas.	13
Tabla 4: Límites estipulados según NCh 409 y NCh 1.333 para los parámetros estudiados.	16
Tabla 5: Rangos establecidos por NCh 1.333 para Conductividad Específica.....	17
Tabla 6: Promedios anuales de pH para cada estación de monitoreo analizada.....	24
Tabla 7: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de pH para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.....	28
Tabla 8: Rangos establecidos por NCh 1.333 según conductividad específica.	Error!
Bookmark not defined.	
Tabla 9: Promedios anuales de conductividad específica para cada estación de monitoreo analizada.	30
Tabla 10: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de conductividad específica para cada temporada estival de en las estaciones de monitoreo analizadas.....	35
Tabla 11: Promedios anuales de temperatura para cada estación de monitoreo analizada.	37
Tabla 12: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de temperatura para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.	40
Tabla 13: Promedios anuales de aluminio para cada estación de monitoreo analizada.	42
Tabla 14 :Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de aluminio para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.....	46
Tabla 15: Promedios anuales de arsénico para cada estación de monitoreo analizada.	48

Tabla 16: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de arsénico para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.....	52
Tabla 17: Promedios anuales de cobre para cada estación de monitoreo analizada. ...	54
Tabla 18: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de cobre para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.....	57
Tabla 19: Promedios anuales de hierro para cada estación de monitoreo analizada. ...	60
Tabla 20: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de hierro para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.....	65
Tabla 21: Promedios anuales de manganeso para todas las estaciones de monitoreo analizadas.....	67
Tabla 22: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de manganeso para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.	70
Tabla 23: Promedios anuales de sulfato para cada estación de monitoreo analizada...	72
Tabla 24: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de sulfato para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.....	75
Tabla 25: Promedios anuales de zinc para las estaciones de monitoreo analizadas.....	77
Tabla 26: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de zinc para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.....	79
Tabla 27: Parámetros alterados en estaciones de monitoreo.	82

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa hidrológico IV Región.....	5
Figura 2: Mapa de las estaciones de monitoreo analizadas.....	7
Figura 3: Mapa de las principales mineras que se ubican en la IV Región.	11
Figura 4: Ubicación principales de yacimientos mineros próximos a estaciones de monitoreo analizadas.....	11
Figura 5: Gráfico de pH en Río Elqui El Algarrobal	25
Figura 6: Gráfico de pH en Río Elqui en Almendral.....	26
Figura 7: Gráfico de pH en Río Elqui en puente Las Rojas.....	27
Figura 8: Gráfico de pH en Río Elqui en La Serena.	27
Figura 9: Variación espacial de los valores de pH en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.....	29
Figura 10: Gráfico de conductividad específica en Río Elqui El Algarrobal.....	31
Figura 11: Gráfico de conductividad específica en Río Elqui en Almendral.	32
Figura 12: Gráfico de conductividad específica en Río Elqui en puente Las Rojas.	32
Figura 13: Ampliación Figura 12, conductividad específica en Río Elqui en puente Las Rojas.....	33
Figura 14: Gráfico de conductividad específica de Río Elqui en La Serena.....	34
Figura 15: Ampliación Figura 14, conductividad específica en Río Elqui en La Serena.	34
Figura 16: Variación espacial de conductividad específica en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.....	35
Figura 17: Gráfico temperatura en Río Elqui El Algarrobal. Error! Bookmark not defined.	
Figura 18: Gráfico temperatura en Río Elqui en Almendral.....	39

Figura 19: Gráfico de temperatura en Río Elqui en puente Las Rojas.	39
Figura 20: Gráfico de temperatura en Río Elqui en La Serena.	40
Figura 21: Variación espacial de temperatura en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.	41
Figura 22: Gráfico de concentración de aluminio en Río Elqui El Algarrobal.	43
Figura 23: Gráfico de concentración de aluminio en Río Elqui en Almendral.	44
Figura 24: Gráfico de concentración de aluminio en Río Elqui en puente Las Rojas.	44
Figura 25: Gráfico de concentración de aluminio en Río Elqui en La Serena.	45
Figura 26: Variación espacial de aluminio en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.	47
Figura 27: Gráfico de concentración de arsénico Río Elqui El Algarrobal.	49
Figura 28: Gráfico de concentración de arsénico en Río Elqui en Almendral.	50
Figura 29: Ampliación de la Figura 28, Gráfico de concentración de arsénico en Río Elqui en Almendral.	50
Figura 30: Gráfico de concentración de arsénico en Río Elqui en puente Las Rojas.	51
Figura 31: Ampliación de la Figura 30, Gráfico de concentración de río Elqui en puente Las Rojas.	51
Figura 32: Gráfico de concentración de arsénico en Río Elqui en La Serena.	52
Figura 33: Variación espacial de arsénico en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.	53
Figure 34: Gráfico de concentración de cobre en río Elqui El Algarrobal.	56
Figura 35: Gráfico de Concentración de cobre en Río Elqui en Almendral, NCh 409 postula un máximo de 2 mg/L.	56
Figura 36. Gráfico de concentración de cobre en Río Elqui en puente Las Rojas, NCh 409 postula un máximo de 2 mg/L.	57

Figura 37: Gráfico de concentración de cobre en Río Elqui en La Serena, NCh 409 postula un máximo de 2 mg/L.....	57
Figura 38: Variación espacial de cobre en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.....	59
Figura 39: Gráfico de concentración de hierro en Río Elqui El Algarrobal.	61
Figura 40: Gráfico de concentración de hierro en Río Elqui en Almendral.....	62
Figura 41: Ampliación Figura 40, Gráfico de concentración de hierro en Río Elqui en Almendral.....	62
Figura 42: Gráfico de concentración de hierro en Río Elqui en puente Las Rojas. ..	Error!
Bookmark not defined.	
Figura 43: Ampliación Figura 42, Gráfico de concentración de hierro en Río Elqui en puente Las Rojas.....	63
. Figura 44: Gráfico de concentración de hierro en Río Elqui en La Serena.	64
Figura 45: Ampliación Figura 44, Gráfico de concentración de hierro en Río Elqui en La Serena.	64
Figura 46: Variación espacial de hierro en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.....	65
Figura 47: Gráfico de concentración de manganeso en Río Elqui El Algarrobal.....	68
Figura 48: Gráfico de concentración de manganeso en Río Elqui en Almendral.	68
Figura 49: Gráfico de concentración de manganeso en Río Elqui en puente Las Rojas.	69
Figura 50: Gráfico de concentración de manganeso en Río Elqui en La Serena.....	69
Figura 51: Variación espacial de manganeso en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.....	70
Figura 52: Gráfico de concentración de sulfato en Río Elqui El Algarrobal.	72
Figura 53: Gráfico de concentración de sulfato en Río Elqui en Almendral.	73

Figura 54: Gráfico de concentración de sulfato en Río Elqui en puente Las Rojas.....	74
Figura 55: Gráfico de concentración de sulfato en Río Elqui en La Serena.	74
Figura 56: Variación espacial de sulfato en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.....	76
Figura 57: Dendograma de Estaciones de monitoreo analizadas.	85
Figura 58: Parámetros alterados en estaciones de monitoreo analizadas.	83

RESUMEN

El río Elqui se ubica en la IV Región de Coquimbo, a 815 metros sobre el nivel del mar y 2 km aguas arriba del sector de Rivadavia. Se forma a partir de la unión de los ríos Turbio y Claro, donde prácticamente no recibe afluentes. El tipo de régimen de alimentación que posee es mixto (pluvio-nival) y sus aguas son utilizadas intensamente para el regadío del valle del Elqui y consumo humano en las ciudades de La Serena, Coquimbo y Vicuña. En este Seminario de Título se realizó un estudio de calidad de aguas del río Elqui, que tiene como objetivo determinar sus características propias. Dicho estudio se basó en el análisis de datos obtenidos de la Dirección General de Aguas correspondiente a cuatro estaciones de monitoreo superficiales ubicadas en el río Elqui. Este análisis se llevó a cabo mediante la valoración de parámetros físicos y químicos con la posterior evaluación de sus comportamientos a nivel temporal, estival y espacial. Sumado a esto, se consideraron las Normas Chilenas NCh 1.333 Of. 78 "Requisitos de calidad de agua para diferentes usos, sección 6, requisitos para el agua de riego", y Nch 409/1. Of N° 2005, "Agua potable, parte 1, requisitos". Normas que establecen estándares de calidad para agua potable y aguas de regadío, respectivamente.

Los parámetros seleccionados para la realización del estudio fueron: pH, conductividad específica, temperatura, aluminio, arsénico, cobre, hierro, manganeso, sulfato y zinc, los cuales son estudiados mediante tres tipos de análisis:

- Análisis de calidad de agua: se realizó mediante gráficos de barra, los cuales tienen como variable dependiente el tiempo, donde es posible visualizar cuando las normas aplicadas son superadas.

- Análisis estival: se analizó la relación existente entre cada temporada estival, mediante el cálculo del Coeficiente de Correlación de Pearson (r) para determinar si existe una tendencia al aumento o disminución del parámetro en relación al tiempo en cada temporada.

- Análisis espacial: mediante diagramas de cajas, en los cuales la variable espacial es utilizada como dependiente, se realizó una comparación con respecto a la ubicación de aquellas estaciones que presentan mayores concentraciones.

Los resultados indicaron que existe una alteración en los valores de los parámetros debido a las actividades antrópicas que se efectúan en el sector, especialmente minería y agricultura. Según la NCh 409, ninguna de las aguas monitoreadas son aptas para el consumo humano, debido a los altos valores de pH, arsénico, hierro y manganeso que presentan las estaciones de calidad de agua analizadas. Por otro lado, según la NCh 1.333, sólo las aguas de una estación de monitoreo son aptas para riego, mientras que las tres restantes presentan altos valores de pH, cobre y hierro, lo que determina a que no sean utilizables para riego sin un tratamiento previo.

Se observó una tendencia espacial importante en todos los resultados, debido a la existencia del embalse Puclaro, el cual sedimenta una gran cantidad de metales. Es por esto que en aquella estación que se encuentra río arriba del embalse se observan altas concentraciones de metales, mientras que en las tres que ubicadas bajo el embalse, presentan valores considerablemente menores en la concentración de sus metales.

ABSTRACT

The Elqui River is located on the IV region of Coquimbo, at 815 meters above the sea level and 2 km up of a place called Rivadia. It starts from the union of the Turbio and Claro rivers, where practically doesn't receives affluent. The kind of regime of feeding is mixed (snowy-pluvial) and its waters are used for the irrigation of the Elqui Valley and human consume in the cities of La Serena; Coquimbo and Vicuña. In this work a study of the quality of waters was performed, with the aim was to determinate the river characteristics. The study was based on the analysis of data obtained from the General Direction of Water, based on four monitoring stations located at the Elqui River. The analysis was done estimating physical and chemical parameters, and further evaluation of its behaviors according to temporal, season and spatial variations. To this end, the Chilean standards, NCh 1.333 Of. 78 " Water quality requirements for different uses, Section 6 requirements for irrigation water" and Nch 409/1 Of N° 2005, "Drinking Water, Part 1,requirements" were considered.

The selected parameters for this study were: pH, specific conductivity, temperature, aluminum, arsenic and copper, iron, the manganese, zinc and sulfate. All of them were studied using three different types of analysis:

- Water Quality Analysis: using bar graphs, which have a time dependent variable, that allows to detect standards overcoming.
- Spatial Analysis: With box plots in which the spatial variable is used as a dependent, a comparison is made in order to locate stations with higher concentrations of metals.

- Seasonal analysis: Analyze the seasonal variations towards the Pearson correlation coefficient (r) in order to detect if there is a tendency to increase or decrease of parameters in each season.

The results indicate alterations in the parameter values arising from anthropic activities in the area, in particular mining and agriculture. According to NCh 409, none of the monitored waters are fit for human consumption due to a high pH, arsenic, iron and manganese values present in the water analyzed. Furthermore, according to NCh 1333, only the water of one monitoring station was suitable for irrigation, while the other three have high ranges of pH, copper, iron, making them unfit for irrigation.

There is substantial spatial correlation in all of the results; arising from the Puclaro dam, which settles a lot of metal. It is for this reason that the station up river to the dam had highest metal concentrations, while the three stations located down river from the dam, had much lower values in metal concentrations.

I.- INTRODUCCIÓN

1.1 Contaminación del agua

Contaminación del agua se define como la introducción por el ser humano y sus actividades, de manera directa o indirecta, de sustancias o energía, que da por resultado efectos negativos como:

- Daño de recursos vivos.
- Daño a la salud humana.
- Impedimento de la realización de actividades acuáticas.
- Impedimento del uso del agua para actividades agrícolas, industriales, o domesticas.

(GESAMP, 1988).

También existe otro tipo de contaminación de aguas asociado a orígenes naturales, como la contaminación por erupciones volcánicas o debido a la naturaleza metalúrgica del sector en el que se ubica el cuerpo de agua.

1.1.1 Contaminación agrícola: Constituye un foco de contaminación de carácter difuso, derivado de su desarrollo sobre grandes áreas. La aplicación incorrecta de fertilizantes generalmente no se encuentra adaptada a las necesidades de nutrientes de los cultivos, esto, sumado a las prácticas de riego por gravedad y sistemas de alta presión (con los que las pérdidas de agua y nutrientes son máximas) en zonas vulnerables, favorecen el lavado de nitratos y su incorporación a acuíferos cercanos (Moreno, 1996).

1.1.2 Contaminación minera: Se clasifican distintos tipos de contaminación minera según su origen, siendo estos:

- a) Contaminación por metales pesados y lixiviación:** Este tipo de contaminación existe cuando algunos metales pesados como el arsénico, cobalto, cobre, plomo, plata y zinc, entre otros, entran en contacto con el agua, ya que están contenidos en las rocas excavadas. Este fenómeno de lixiviación se ve favorecido en condiciones ácidas.
- b) Contaminación Química:** Ocurre debido al derrame, goteo o mal manejo de aquellos agentes químicos que se utilizan en la minería para la separación del material deseado. Compuestos como cianuro y ácido sulfúrico son comúnmente usados para esta función.
- c) Erosión y Sedimentación:** La actividad minera genera efectos en el suelo y en las rocas durante las etapas de extracción a la intemperie, construcción y mantenimiento de caminos. La erosión que puede ocurrir en estos suelos expuestos puede transportar una gran cantidad de sedimentación a arroyos, ríos y lagos cercanos, lo que finalmente, contamina el cuerpo de agua.
- d) Mal manejo de desechos:** Cuando el proceso de extracción minera termina, las rocas sobrantes se vuelven desechos que se ubican en escombros, los cuales contienen metales pesados y tóxicos. También existe la posibilidad de encontrar presencia de agentes químicos utilizados en el proceso de lixiviación. Las pilas de desecho son generalmente situadas en áreas de contención superficiales, en lagunas de oxidación, o bajo tierra, donde se utilizan como relleno para áreas anteriormente excavadas. Si estos desechos son mal manejados, los contaminantes presentes pueden lixiviar hacia la superficie o a los mantos de agua subterránea próximos.

El conjunto de estos factores derivan en el fenómeno conocido como Drenaje Ácido de Minas (DAM). Este ocurre debido al escurrimiento de soluciones ácidas sulfatadas, frecuentemente con un contenido significativo de metales disueltos, resultado de la oxidación química y biológica de minerales sulfurados y de la lixiviación de metales pesados asociados. Las reacciones de oxidación ocurren en forma natural, y se aceleran por el aumento de exposición de la roca al oxígeno y al agua y por la acción catalizadora de algunas bacterias (Ministerio de Minería, 2002). Estas reacciones químicas y biológicas pueden generar aguas ácidas que aumentan el potencial para la movilización de contaminantes (principalmente metales pesados) dentro de la solución. Las aguas ácidas resultantes del DAM pueden contener elevadas concentraciones de metales y sulfatos, además de otros componentes lixiviados por el ácido, por lo cual este fenómeno está caracterizado por pH bajo (valores de pH entre 5 y 1,5); asociado a una acidez creciente en el tiempo, y a concentraciones elevadas de sólidos disueltos totales (SDT); sulfato (2.000 mg/L), hierro y otros metales (Vilas, 2001).

1.2 Calidad de aguas

Calidad de agua corresponde al grupo de concentraciones, especificaciones, sustancias orgánicas e inorgánicas, composición y estado de la biota en que se encuentra un cuerpo de agua. La calidad del cuerpo de agua muestra variaciones espaciales y temporales debido a factores internos y externos del mismo (Chapman, 1992).

Es por esto que la calidad de las aguas es una variable descriptora fundamental, tanto desde el punto de vista de su caracterización ambiental como desde la perspectiva de la planificación y gestión hidrológica, ya que determina la capacidad que posee el agua para mantener los ecosistemas y atender diferentes demandas (Varó & Segura, 2009).

1.3 Evaluación de calidad de aguas

La evaluación de calidad de agua (ECA) es un proceso de enfoque múltiple que se utiliza para evaluar las características físicas, químicas y biológicas que puede tener un cuerpo de agua en relación a su calidad natural, los efectos humanos que pueden ser ejercidos y sus posibles usos, especialmente aquellos relacionados con la salud. Los objetivos de la ECA se basan principalmente en definir factores determinantes, como lo son: condiciones del entorno, condiciones actuales, cambios y tendencias de largo plazo y finalmente pretende identificar, describir y explicar los principales factores que afectan las actuales condiciones, cambios y tendencias en la calidad del agua (FAO, 1993).

1.3.1 Evaluación de calidad de aguas en Chile

En Chile existe un Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), cuya gestión consiste en la evaluación ambiental de proyectos de acuerdo a lo establecido en la norma vigentes. Es el ente encargado de fiscalizar los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), dentro de los cuales, existe un capítulo llamado comúnmente "Antecedentes del área de influencia del proyecto" o "Línea base". En el cual se describen parámetros ambientales que puedan verse alterados a causa del proyecto, donde se incluye una descripción del medio físico (aguas superficiales, subterráneas, aire y suelo) en cuanto a sus características y dinámicas. Dentro de la descripción hidrológica, se encuentra el informe de calidad de aguas, en el cual se evalúa el estado previo de los cuerpos de aguas que puedan verse afectados con la puesta en marcha del proyecto.

1.4 Caracterización de la zona estudiada

1.4.1 Ubicación Geográfica

La zona estudiada corresponde a un sector equivalente a 70 km de extensión ubicado en la IV región de Coquimbo, la cual tiene una superficie de 40.462 km², equivalentes al 5,3% de la superficie total del país, sin considerar el territorio antártico. Esta región se extiende desde el límite con la III Región de Atacama, a los 49° 40' hasta los 32°10' latitud sur, donde limita con la V Región de Valparaíso (Sánchez & Morales, 2000).

1.4.2 Caracterización hidrográfica

Los principales rasgos que presenta el relieve de la región de Coquimbo son la existencia de tres importantes valles transversales, que de norte a sur se conocen como: Elqui, Limarí y Choapa, cuya morfología permite el desarrollo de la actividad agrícola, el asentamiento humano principal y la penetración hacia la Cordillera de los Andes. Cada uno de ellos posee un río propio, los cuales son nombrados de la misma forma que el valle en el que se encuentra (Sánchez & Morales, 2000), lo que se puede observar en la Figura 1.

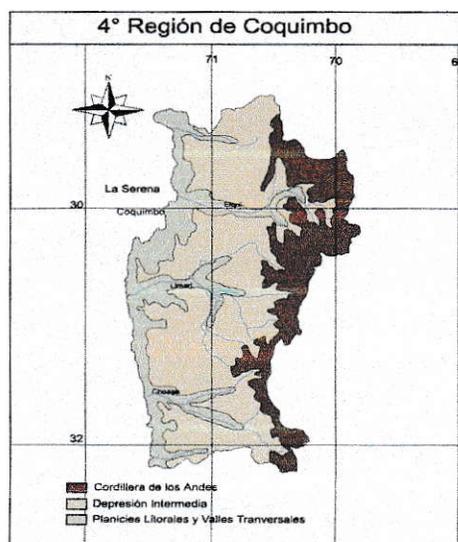


Figura 1: Mapa hidrológico IV Región.

En la región existen varios embalses, siendo el más importante el llamado Puclaro, con una capacidad de 200 millones de metros cúbicos y ubicado en la comuna de Vicuña, 45 km al este de la ciudad de La Serena. El embalse almacena aguas del Río Elqui, que abastecen de agua potable a las comunas de La Serena y Coquimbo y otorgan seguridad de riego de 85% a 20.700 hectáreas de la región. Los embalses tienen una gran capacidad de decantación, lo cual se fundamenta en la diferencia de peso específico existente entre partículas sólidas en suspensión y el agua. Así cuando disminuye la velocidad ascensional del líquido a un valor menor que la caída del sólido, el material sedimentable se deposita en el fondo del embalse. Este proceso se ve con frecuencia acelerado por el carácter artificial del embalse, que lo hace no estar en equilibrio con la cuenca de drenaje. En general, los metales tienden a precipitar en condiciones oxidantes o de pH alto, por lo que estas características también provoacrían la aceleración del proceso de decantación dentro del embalse.

Las estaciones de monitoreo de calidad de aguas pertenecientes a la DGA que se analizaron corresponden a cuatro estaciones superficiales llamadas, de este a oeste, río Elqui El Algarrobal, río Elqui en Almendral, río Elqui en puente Las Rojas y río Elqui en La Serena, todas ubicadas en la cuenca del río Elqui y en dicho río. Este nace a 815 m.s.n.m. y 2 km aguas arriba de sector de Rivadavia, a partir de la unión de los ríos Turbio y Claro. El río prácticamente no recibe afluentes, salvo en varias quebradas de considerable desarrollo, pero que normalmente se encuentran secas (DGA, 2004). El tipo de régimen de alimentación que posee es mixto (pluvio-nival) y sus aguas son utilizadas intensamente para el regadío del valle del Elqui y consumo humano en las ciudades de La Serena, Coquimbo y Vicuña (Sánchez & Morales, 2000). La ubicación de las estaciones de monitoreo pertenecientes a la DGA que se analizarán se observan en la Figura 2.

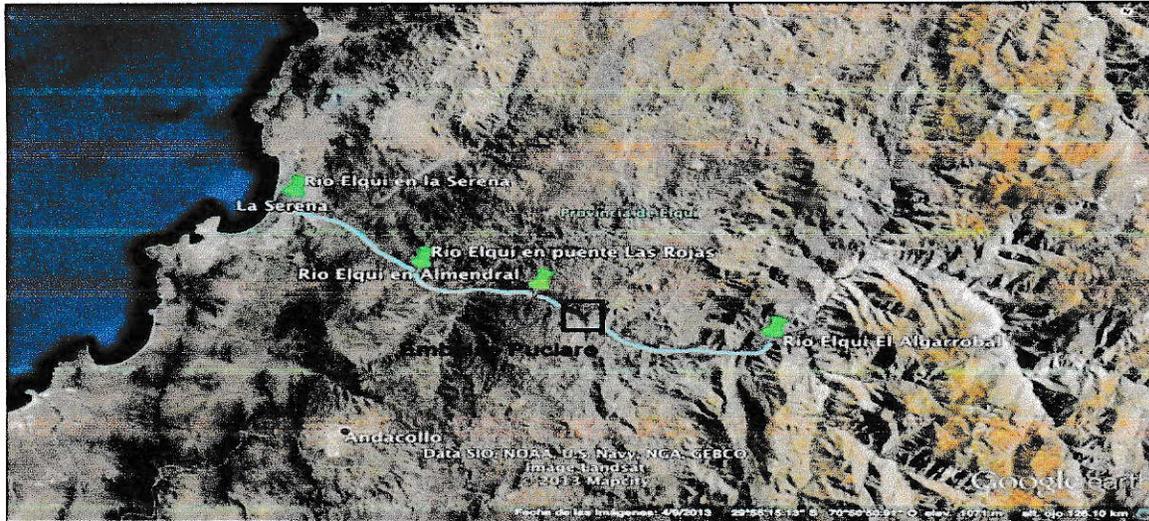


Figura 2: Mapa de las estaciones de monitoreo analizadas.

1.4.2 Clima

La Cuenca del río Elqui presenta tres tipos de climas, siendo éstos:

- a) **Clima Estepárico costero o Nuboso:** Se presenta a lo largo de toda la costa, su influencia llega hasta 40 km al interior, por medio de valles transversales y quebradas. Su mayor característica es la abundante nubosidad, humedad y temperaturas moderadas, con un promedio de 130 mm de precipitaciones anuales con período seco de 8 a 9 meses (DGA,2004).
- b) **Clima de Estepa Cálido:** Este clima se sitúa en el valle del río Elqui, por sobre los 800 m.s.n.m. y se caracteriza por la ausencia de nubosidad y sequedad del aire. Las temperaturas son mayores que en la costa, con precipitaciones no tan abundantes y períodos de sequía característicos (DGA,2004).
- c) **Clima Templado Frío de Altura:** Este clima se localiza en la Cordillera de Los Andes sobre los 3.000 metros de altura, con altas precipitaciones, temperaturas bajas y permanentes nevazones que constituyen un aporte significativo de agua en el período estival (DGA,2004).

A partir de los caudales mensuales registrados en tres estaciones fluviométricas pertenecientes a la DGA, se realizó la Tabla 1, en la cual se pueden observar los promedios de los caudales en cada período estival para las estaciones de monitoreo, es importante destacar que la estación río Elqui en puente Las Rojas no cuenta con estación fluviométrica, por lo cual no se adjunta en la Tabla 1.

Tabla 1: Caudales medios para cada período estival en estaciones de monitoreo..

Estación	Verano (m ³ /S)	Otoño (m ³ /S)	Invierno (m ³ /S)	Primavera (m ³ /S)	Total (m ³ /S)
Río Elqui el Algarrobal	13,8	7,59	7,82	10,39	9,9
Río Elqui en Almendral	12,48	8,77	7,81	8,52	9,4
Río Elqui en La Serena	5,7	4,95	5,89	3,83	5,1

Fuente: DGA, 2014.

1.4.3 Geología y Litología

En términos geológicos, la cuenca está constituida principalmente por afloramientos de rocas plutónicas y volcano-sedimentarias. Estas rocas son de carácter calcoalcalino intermedio, y su composición es similar a la del promedio de la corteza terrestre. Debido a que albergan numerosos yacimientos sulfurados, asociados a zonas de alteración hidrotermal, los procesos de meteorización y erosión comunican a las aguas y sedimentos altos contenidos de cobre, zinc, hierro, arsénico y sulfato, en parte relacionados con la generación natural de drenaje ácido (Jannas y col. 1999; Oyarzún y col. 2003; Oyarzún y col. 2004). A dicho efecto natural, se agrega el de las actividades mineras y metalúrgicas iniciadas en el siglo XIX, que han dejado numerosos depósitos de relaves y otros desechos mineros, así como excavaciones que facilitan la disolución de los minerales y su posterior transferencia al drenaje. En resumen, el suelo del sector tiene un carácter alcalino con influencia de la actividad minera. El tipo de suelo asociado

al sector corresponden a Aridisoles y Entisoles. Los Aridisoles son suelos con alta presencia de sales solubles en superficies características de zonas más áridas, en donde existe una alta presencia de arcillas silicatadas. Por otro lado, los Entisoles son suelos típicos de laderas en donde la escorrentía no permite la evolución de los suelos en profundidad a causa de la erosión hídrica. Estos aparecen principalmente en zonas agrícolas, ya que son suelos fértiles.

1.4.4 Actividades antrópicas

Las ciudades que se ubican en la cuenca del Elqui corresponden a La Serena (capital regional) y Vicuña. De acuerdo a la distribución espacial de los asentamientos humanos, en general, éstos se emplazan próximos al cauce principal del río Elqui y al río Claro o estero Derecho (DGA, 2004). A continuación se detallan las distintas actividades económicas más influyentes sobre el río Elqui.

1.4.4.1. Actividad Agrícola

La actividad agrícola que se desarrolla en el valle del Elqui tiene principalmente cultivos de forrajeras anuales y permanentes, frutales, hortalizas y parronales viníferos. En la producción frutal del sector se destaca el cultivo de papaya, palta, chirimoya, higo, durazno y uva, lo que ha dado origen a importantes plantas desecadoras de frutas y de producción de licores, como pisco, aguardiente y vino. (DGA,2004).

Las principales actividades agrícolas cercanas a las estaciones de monitoreo se describen en la Tabla 2.

Tabla 2: Actividades agrícolas cercanas a estaciones de monitoreo.

Estación de monitoreo	Vides	Frutales	Cereales	Hortalizas	Otros
Río Elqui El Algarrobal	76%	2%	0%	22%	0%
Río Elqui en Almendral	60%	15%	3%	22%	0%
Río Elqui en Puente Las rojas	1.5%	9%	16%	40%	33.5%
Río Elqui en La Serena	0%	0.7%	0.3%	60%	39%

Fuente: Zabala y col. 2008.

1.4.4.2 Actividad Ganadera

En la cuenca del río Elqui se desarrollan actividades ganaderas, principalmente representadas por pequeños criadores de cabras. Esto constituye fundamentalmente como una economía doméstica orientada a la reproducción simple de las unidades, donde la actividad principal es la producción de queso de cabra (Salas y col. 2012).

1.4.4.3 Actividad inmobiliaria y residencial

Es posible afirmar que el uso del suelo de tipo urbano en la cuenca es reducido, ya que alcanza una superficie de 343 ha equivalentes al 0,03% de la superficie total de la cuenca. Este tipo de uso comprende ciudades, pueblos y zonas industriales, concentrándose la población urbana mayoritariamente en La Serena y la localidad de Vicuña.

Las descargas de aguas servidas asociadas a Vicuña y La Serena son realizadas por la Empresa de Servicios Sanitarios de Coquimbo (ESSCO) en donde se depositan estos residuos tratados al río Elqui y al mar, respectivamente.

1.2.4.4 Actividad minera

La distribución de los principales yacimientos mineros en la IV Región se detalla en las Figuras 3 y 4.

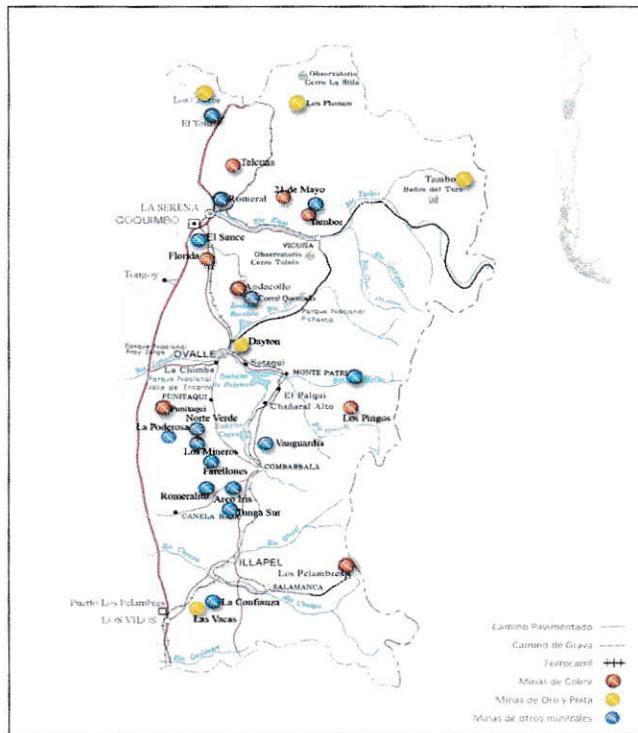


Figura 3: Mapa de las principales mineras que se ubican en la IV Región.

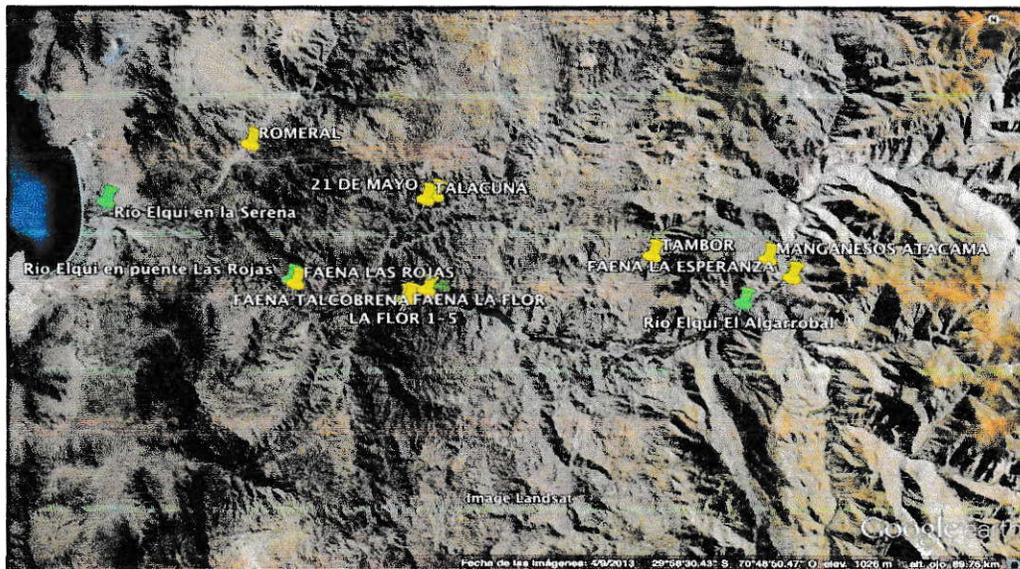


Figura 4: Ubicación principales de yacimientos mineros próximos a estaciones de monitoreo analizadas.

La actividad minera de la cuenca está representada principalmente por las explotaciones de Andacollo y San Jerónimo. Las faenas mineras pertenecientes a la Cía. Minera El Indio (El Indio y El Tambo) se emplazan en la zona alta de la subcuenca, cerca de los ríos El Toro y Turbio. En el yacimiento El Indio se explotaba oro, plata y cobre desde 1981 hasta el 2006. Mientras que en El Tambo, yacimiento ubicado a 5 km. de El Indio, se extrae principalmente oro.

Por otro lado, la faena minera de Andacollo – Cobre explota cobre. 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 localizados en la zona norponiente y surponiente de la cuenca (DGA, 2004).

De manera adicional a los yacimientos previamente mencionados, los principales yacimientos mineros que se ubican próximos a las estaciones de monitoreo analizadas son:

- a) Tambor: Yacimiento de extracción subterránea, de cobre y en menor medida de plata.
- b) 21 de Mayo: Complejo de minas y planta que procesa sulfuros de cobre y plata.
- c) Romeral: Yacimiento productor de hierro fino, en terrones, pellet para los mercados nacionales y extranjeros.
- d) La esperanza: Yacimiento de cobre.
- e) Manganesos Atacama: Yacimiento de manganeso.

El conjunto de estas actividades antropogénicas, puede generar contaminación de cuerpos de aguas cercanos. Aquellos factores que pueden incidir en las estaciones de monitoreo analizadas, se especifican en la Tabla 3.



Tabla 3: Posibles factores que pueden incidir en cursos de agua cercanos a las estaciones de monitoreo analizadas.

Estación de monitoreo	Factores influyentes en calidad de aguas
Río Elqui El Agarrobal	<ul style="list-style-type: none"> - Formaciones rocosas volcánicas. - Centros poblados: Rivadavia. -Agricultura: Cultivos de viñas y parronales en forma intensa y tecnificada.
Río Elqui en Almendral	<ul style="list-style-type: none"> - Formaciones de rocas volcánicas. - Descargas: aguas arriba descarga de la ciudad de Vicuña (ESSCO), Empresa Capel Vicuña. - Agricultura de viñas y parronales en forma intensa y tecnificada. - Minerías presentes: Manganeso: Los Loros, Copihue y Puntilla. Cobre: 21 de Mayo, El Volcán y Hanze, Talacuna, Marianita. Oro: Farellón, Inés, Caserones.
Río Elqui en puente Las Rojas	<ul style="list-style-type: none"> - Centros poblados: Las Rojas. -Agricultura de viñas, parronales y papayas en forma intensa y tecnificada. - Minería: Oro: San Luis Cobre: San Enrique, Marisel, San Luis, Rolex, Las Rojas, Aliaga, El Sauce.
Río Elqui en La Serena	<ul style="list-style-type: none"> - Centros poblados: La Serena. - Agricultura de viñas, parronales y papayas en forma intensa y tecnificada. - Descarga de minera de cobre, Compañía minera del pacifico.

Fuente: DGA, 2004.

1.5 Gestión y administración del recurso: DGA (Dirección General de Aguas)

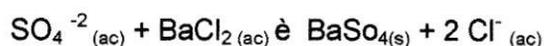
La Dirección General de Aguas (DGA) es el organismo estatal que se encarga de promover la gestión y administración del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente. También proporciona y difunde la información generada por su red hidrométrica y la contenida en el Catastro Público de Aguas a fin de contribuir a la competitividad del país y mejorar la calidad de vida de las personas. Los parámetros analizados según datos entregados por la DGA fueron: pH,

conductividad específica, temperatura, aluminio, arsénico, cobre, hierro, manganeso, sulfato y zinc. Para cada uno de estos parámetros la DGA utilizó distintos métodos analíticos, los cuales se describen a continuación:

- a) **Determinación de pH:** Se utilizó pH-metro el cual consiste en un método potenciométrico donde el dispositivo tiene un sección sensible al pH, capaz de convertir esta sensibilidad a la concentración de protones en una señal eléctrica (Aldabe y col. 1999).
- b) **Determinación de conductividad específica:** Se empleó un conductivímetro, el cual es un instrumento compuesto por dos placas de un material especial (platino, titanio, níquel recubierto con oro, grafito, etc.), una fuente alimentadora y un sector o escala de medición. Se aplica una diferencia de potencial entre las placas, y el instrumento mide la cantidad de corriente que pasa por ellas, expresados en $\mu\text{mhos/cm}$.
- c) **Temperatura:** Se utilizó un termómetro, aparato que tiene mercurio en un bulbo situado en la parte inferior, el cual está conectado a un cilindro fino de vidrio, de modo que la dilatación que presenta el mercurio por efectos de temperatura se traduce a la altura que llega el elemento.
- d) **Determinación de metales:** El aluminio, arsénico, cobre, hierro, manganeso y zinc fueron analizados por el método de Espectrofotometría de absorción atómica, basada en la medición de concentración de especies atómicas, por su absorción a una longitud de onda característica. Se atomiza la muestra por flama o llama, nebuliza la muestra y luego la disemina en forma de aerosol dentro de una llama de aire, acetileno u óxido nitroso-acetileno (Morral, 2003). Los límites de detección de este método para cada metal son: aluminio 0,05 mg/L, arsénico

0,001 mg/L, cobre 0,02 mg/L, hierro 0,02 mg/L, manganeso 0,02 mg/Ly finalmente zinc 0,01 mg/L.

e) **Determinación de Sulfato:** Se aplicó el método turbidimétrico, en el cual se agrega a un volumen de muestra, solución de cloruro de bario (BaCl_2). El bario en presencia de sulfatos, precipita como sulfato de bario (BaSO_4), formando flóculos que causan un cierto grado de turbidez en la solución el cual es proporcional a la concentración de sulfatos presentes,. Esto se explica por la Ley de Beer, que postula que la intensidad de un haz de luz monocromática, que incide perpendicularmente sobre una muestra, decrece exponencialmente con la concentración de la muestra. El límite de detección de este método corresponde a 3 mg/L y la ecuación correspondiente es:



1.6 Normativa legal

Para determinar la calidad de las aguas analizadas se utilizó dos Normas Chilenas oficiales, siendo éstas NCh 1.333 Of. 78 "Requisitos de calidad de agua para diferentes usos, sección 6, requisitos para agua de riego" y NCh 409 Of. 2005 "Agua potable, parte 1: requisitos". Ambas establecen estándares o variables de calidad ambiental que se focalizan en las concentraciones necesarias que debe tener el agua tratada. Esta comparación se realiza con el fin de determinar si en los puntos de medición existen variables que sobrepasen la norma, o bien, que se encuentren próximos a esta situación. Con este análisis es posible determinar si se está dando un correcto uso al agua del sector, según la calidad de agua observada. Los límites propios de cada Norma Chilena se describen en la Tabla 4.

Tabla 4: Límites estipulados según NCh 409 y NCh 1.333 para los parámetros estudiados.

Parámetro	Unidad	NCh 409, parte 1.	NCh 1.333, sección 6.
Conductividad específica	μ mhos/cm	-	$c \leq 750$
			$750 \leq c \leq 1500$
			$1500 \leq c \leq 3000$
			$3000 \leq c \leq 7500$
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	-	-
pH	-	$6,5 < \text{pH} < 8,5$	$5,5 < \text{pH} < 9$
Aluminio	mg/L	-	5
Arsénico	mg/L	0,01	0,1
Cobre	mg/L	2	0,2
Hierro	mg/L	0,3	5
Manganeso	mg/L	0,1	0,2
Sulfato	mg/L	500	250
Zinc	mg/L	3	2

Fuente: NCh 1.333 y NCh 409, 2014.

Como se puede observar en la Tabla 4 , la Norma Chilena 1.333, sección 6, especifica varios rangos para el parámetro de conductividad específica, los cuales son detallados en la Tabla 5.

Tabla 5: Rangos establecidos por NCh 1.333 para Conductividad Específica.

Clasificación	Conductividad Específica a 25 °C (μ mhos/cm)
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales.	$c \leq 750$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles.	$750 \leq c \leq 1500$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita métodos de manejo cuidadosos.	$1500 \leq c \leq 3000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.	$3000 \leq c \leq 7500$

Fuente: NCh 1.333, 2014.

1.7 Hipótesis

¿ La actividad antrópica cercana al río Elqui genera una alteración en la calidad de sus aguas?

1.8 Objetivos

1.8.1 Objetivo general

- Caracterizar la calidad de aguas ubicados en un sector del río Elqui , mediante la comparación de antecedentes provenientes de la base de datos de la Dirección General de Aguas con dos normas chilenas, NCh 1.333, sección 6 y NCh 409 para el periodo 2002-2012.

1.8.2 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis detallado de los valores de pH, conductividad específica, temperatura, aluminio, arsénico, cobre, hierro, manganeso, sulfato y zinc que se encuentran en el agua.

- Identificar la posible existencia de parámetros críticos en la zona.
- Determinar ubicación geográfica de las actividades antrópicas que se realizan cerca de la zona estudiada del río Elqui.
- Determinar si existe una tendencia definida observable en el tiempo, para cada parámetro analizado.
- Determinar si existe una variabilidad estacional en cada parámetro analizado.
- Analizar los resultados de acuerdo a parámetros estadísticos como media aritmética, Coeficiente de correlación de Pearson (r) y análisis de Clusters.

II.- MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Para la elaboración de este Seminario de Título, los materiales utilizados se basan en documentos y herramientas virtuales, como son:

- Documentos obtenidos mediante la DGA: corresponden a informes de calidad de aguas, realizados por la Dirección General de Aguas en el área de estudio.
- Datos obtenidos mediante la DGA: Corresponden a los datos registrados por las estaciones de monitoreo en las estaciones seleccionadas.
- Google Earth: Herramienta utilizada para la localización de puntos de medición de calidad de aguas contemplados para el análisis y los yacimientos mineros ubicados próximos a ellos.
- Microsoft Excel: Herramienta utilizada para la realización de gráficos y análisis estadístico de los datos obtenidos de la DGA.
- Origin lab: Herramienta utilizada para la realización de gráficos de cajas.
- SPSS: Herramienta utilizada para la fabricación de dendograma.

2.2 Métodos

Las etapas necesarias para la realización de este Seminario de Título fueron:

2.2.1 Selección de estaciones de monitoreo

Ya que para la evaluación de calidad de aguas se utilizaron netamente datos bibliográficos pertenecientes a la DGA, no existen datos que provengan de levantamientos de campañas de estudio en terreno. Es por esto, que la elección de puntos de muestreo está acotada a las estaciones de monitoreo instaladas por la DGA. Los criterios de selección de las estaciones de monitoreo más representativas fueron:

- a) Estaciones de monitoreo superficiales que analizaran parámetros de Calidad de aguas que tuvieran igual o más de un 60% de sus valores sobre el límite de detección.
- b) Estaciones de monitoreo que tuvieran vigencia hasta el año 2012.
- c) Estaciones de monitoreo que estuvieran ubicadas entre La Serena y el pueblo de Rivadavia.

Como resultado de esto se seleccionaron 4 estaciones de monitoreo que cumplen con estas características.

2.2.2 Recopilación y Selección de la información

Una vez seleccionados los puntos de muestreo a analizar, se solicitó los antecedentes correspondientes a la DGA para el período 2002-2012 (solicitud N°34388). Adicionalmente se recolectó información procedente de la SEREMI del medio ambiente, DGA, revistas científicas y seminarios de títulos que tuvieran relación la calidad de aguas o con la zona estudiada, a fin de reunir los conocimientos básicos para la realización de un estudio.

Dentro de los datos obtenidos de la DGA, se seleccionó los parámetros considerados relevantes con respecto a la hipótesis planteada, es decir, aquellos que pueden verse alterados por la actividad antrópica ejercida en el sector, siendo estos : Sólidos Totales Solubles (STS), pH, conductividad específica, temperatura, aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, cromo hexavalente, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plata, plomo, sulfato y zinc. No fue posible realizar un análisis de todos estos parámetros, ya que los STS no se miden en las estaciones y por otro lado, las concentraciones de cadmio, cobalto, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata y plomo, presentaron valores inferiores al límite de detección en más de un 60% de los casos.

2.2.3 Análisis de datos

Se ordenó los datos mediante la tabulación de estos. Sobre la base de la observación del comportamiento de los parámetros seleccionados. Los tipos de análisis realizados fueron:

- a) **Análisis de Calidad de agua:** Se utilizó Gráficos de Barra, cuya variable dependiente es temporal. Mediante este método es posible visualizar cuando las normas aplicadas son superadas. Para ello se utilizó líneas negras para delimitar los límites de la NCh 1333, parte 1. y líneas rojas para la NCh 409, sección 6. Para una mejor comparación, en el análisis de cada parámetro se utilizó la misma escala en todas las estaciones de monitoreo. En algunos casos donde la escala es muy grande, las distancias entre los valores obtenidos y las normas aplicadas no se diferencian claramente, por lo que se realizó una ampliación del gráfico, con el objetivo de facilitar el análisis.

- b) **Análisis espacial:** Se utilizó para este análisis los Diagramas de Cajas, en donde la variable espacial dependiente y permite comparar valores derivados de la ubicación de las estaciones que presentan mayores concentraciones.

- c) **Análisis estacional:** Se realizó Gráficos Lineales que permiten observar la variación de los parámetros con respecto al tiempo. Con ellos se puede analizar la posible relación existente entre cada estación del año, mediante el Coeficiente de Correlación de Pearson (r), el cual mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas. La tabulación de los Coeficientes de Pearson en cada temporada estacional para cada parámetro permite establecer las correlaciones existentes.

Finalmente, en cada estación se realizó un análisis de los p-values para afirmar o descartar diferencias estadísticas significativas entre las estaciones de monitoreo analizadas.

2.2.4 Interpretación de datos

Se comparó gráficamente los parámetros medidos en las cuatro estaciones de monitoreo pertenecientes a la DGA. Es importante interpretarlos y así establecer posibles diferencias en la calidad de las aguas de las distintas zonas. Esto permite determinar si existe alteración en ellas derivadas de la actividad antrópica del sector. Se consideró una menor calidad de agua en aquellas estaciones que superaban más veces la norma y tenían mayor promedio en las concentraciones de sus parámetros. El coeficiente de correlación de Pearson oscila entre -1 y $+1$, no obstante, la magnitud de la relación viene especificada por el valor del coeficiente, y el signo señala la dirección de tal valor. En este sentido, tan fuerte es una relación de $+1$ como de -1 . En el primer caso la relación es perfecta positiva y en el segundo perfecta negativa ya que ambas variables presentan el mismo componente. Esto sucede cuando la relación entre ambas variables es funcionalmente exacta, por lo tanto, al ser positivo el Coeficiente de Correlación de Pearson, se interpreta una tendencia al aumento del parámetro en relación al tiempo, y por el contrario, a medida que éste es más negativo, existe una mayor tendencia a la disminución del parámetro con el paso de los años.

De manera adicional, se calculó los p-values (adjuntados en el anexo B), para observar hay diferencias estadísticamente significativa entre las estaciones de monitoreo analizadas. El p-value se define como la probabilidad de error en que incurriríamos en caso de rechazar la hipótesis nula con los datos de que disponemos. La hipótesis nula es que no existen diferencias significativas entre los valores analizados entre dos estaciones de monitoreo, y la hipótesis alternativa corresponde a que si existen

diferencias significativas entre los valores de dos estaciones de monitoreo. A valores pequeños de p-value ($p\text{-value} < 0,05$), la diferencia existente entre los valores de dos estaciones de monitoreo es significativa, y por el contrario, si $p\text{-value} > 0,05$, se acepta la hipótesis nula, la que afirma que no existen diferencias significativas entre los valores de dos estaciones de monitoreo.

A fin de mostrar gráficamente las diferencias significativas entre los valores de las estaciones de monitoreo, se realizó un dendograma utilizando análisis de cluster, el cual muestra gráficamente si existe diferencia estadística significativa entre los valores de cada estación de monitoreo. Aquellas estaciones que no presenten diferencias significativas entre sí, se observarán en el dendograma de manera próxima una a la otra, y por el contrario, si existe una diferencia significativa entre los valores de dos estaciones de monitoreo, estos se verán en el dendograma de manera separada.

2.2.5 Análisis de resultados y conclusiones

Mediante la interpretación de datos entregados por los gráficos y de acuerdo a la alteración de la calidad del agua analizada en cada punto de muestreo seleccionado, se analiza posibles factores causantes en aquellas estaciones que presentan menor calidad de aguas.

III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Estudio de variación de pH

3.1.1 Análisis de promedios anuales de pH en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

El análisis de los valores promedios anuales de pH (Tabla 6) medidos en las aguas del Río Elqui en las cuatro estaciones de monitoreo, muestra que todas ellas son alcalinas ($\text{pH} > 7$) y cumplen el límite inferior de las normas NCh 409 y NCh 1.333. Se observa que en general los valores de pH se mantienen bajo el límite máximo permitido (8,3 – 8,5), con excepción del año 2002 en el que se observa un aumento de pH en todas las aguas analizadas, debido al derrame ocurrido en el distrito cuprífero Talacuna, ubicado en el sector. La estación puente Las Rojas es la que presenta las mayores desviaciones de la norma, sobrepasando el límite de la NCh 1.333 en cinco de los años analizados.

Tabla 6: Promedios anuales de pH para cada estación de monitoreo analizada.

Año	Río Elqui El Algarrobal	Río Elqui en Almendral	Río Elqui en puente Las Rojas	Río Elqui en La Serena
2002	8,36	8,62	8,72	8,52
2003	7,58	7,66	7,73	7,92
2004	7,66	7,99	8,23	7,74
2005	7,86	7,92	8,11	7,55
2006	8,00	8,11	8,11	8,04
2007	7,98	8,15	8,36	8,09
2008	7,86	8,07	8,47	7,98
2009	7,99	8,12	8,73	8,01
2010	8,11	8,16	8,51	8,03
2011	7,78	8,38	8,28	7,78
2012	8,35	8,15	7,82	8,08

Fuente: DGA, 2014.

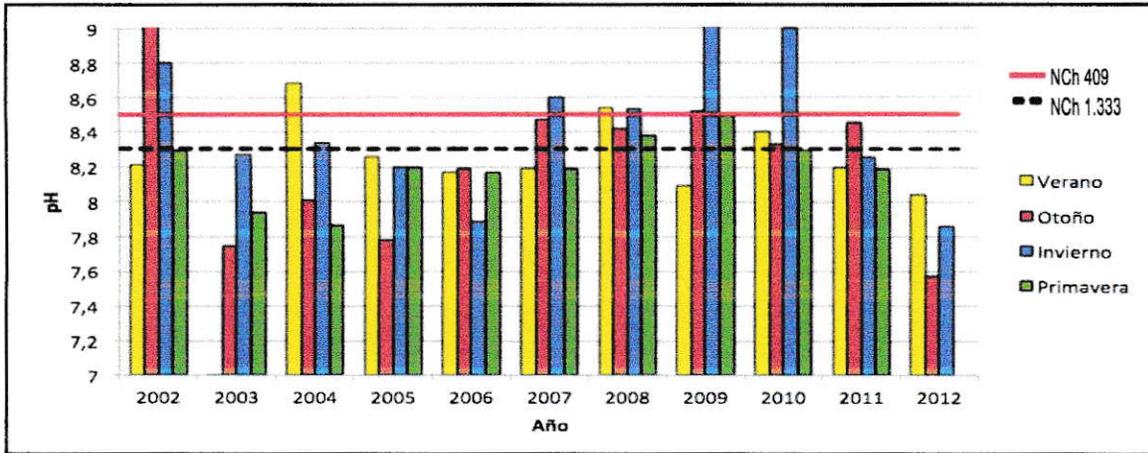


Figura 7: Gráfico de pH en Río Elqui en puente Las Rojas

d) Río Elqui en La Serena

Se observa que ambas normas son superadas dos veces durante el periodo de estudio (Figura 8), siendo en otoño e invierno del 2002, debido al ya mencionado derrame de Talacuna. Por el contrario, el resto de valores registrados se encuentran dentro de los límites establecidos por ambas normas. No se observa una correlación temporal ni estacional entre los valores de pH registrados.

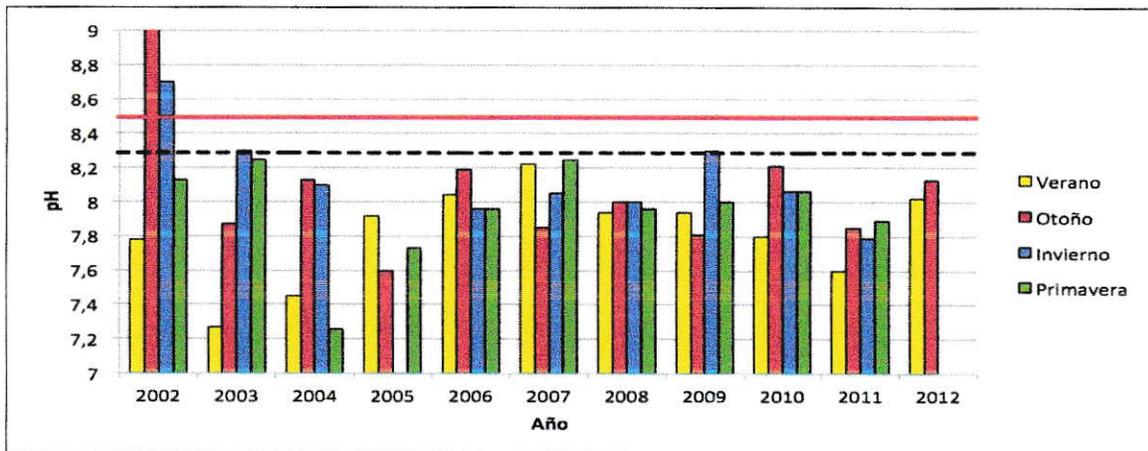


Figura 8: Gráfico de pH en Río Elqui en La Serena.

3.1.3 Análisis estacional de pH en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Con los datos registrados durante todo el periodo de análisis se obtuvo los Coeficientes de Correlación de Pearson (r) (Tabla 7). En verano para las cuatro estaciones de

monitoreo se mantienen positivos, lo que indica un aumento de pH a través del paso del tiempo; en invierno y primavera se observa una tendencia a valores positivos en los coeficientes, ocurriendo el mismo fenómeno. Por el contrario, en otoño existe una tendencia a la disminución del coeficiente estudiado, lo que indica un aumento en la acidez a través del tiempo en aquella etapa estacional. Se destaca que en la estación Río Elqui en Almendral es la única que presenta valores positivos y que en primavera, esta estación junto con Río Elqui en puente las rojas, ocurre una tendencia al aumento de pH. Sin embargo, no se observan variaciones significativas en los valores calculados, por lo que no existe una tendencia estacional definida en el pH a lo largo del paso del tiempo, lo que es consistente con los análisis de calidad de aguas realizados anteriormente (Sección 3.1.2).

Tabla 7: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de pH para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.

Temporada estival	Río Elqui El Algarrobal	Río Elqui en Almendral	Río Elqui en puente las rojas	Río Elqui en La Serena
Verano	0,13	0,31	0,22	0,37
Otoño	-0,07	0,27	-0,25	-0,38
Invierno	0,38	0,27	0,51	-0,22
Primavera	-0,5	0,70	0,52	0,07

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Análisis espacial de pH en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se observa que la estación que presenta mayores valores, máximo y mediana fue Río Elqui en puente Las Rojas (Figura 9). No existe un patrón espacial definido entre los valores de pH y las ubicaciones de las estaciones. La disminución de pH que se observa en río Elqui en La Serena es debido, en parte a, descargas mineras provenientes de la faena El romeral, que genera desechos ácidos provenientes del proceso de lixiviación de cobre, los que al tener contacto con agua provoca la disminución de pH observada. Sin embargo, los p-value indican que no existe una

diferencia estadística significativa entre los pH de las cuatro estaciones de monitoreo analizadas, con valores promedios de 0,12 ($p\text{-value} > 0,05$). Por lo que las diferencias de pH registradas entre estaciones no se consideran significativas.

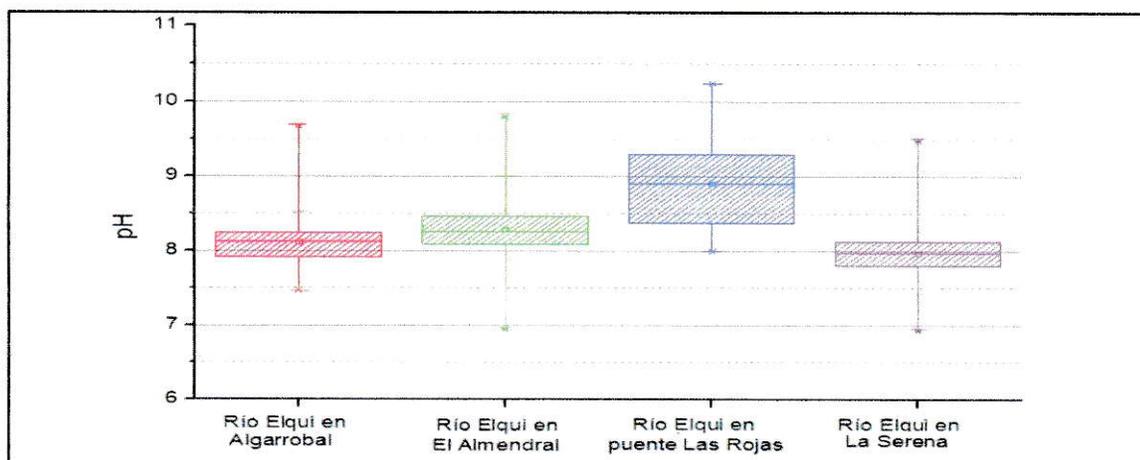


Figura 9: Variación espacial de los valores de pH en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.

El análisis conjunto de la información obtenida, indica que existe una tendencia a pH alcalinos en todas las estaciones de monitoreo analizadas. Los gráficos del análisis de calidad de aguas (sección 3.1.2) indican que los periodos estacionales en los que se supera la norma, son mayormente otoño e invierno, esto ocurre porque la temperatura incide en el estado en que se encuentran los compuestos en solución, es decir, a mayor temperatura, la solubilidad aumenta y es más probable que los compuestos estén ionizados, disminuyendo así el pH. Adicionalmente, se observa un aumento en los valores de pH en todas las estaciones en el año 2002, debido al derrame ocurrido en la mina Talacuna. Los análisis posteriores (estacionales y espaciales) son consistentes en indicar que los valores analizados no presentan correlación con el periodo estacional ni espacial de las estaciones de monitoreo.

3.2 Estudio de variación de conductividad de específica

3.2.1 Análisis de promedios anuales de conductividad específica en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

El análisis de los valores promedios anuales de conductividad específica (Tabla 9) medidos en las aguas del Río Elqui en las cuatro estaciones de monitoreo muestra que existe una disminución de este parámetro en el año 2003 y un aumento en los últimos dos años de estudio en todas las estaciones de monitoreo. Las dos estaciones ubicadas río arriba (Río Elqui El Algarrobal y Río Elqui en Almendral), presentan valores menores a 750 mhos/cm, lo que según la NCh 1.333 (Tabla 5), pueden ser utilizadas para riego y generalmente no se verán efectos perjudiciales con su riego. Río Elqui en puente Las Rojas presenta valores similares a las mencionadas anteriormente, exceptuando en los dos últimos años, donde se observan valores que indican un posible efecto perjudicial en cultivos sensibles. Río Elqui en La Serena tiene valores altos en todas sus mediciones, destacando 2011 y 2012, donde se advierte que esta agua puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita métodos de manejo cuidadosos.

Tabla 8: Promedios anuales de conductividad específica para cada estación de monitoreo analizada.

Año	Río Elqui El Algarrobal (mhos/cm)	Río Elqui en Almendral (mhos/cm)	Río Elqui en puente Las Rojas (mhos/cm)	Río Elqui en La Serena (mhos/cm)
2002	433	565	615	1156
2003	407	450	499	654
2004	517	530	597	1004
2005	509	599	664	1285
2006	441	512	618	913
2007	448	512	609	1059
2008	464	572	640	1034
2009	496	536	684	1121
2010	622	599	680	1319
2011	619	676	767	1617
2012	575	702	813	1150

Fuente: DGA 2014.

3.2.2 Análisis de calidad de agua de conductividad específica en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Las estaciones Río Elqui El Algarrobal y Río Elqui en Almendral presentan valores de conductividad específica bajos (< 750 mhos/cm) durante todo el periodo estudiado. En Río Elqui en puente las Rojas se observa aumento del parámetro (> 750 mhos/cm) durante el periodo 2009-2012. Río Elqui en La Serena presenta valores que en su mayoría, doblan los observados en las tres estaciones mencionadas anteriormente, los cuales aumentan durante los últimos dos años de estudio, superando los 1500 mhos/cm. A continuación se muestra el análisis del cumplimiento de los límites propuestos por la NCh 1.333, para cada estación de monitoreo (Figuras 10-15).

a) Río Elqui El Algarrobal

Se observa que la conductividad específica cumple con la NCh 1.333 durante el período 2002-2012 (Figura 10), ya que todos los valores son menores a 750 μ mhos/cm, clasificándose como “Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales”. No se observan mayores variaciones estacionales, ni existe una correlación en los valores de conductividad específica en esta estación.

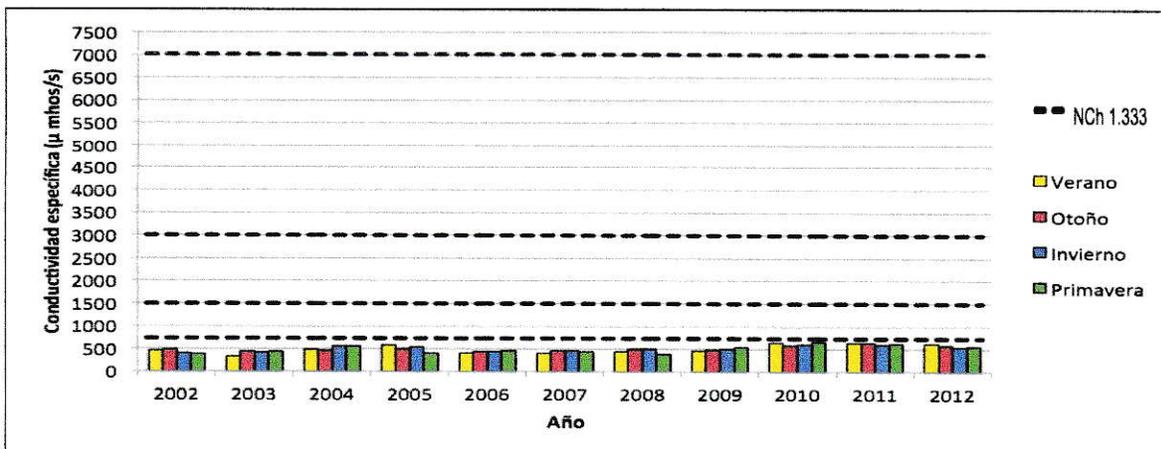


Figura 10: Gráfico de conductividad específica en Río Elqui El Algarrobal.

b) Río Elqui en Almendral

Se muestra que la conductividad específica de esta estación cumple con la NCh 1.333 durante el período 2002-2012 (Figura 11), ya que todos los valores son menores a 750 μ mhos/cm, clasificándose como “Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales”. No se observa variación estacional ni correlación en los valores de conductividad específica en esta estación.

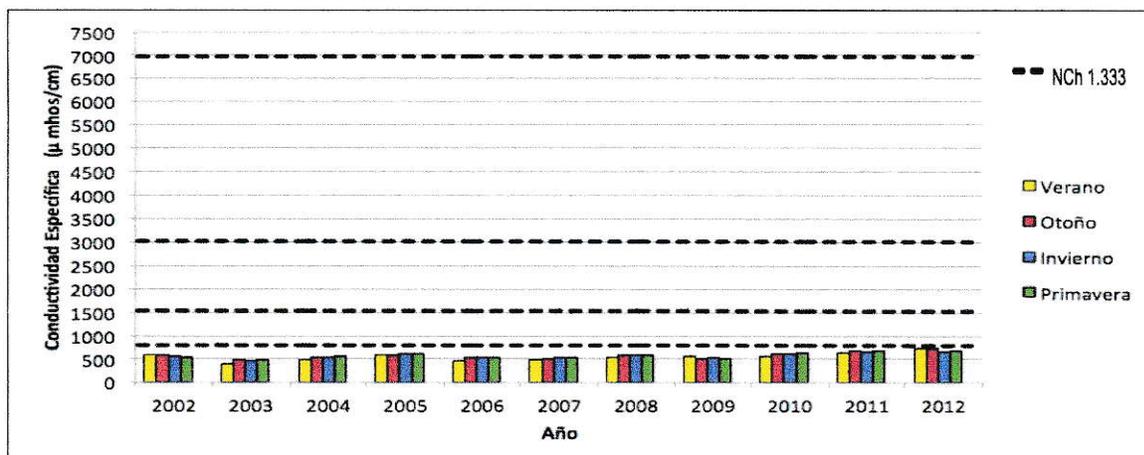


Figura 11: Gráfico de conductividad específica en Río Elqui en Almendral.

c) Río Elqui en puente Las Rojas

La conductividad específica en esta estación presenta valores superiores a 750 μ mhos/cm en invierno 2009, otoño y primavera 2011 y durante todo 2012, clasificando esta agua como “Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles” (Figura 12). El aumento de conductividad específica se acentúa en los últimos años de análisis, ya que durante el período 2002-2008 se clasifican las aguas de esta estación como “Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales”. Se observa que no existe una correlación estacional en los valores de conductividad específica en esta estación de monitoreo (Figura 13).

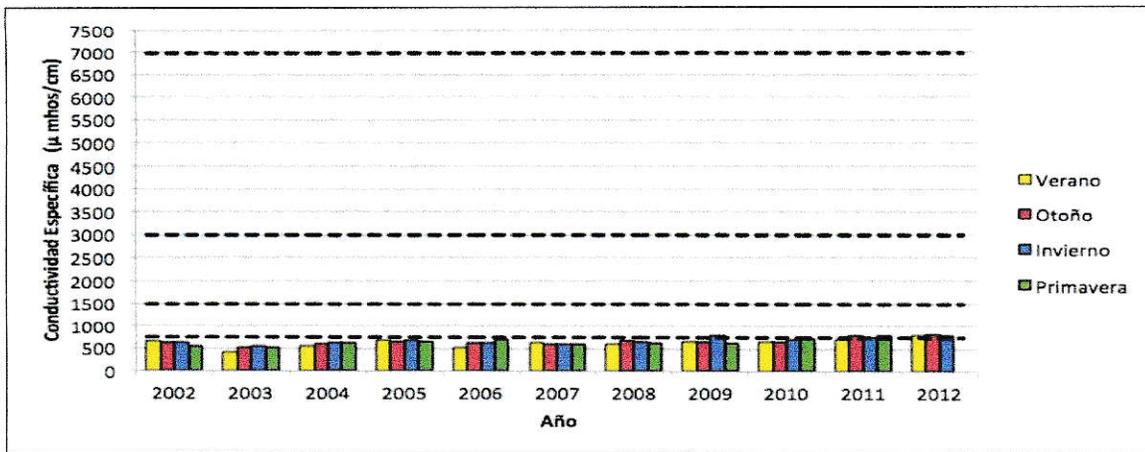


Figura 12: Gráfico de conductividad específica en Río Elqui en puente Las Rojas.

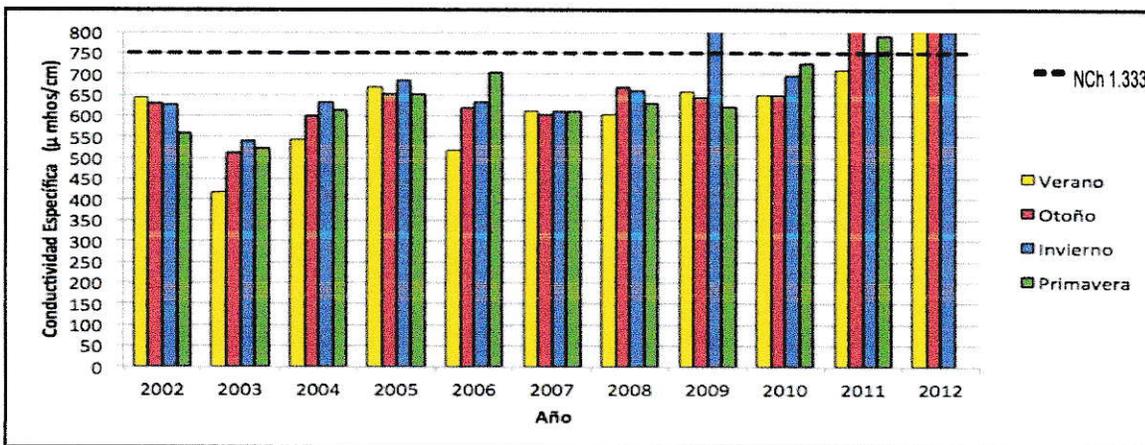


Figura 13: Ampliación Figura 12, conductividad específica en Río Elqui en puente Las Rojas.

d) Río Elqui en La Serena

La conductividad específica supera los 750 μ mhos/cm en todas las mediciones, excepto en primavera 2003, invierno 2003 y verano 2006 (Figura 14). Hasta el 2011, el límite de los 1500 μ mhos/cm no fue superado, siendo apta para riego en cultivos sensibles. Sin embargo, a partir del 2011 se sobrepasa este límite, clasificándola como "Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita métodos de manejo cuidadosos". No existe una correlación estacional en los valores de conductividad específica en esta estación de monitoreo (Figura 14).

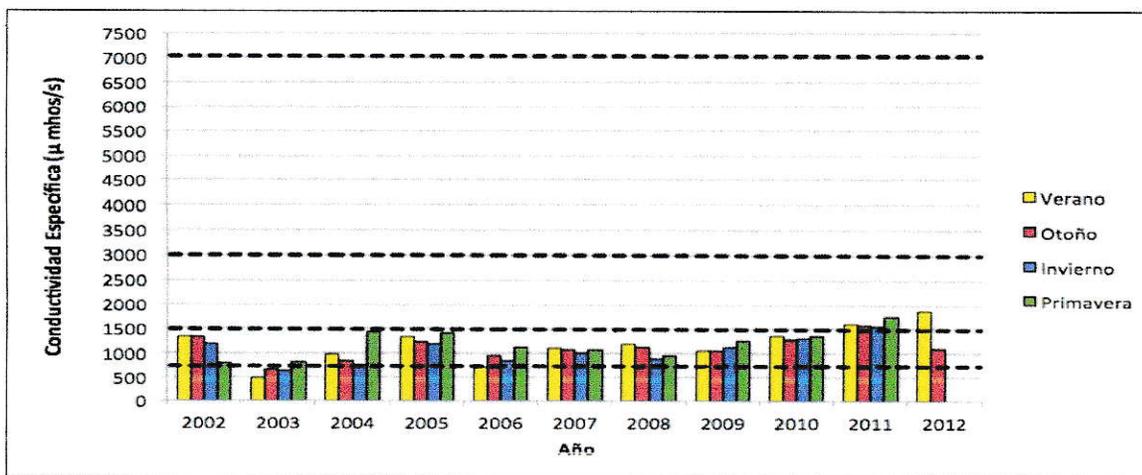


Figura 14: Gráfico de conductividad específica de Río Elqui en La Serena.

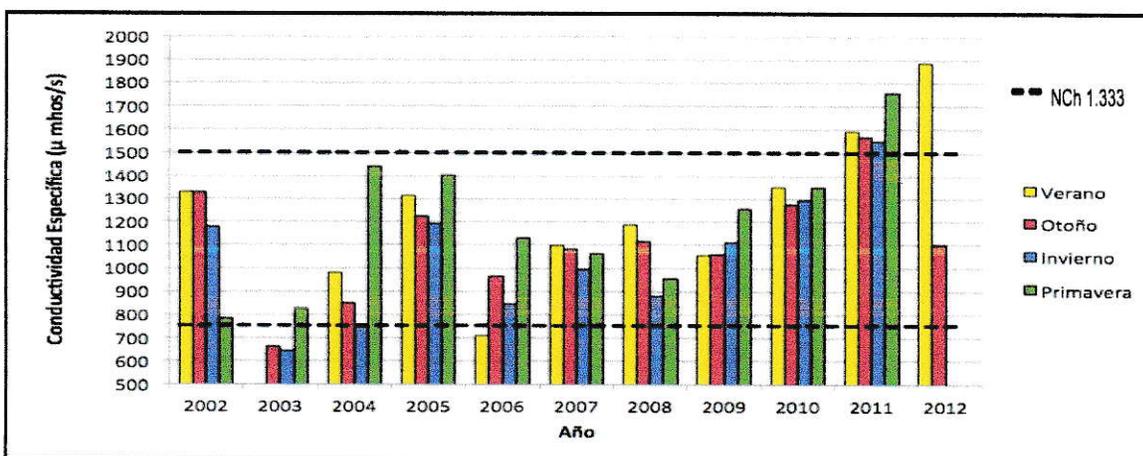


Figura 15: Ampliación Figura 14, Gráfico de conductividad específica en Río Elqui en La Serena.

3.2.3 Análisis estacional de conductividad específica en las estaciones de monitoreo (2002-2012).

El estudio estacional (Tabla 10) muestra que todos los coeficientes de correlación son positivos, lo que indica una tendencia al aumento en la conductividad específica a medida que pasa el tiempo en todas las temporadas estivales, siendo consistente con los análisis de promedios anuales y calidad de aguas realizados anteriormente (Sección 3.2.1 y 3.2.2).

Tabla 9: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de conductividad específica para cada temporada estival de en las estaciones de monitoreo analizadas.

Temporada estival	Río Elqui El Algarrobal (r)	Río Elqui en Almendral (r)	Río Elqui en puente las rojas (r)	Río Elqui en La Serena (r)
Verano	0,64	0,63	0,69	0,64
Otoño	0,76	0,65	0,78	0,44
Invierno	0,65	0,72	0,79	0,59
Primavera	0,75	0,73	0,78	0,60

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Análisis espacial de conductividad específica en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se muestra que la estación con mayores concentraciones, máximo y mediana, fue Río Elqui en La Serena (Figura 16). Existe una tendencia creciente en los valores de conductividad específica según el río se aproxima a la costa, debido probablemente a efectos de arrastres de sales y a la disminución de caudal en esta estación, ya que por efectos de densidad, al disminuir el volumen del caudal y mantener constante la cantidad de sales, se produce un aumento en la concentración de éstas. Los p-value para este parámetro tienen un promedio de $1,6 * 10^{-4}$ (p-value < 0,05), indicando que existe una diferencia significativa entre los valores de las estaciones de monitoreo analizadas.

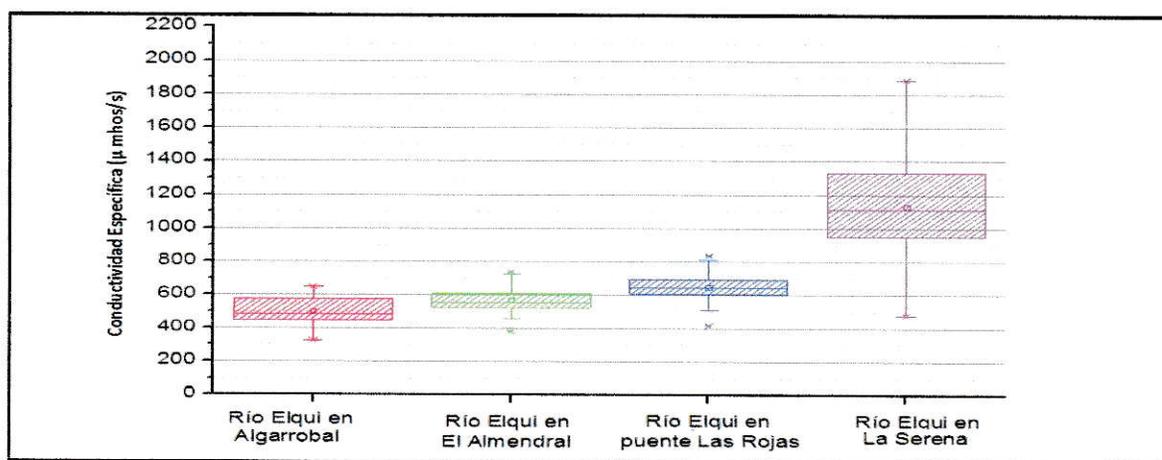


Figura 16: Variación espacial de conductividad específica en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.

El análisis conjunto de la información obtenida indica que los niveles de conductividad específica son explicables por la litología del sector, principalmente constituida por suelos altamente salinos (aridisoles), que pueden aumentar la salinidad de cuerpos de aguas cercanos, generando el aumento de la conductividad específica. Solo desde el punto de vista de la conductividad específica, las aguas de las estaciones Río Elqui en puente Las Rojas y Río Elqui en La Serena necesitarían de tratamiento previo para ser utilizadas como regadío y por el contrario, las aguas de Río Elqui El Algarrobal y en Almendral son aptas para regadío, sin necesidad de ser tratadas anteriormente, según la NCh 1.333. Los análisis realizados concuerdan en que existe una tendencia general al aumento en la conductividad específica a medida que pasan los años.

El análisis espacial indica que los valores de conductividad específica van aumentando a medida que la estación se encuentra más próxima al mar. Así, los altos valores del parámetro en Río Elqui en La Serena se justifican debido a que en este último punto de monitoreo se encuentra una gran cantidad de sales disueltas arrastradas desde estaciones río arriba, sumado a una disminución de su caudal. Estas sales disueltas tienen relación con descargas mineras que realiza la faena El romeral y la contaminación difusa proveniente de sectores más altos, donde existen minas que aportan con desechos, por ejemplo: mina San Luis, San Enrique, Marisel, Rolex, Las Rojas, Aliaga, El Sauce, próximas a la estación Río Elqui en Puente Las Rojas. Mina Loros, Copihue, Puntilla, 21 de Mayo, El Volcán y Hanze, Talcuna, Represa, Marianita, Bedosti, Farellón, Inés y Caserones, también ubicadas en el sector.

3.3 Estudio de variación de temperatura

3.3.1 Análisis de promedios anuales de temperatura en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se observa (Tabla 11) que las temperaturas en las estaciones de monitoreo varían entre 15 y 20 °C y que todas cumplen con la NCh 1.333 (menores a 30°C). Río Elqui El Algarrobal presenta menores temperaturas y por el contrario, Río Elqui en puente Las Rojas es la estación que registra mayores valores del parámetro. No existe una correlación entre las temperaturas medidas y las estaciones analizadas, ya que existen diferencias climáticas entre ellas.

Tabla 10: Promedios anuales de temperatura para cada estación de monitoreo analizada.

Año	Río Elqui El Algarrobal (°C)	Río Elqui en (°C)	Río Elqui eni puente Las Rojas (°C)	Río Elqui en La Serena (°C)
2002	15	18	20	18
2003	14	17	20	16
2004	15	16	20	16
2005	18	16	19	17
2006	16	16	19	17
2007	16	17	19	19
2008	15	17	20	19
2009	17	18	19	20
2010	17	16	18	19
2011	17	17	18	21
2012	17	18	17	23

Fuente: DGA, 2014.

3.3.2 Análisis de calidad de agua de temperatura en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Los valores de temperatura no presentan diferencias significativas entre las estaciones de monitoreo analizadas. Los valores más altos del parámetro son registrados en verano. A continuación se muestra el análisis del cumplimiento de los límites propuestos por la NCh 1.333, para cada estación de monitoreo (Figuras 15-20).

a) Río Elqui El Algarrobal

Se muestra (Figura 17) que las temperaturas cumplen con la norma aplicada (NCh 1.333). Existe una correlación en los valores de temperatura, donde los mayores valores se registran en verano y los menores en invierno. Las altas temperaturas de verano se destacan en 2005, y se observa una tendencia al aumento en este periodo estacional.

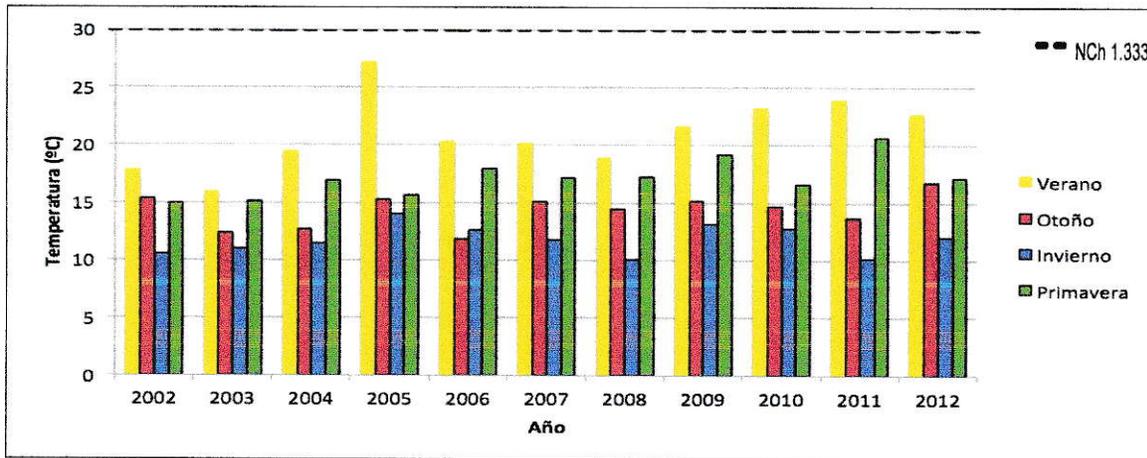


Figure 17: Gráfico temperatura en Río Elqui El Algarrobal.

b) Río Elqui en Almendral

Se muestra (Figura 18) que las temperaturas cumplen con la norma aplicada (NCh 1.333). La estación en la que se registraron mayores temperaturas fue verano y otoño. Se observan pocas variaciones estacionales, lo cual se justifica por el clima de estepa cálido.

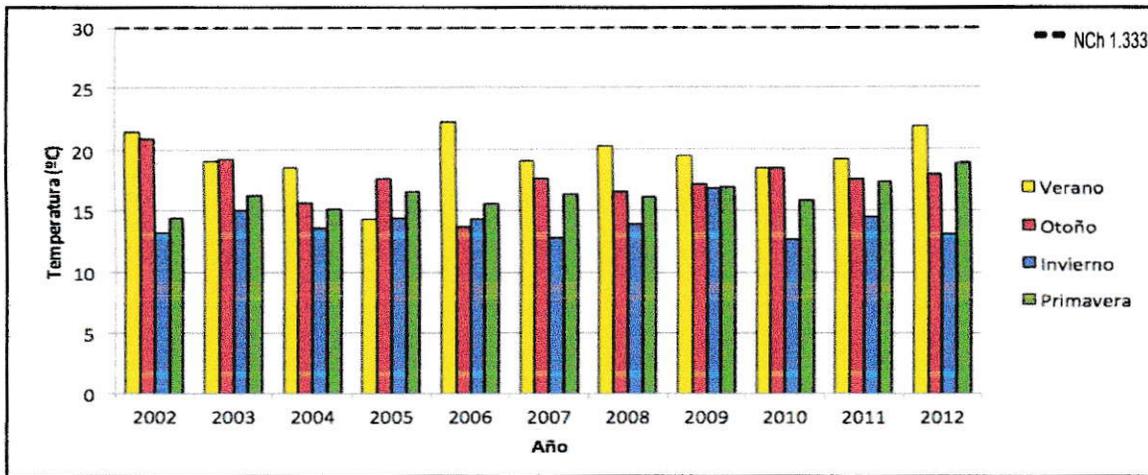


Figura 18: Gráfico temperatura en Río Elqui en Almendral.

c) Río Elqui en puente Las Rojas

Se muestra (Figura 19) que las temperaturas cumplen con la norma aplicada (NCh 1.333). La estación en la que se registraron mayores temperaturas fue verano y primavera.

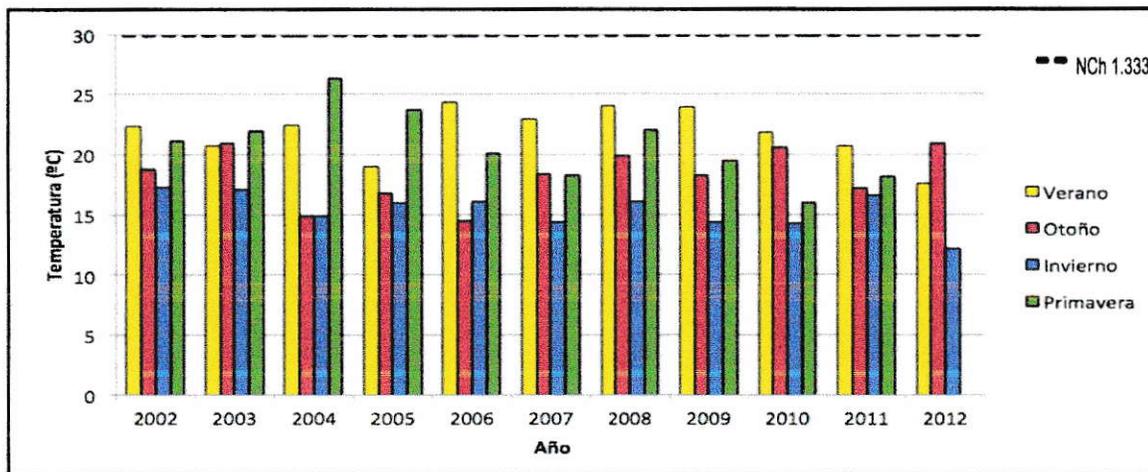


Figura 19: Gráfico de temperatura en Río Elqui en puente Las Rojas.

d) Río Elqui en La Serena

Se muestra (Figura 20) que las temperaturas cumplen con la norma aplicada (NCh 1.333). La estación en la que se registraron mayores temperaturas fue verano, donde los valores aumentan durante los dos últimos años.

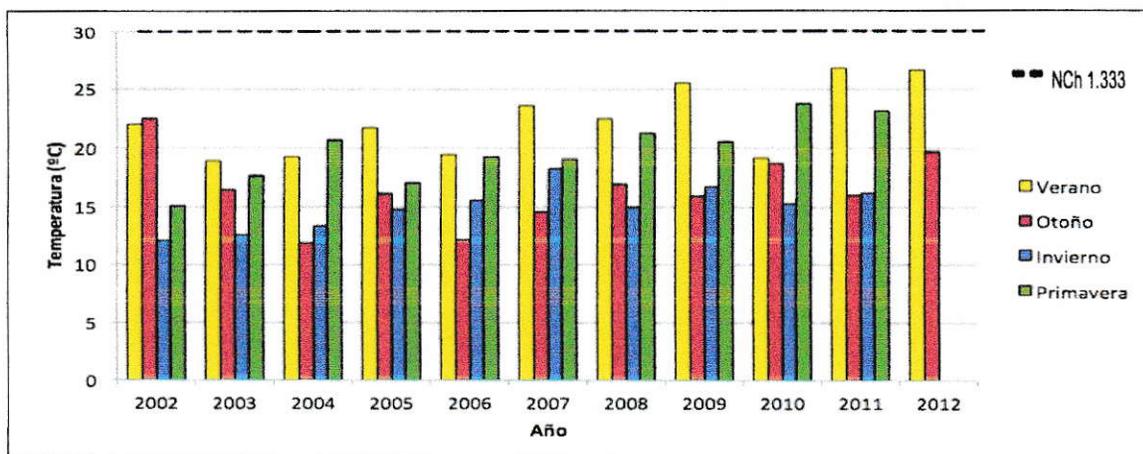


Figura 20: Gráfico de temperatura en Río Elqui en La Serena.

3.3.3 Análisis estacional de temperatura en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se observa una tendencia general a valores positivos en todas las estaciones (Tabla 12), sobre todo en verano y otoño, lo que indica un aumento de temperatura a través del paso del tiempo, lo cual es consecuente con el análisis realizado anteriormente (Sección 3.3.2). En invierno y primavera se observan valores negativos en los coeficientes, los cuales son considerados bajos, por lo que no afectan la tendencia general. En Río Elqui en puente Las Rojas ocurre una excepción, donde se observa una tendencia a la disminución de temperatura en estos periodos estacionales. Se destaca Río Elqui en La Serena, que mantiene valores positivos y altos en todas los periodos estacionales, mostrando una fuerte tendencia al aumento de temperatura.

Tabla 11: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de temperatura para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.

Temporada estival	Río Elqui El Algarrobal (r)	Río Elqui en Almendral (r)	Río Elqui en puente las rojas (r)	Río Elqui en La Serena (r)
Verano	0,59	0,14	-0,22	0,65
Otoño	0,42	-0,18	0,28	0,09
Invierno	0,19	-0,03	-0,64	0,72
Primavera	-0,06	0,76	-0,66	0,76

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 Análisis espacial de temperatura en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se muestra que las estaciones que se ubican más cerca a la costa (Río Elqui en puente Las Rojas y Río Elqui en La Serena), son las que presentan mayores valores y medianas (Figura 21), debido al clima estepárico costero. Sin embargo, no se observan diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.

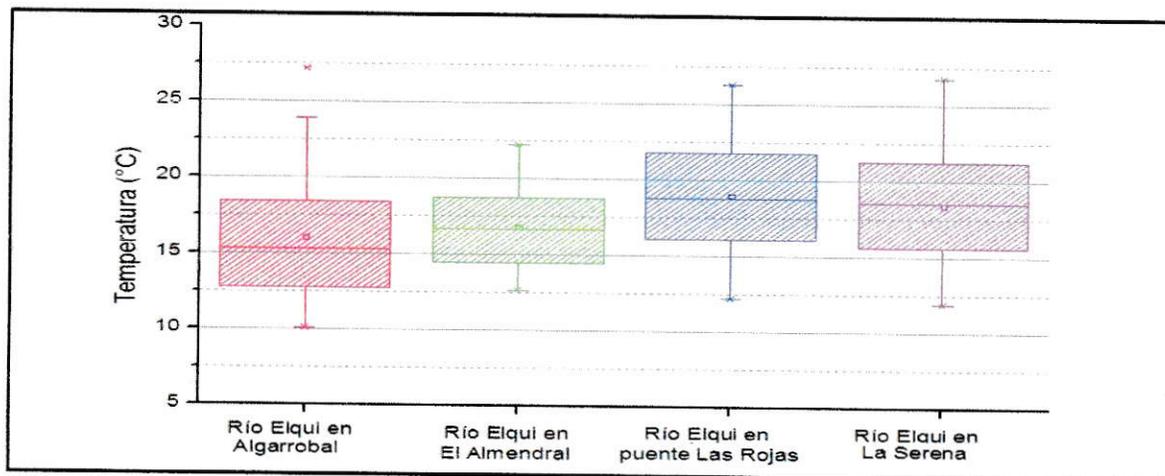


Figura 21: Variación espacial de temperatura en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.

El análisis conjunto indica que los valores de temperatura en todas las estaciones de monitoreo analizadas cumplen con la NCh 1.333, con valores bajo los 30°C y no existe una diferencia significativas entre las estaciones. Las mayores temperaturas se registraron en las temporadas de verano. Río Elqui en Puente Las Rojas es la estación con mayor promedio de temperatura, con una diferencia de 2,4°C de la estación con menores valores, Río Elqui El Algarrobal.

3.4 Estudio de concentración de aluminio.

3.4.1 Análisis de promedios anuales de aluminio en las estaciones de monitoreo (2002-2012).

El análisis de los valores promedios anuales de aluminio medidos en las aguas del Río Elqui en las cuatro estaciones de monitoreo (Tabla 13) muestra que en 2002 y 2003 se

registran las concentraciones mas altas del metal en todas las estaciones. Río Elqui en Almendral, Río Elqui en puente Las Rojas y Río Elqui en la Serena presentan un aumento de sus valores en 2006 y una disminución general durante los tres últimos años de estudio. La estación Río Elqui El Algarrobal presenta las mayores desviaciones de la norma, sobrepasando el límite de la NCh 1.333 (5 mg/L) en ocho de los años analizados. No existe tendencia anual en los valores de aluminio registrados.

Tabla 12: Promedios anuales de aluminio para cada estación de monitoreo analizada.

Año	Río Elqui El Algarrobal (mg/L)	Río Elqui en Almendral (mg/L)	Río Elqui en puente Las Rojas (mg/L)	Río Elqui en La Serena (mg/L)
2002	8,95	0,68	3,20	0,63
2003	4,85	0,38	0,70	1,05
2004	4,14	0,33	0,50	0,70
2005	2,35	0,40	0,40	0,69
2006	2,40	0,38	0,60	1,40
2007	3,45	0,53	0,40	0,49
2008	1,98	0,35	0,40	0,85
2009	2,83	0,33	0,40	0,88
2010	4,38	0,30	0,30	0,24
2011	2,65	0,30	0,30	0,30
2012	1,63	0,30	0,30	0,30

Fuente: DGA, 2014.

3.4.2 Análisis de calidad de agua de aluminio en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Los valores de aluminio cumplen en su mayoría con la NCh.1.333 en todas las estaciones de monitoreo analizadas, exceptuando Río Elqui en Algarrobal, donde se observan más desviaciones de la norma. En todas las estaciones de monitoreo ocurre una disminución de aluminio, concordando con el análisis anterior (Sección 3.5.2). Sin embargo, no existen correlaciones temporales ni estacionales en las concentraciones de aluminio. A continuación se muestra el análisis del cumplimiento de los límites para cada estación de monitoreo (Figuras 22-25).

a) Río Elqui El Algarrobal

Se muestran ocho superaciones de la NCh 1.333 durante el periodo de estudio (Figura 22), lo que ocurre durante temporadas cálidas, siendo éstas verano de los años 2002, 2003 y 2010, en otoño del 2009 y en primavera de los años 2002, 2004, 2007 y 2011, debido principalmente a dos factores: el derretimiento de nieves ácidas, lo que favorece liberación de compuestos aluminados presentes en ellas y al alto nivel de aluminio insoluble en suelos, ya que alteraciones menores en las condiciones del suelo (como pueden ser lluvias levemente ácidas o derretimiento de nieve ácida), pueden causar grandes incrementos en aguas naturales cercanas. El efecto del derretimiento de nieves ácidas se puede comprobar al observar el aumento de los caudales medios de verano y primavera en esta estación (Tabla 1).

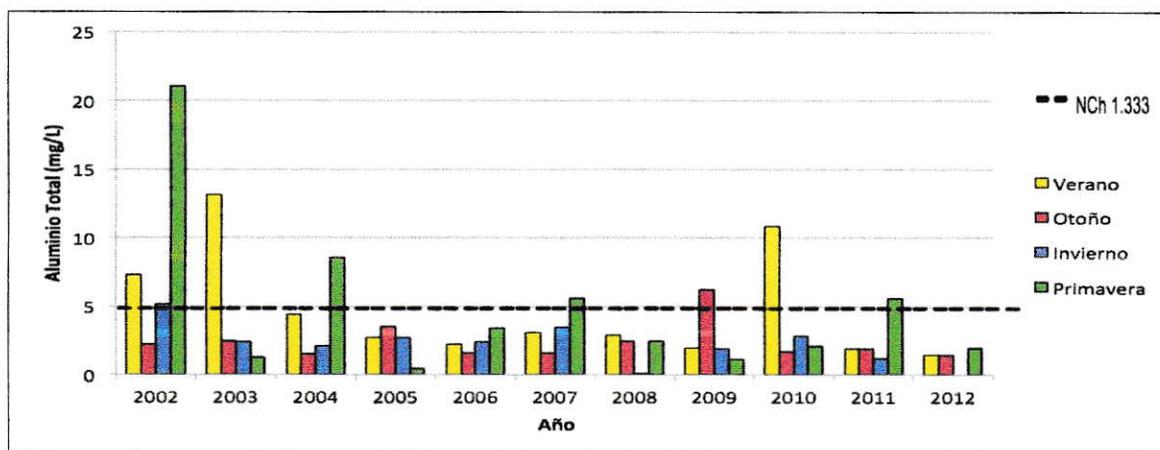


Figura 22: Gráfico de concentración de aluminio en Río Elqui El Algarrobal.

b) Río Elqui en Almendral

Se muestra que las concentraciones de aluminio en las aguas de esta estación cumplen con la NCh 1.333 durante el período 2002-2012 (Figura 23). Las mayores concentraciones ocurren en invierno del año 2002 y 2007, sin embargo, no son considerados relevantes. Se observan pocas variaciones estacionales y una disminución en las concentraciones a partir del 2008.

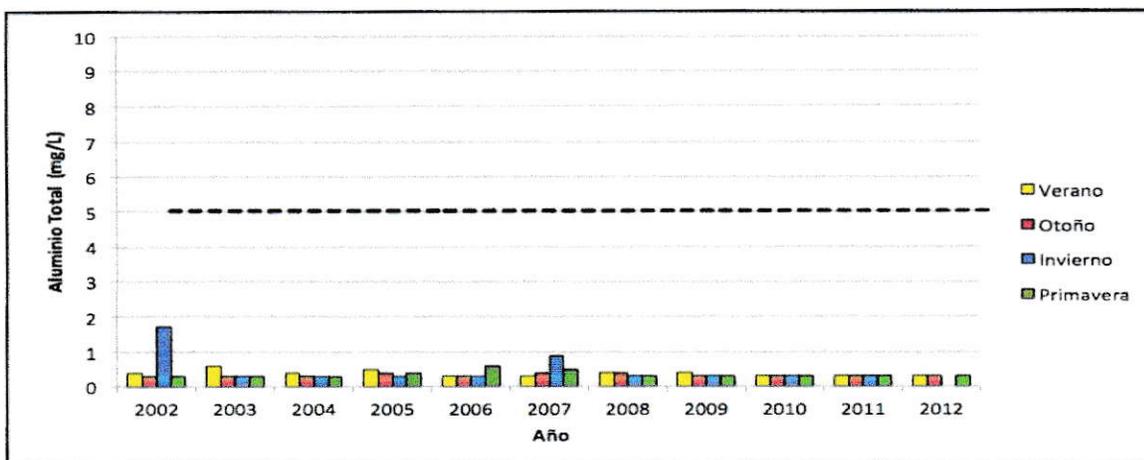


Figura 23: Gráfico de concentración de aluminio en Río Elqui en Almendral.

c) Río Elqui en puente Las Rojas

Se muestra que las concentraciones de aluminio cumplen con la NCh 1.333 durante el período 2002-2012 (Figura 24), a excepción de primavera del 2002, lo que se adjudica al derrame del tranque de relave del distrito cuprífero de Talacuna. No se observa correlación estacional en los valores de aluminio, sin embargo se observa una tendencia a la disminución del parámetro a partir de otoño de 2009.

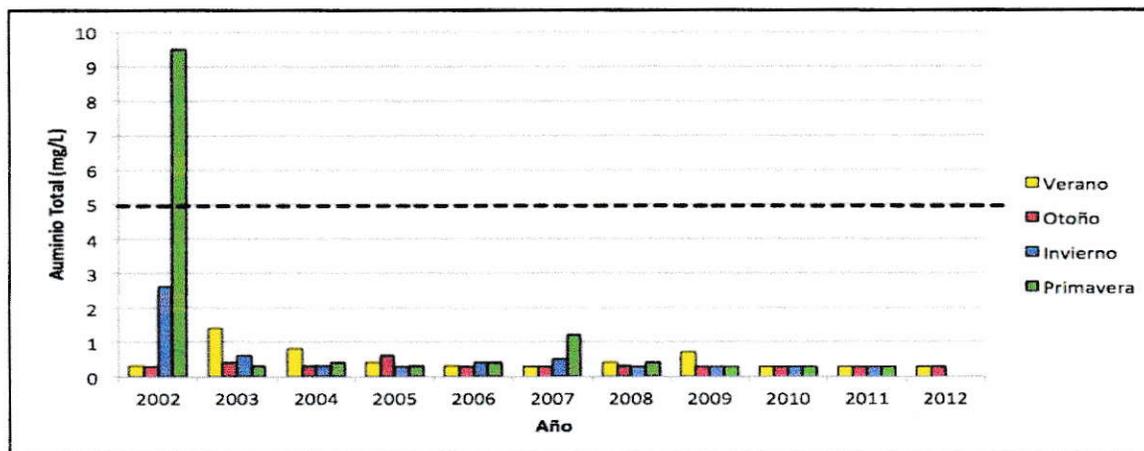


Figura 24: Gráfico de concentración de aluminio en Río Elqui en puente Las Rojas.

d) Río Elqui en La Serena

Se muestra que las concentraciones de aluminio cumplen con la NCh 1.333 durante el período 2002-2012 (Figura 25). A partir de 2004 se observa un aumento de aluminio durante invierno y otoño. Existe una tendencia a la disminución del parámetro a partir de otoño de 2009.

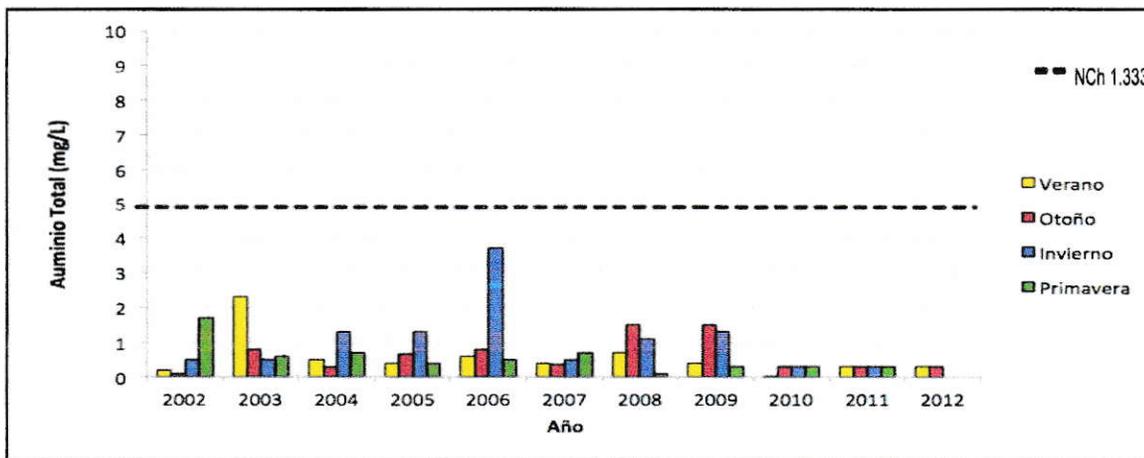


Figura 25: Gráfico de concentración de aluminio en Río Elqui en La Serena.

3.4.2 Análisis estacional de aluminio en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se muestra una tendencia a valores negativos en todas las estaciones (Tabla 14), indicando una disminución de aluminio a través del paso del tiempo, lo cual es concordante con el análisis de promedios anuales y calidad de aguas realizados anteriormente (Sección 3.4.2 y 3.4.1). En Río Elqui Algarrobal y Río Elqui en La Serena se observan valores positivos en otoño, los cuales son considerados bajos, por lo que no afectan la tendencia general.

Tabla 13 :Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de aluminio para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.

Temporada estival	Río Elqui El Algarrobal (r)	Río Elqui en Almendral (r)	Río Elqui en puente las rojas (r)	Río Elqui en La Serena (r)
Verano	-0,45	-0,64	-0,45	-0,44
Otoño	0,015	-0,64	-0,32	0,08
Invierno	-0,15	-0,47	-0,58	-0,12
Primavera	-0,25	-0,14	-0,52	-0,71

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. Análisis espacial de aluminio en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se observa que la estación con concentraciones y mediana más alta, fue Río Elqui El Algarrobal (Figura 26), mientras que las tres estaciones siguientes (Río Elqui en Almendral, Río Elqui en puente Las Rojas y Río Elqui en La Serena) presentan bajos valores de aluminio. Esta diferencia se explica debido al embalse Puclaro, que se ubica río abajo de la estación con mayores concentraciones y actúa como dispositivo de sedimentación, generando una disminución considerable en las concentraciones de metales en las estaciones que le siguen, en este caso de aluminio. Este fenómeno también se ve reflejado en los p-values, los cuales indican que la única diferencia estadística significativa se observa entre la estación ubicada sobre el embalse, Río Elqui El Algarrobal y cada una de las estaciones que le siguen, con valores que promedian $4,2 * 10^{-4}$ (p-value < 0,05). Luego del embalse, se observa un crecimiento en las concentraciones de aluminio de las estaciones de monitoreo siguientes, esto se explica por efectos de dilución, ya que el caudal disminuye a medida que las estaciones se aproximan hacia la costa, generando que el metal esté más concentrado en cada estación.

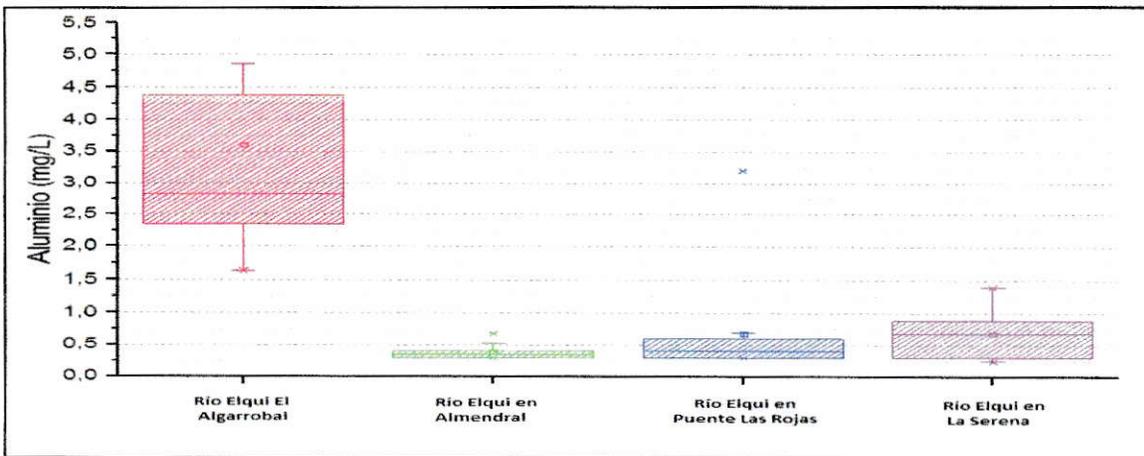


Figura 26: Variación espacial de aluminio en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.

El análisis conjunto establece que las concentraciones de aluminio en las estaciones analizadas solo presentan niveles altos en Río Elqui El Algarrobal, estación donde se supera la norma principalmente en verano y primavera, debido al derretimiento de nieves ácidas. El análisis de calidad de aguas y estacional confirman una tendencia a la disminución de aluminio en relación al tiempo, en todas las estaciones de monitoreo. Existe una relación espacial provocado por el embalse Puclaro, el cual sedimenta aluminio provocando que las tres estaciones que se ubican río abajo presenten menores valores del metal. Este efecto se ve reflejado en los p-value que comprueban que la única diferencia significativa existe entre la estación ubicada antes del embalse y cada una de las tres ubicadas bajo.

3.5 Estudio de concentración de arsénico.

3.5.1 Análisis de promedios anuales de arsénico en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

El análisis de los valores promedios anuales de arsénico medidos en las aguas del Río Elqui en las cuatro estaciones de monitoreo (Tabla 15) muestra que Río Elqui El Algarrobal presenta mayores desviaciones de la norma, sobrepasando la NCh 409 (0,01 mg/L) durante todo el periodo de estudio. Destaca el año 2002, debido al derrame en Talacuna. Durante 2009 y 2011 se observa un aumento del parámetro en Río Elqui en

Almendral y Río Elqui en puente Las Rojas. Mientras que Río Elqui La Serena es la estación que presenta una menor desviación en sus datos. No se observan correlaciones anuales en las concentraciones de arsénico.

Tabla 14: Promedios anuales de arsénico para cada estación de monitoreo analizada.

Año	Río Elqui El Algarrobal (mg/L)	Río Elqui en Almendral (mg/L)	Río Elqui en puente Las Rojas (mg/L)	Río Elqui en La Serena (mg/L)
2002	0,060	0,009	0,009	0,005
2003	0,030	0,010	0,014	0,006
2004	0,040	0,060	0,008	0,006
2005	0,040	0,011	0,007	0,006
2006	0,040	0,070	0,006	0,010
2007	0,011	0,006	0,005	0,015
2008	0,030	0,006	0,006	0,008
2009	0,030	0,006	0,005	0,010
2010	0,020	0,010	0,011	0,010
2011	0,050	0,014	0,011	0,008
2012	0,040	0,014	0,007	0,005

Fuente: DGA, 2014.

3.5.2 Análisis de calidad de agua de arsénico en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

La estación Río Elqui El Algarrobal presenta mayores desviaciones de la NCh 409, mientras que las concentraciones de aluminio de las tres estaciones siguientes (Río Elqui en Almendral, Río Elqui en puente Las Rojas y Río Elqui en La Serena) son consideradas en su mayoría bajas. No se observan correlaciones temporales ni estacionales en las estaciones estudiadas. A continuación se muestra el análisis del cumplimiento de los límites propuestos por la NCh 1.333 y NCh 409 (0,1 y 0,01 mg/L) para cada estación de monitoreo (Figuras 27-32).

a) Río Elqui El Algarrobal

Se observa que la NCh 1.333 fue superada una vez durante todo el período 2002-2012 (Figura 27), ocurriendo en otoño del año 2006. La NCh 409 es superada en todos los casos, exceptuando otoño y primavera de 2003. Esto es atribuible a tres factores; la agricultura realizada cerca de la estación de monitoreo (debido al aporte de compuestos derivados de arsénico que pueden producir ciertos insecticidas), al aporte de descargas de mineras y a la naturaleza litogénica del sector.

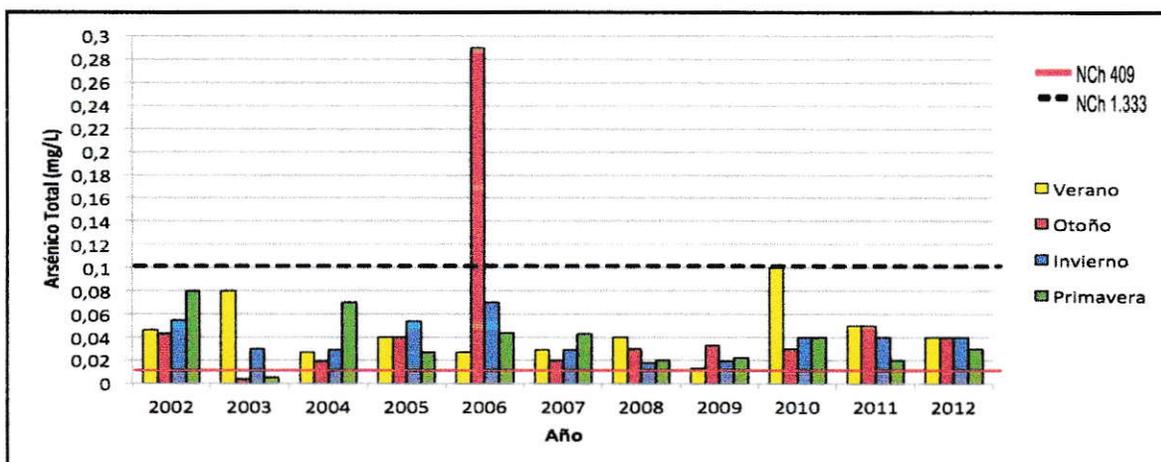


Figura 27: Gráfico de concentración de arsénico Río Elqui El Algarrobal.

b) Río Elqui en Almendral

Se muestra que las concentraciones de arsénico cumplen con la NCh 1.333 durante el período 2002-2012 (Figura 28). La NCh 409 es superada en catorce ocasiones, destacándose los dos últimos años de análisis (Figura 29). Se destaca un aumento del parámetro en primavera de 2003.

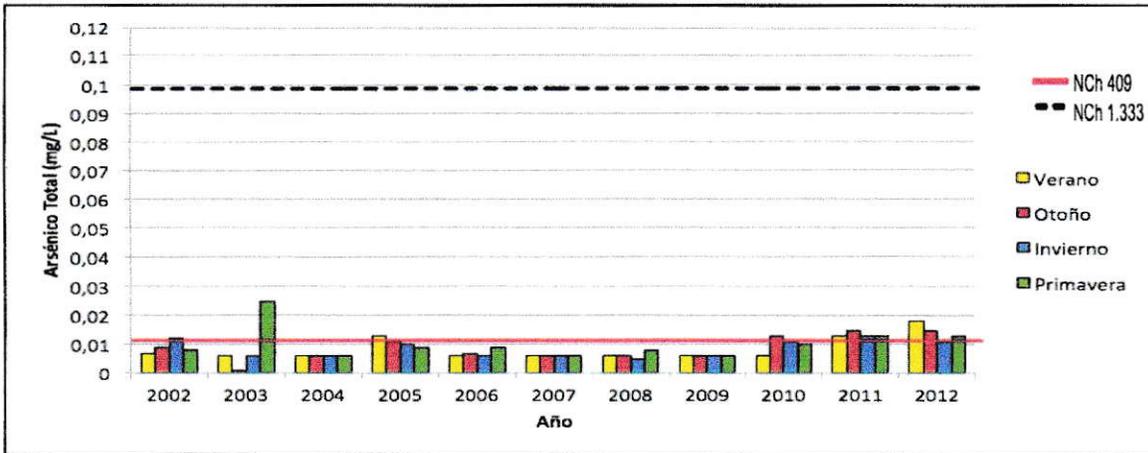


Figura 28: Gráfico de concentración de arsénico en Río Elqui en Almendral.

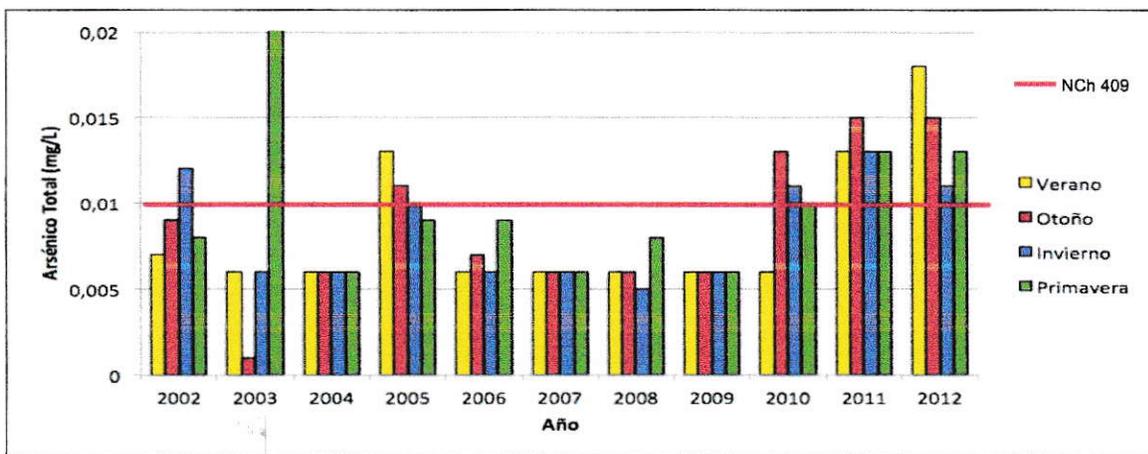


Figura 29: Ampliación de la Figura 28, Gráfico de concentración de arsénico en Río Elqui en Almendral.

c) Río Elqui en puente Las Rojas.

Se muestra (Figura 30) que las concentraciones de arsénico cumplen con la NCh 1.333 durante el período 2002-2012. La NCh 409 es superada en siete ocasiones (Figura 31), ocurriendo principalmente en primavera y otoño. Se observan pocas variaciones estacionales durante 2005-2009 y una tendencia al aumento del arsénico en los últimos años.

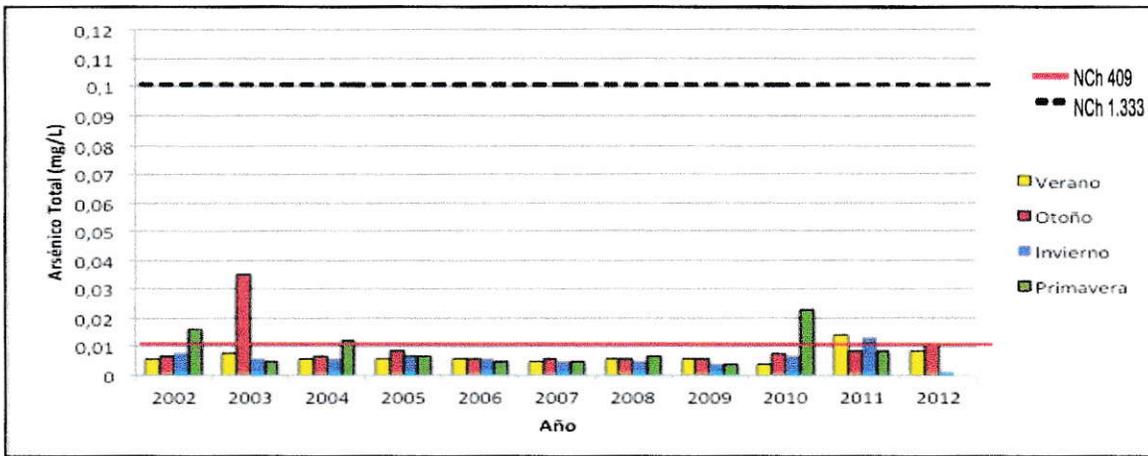


Figura 30: Gráfico de concentración de arsénico en Río Elqui en puente Las Rojas.

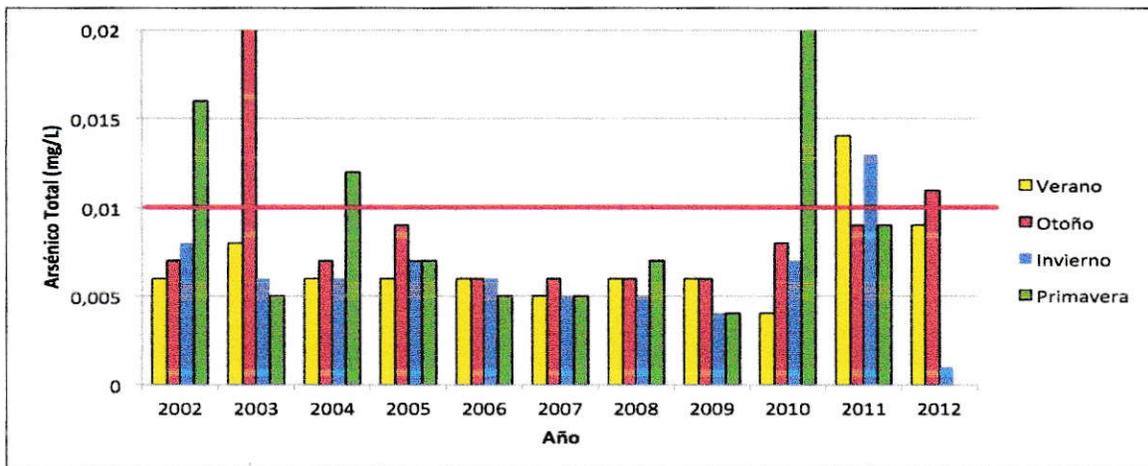


Figura 31: Ampliación de la Figura 30, Gráfico de concentración de arsénico río Elqui en puente Las Rojas.

d) Río Elqui en La Serena

Ambas normas se cumplen en esta estación (Figura 32), exceptuando otoño de 2007. Existe un aumento en las concentraciones de arsénico a partir de 2006, concordando con el análisis anterior, sin embargo, ocurren pocas variaciones estacionales en los valores de arsénico.

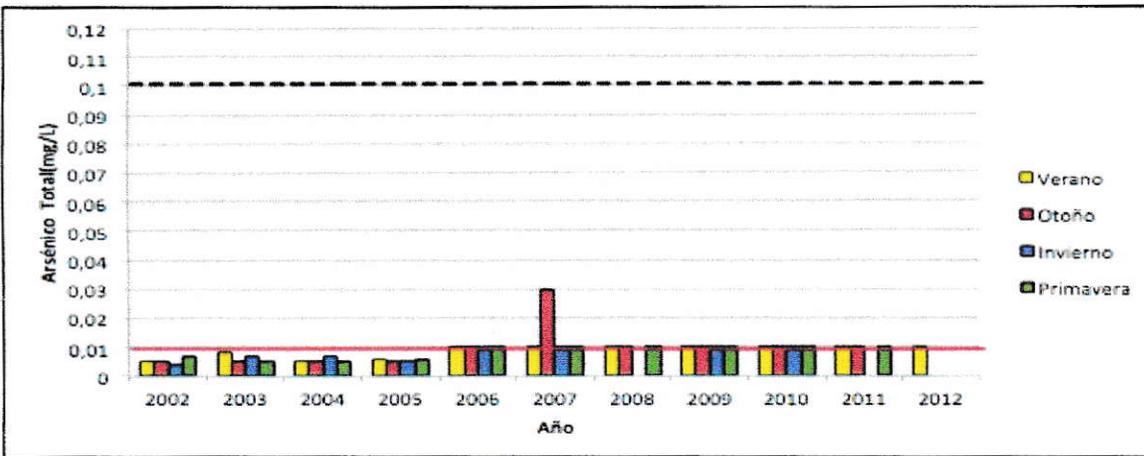


Figura 32: Gráfico de concentración de arsénico en Río Elqui en La Serena.

3.5.3 Análisis estacional de arsénico en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se muestra que existe una tendencia a valores positivos en todas las estaciones de monitoreo (Tabla 16). En verano todas ellas presentan valores positivos, indicando una aumento de arsénico a través del paso del tiempo, lo cual es concordante con el análisis realizado anteriormente (Sección 3.5.2). En tres estaciones (Río Elqui Algarrobal, Río Elqui en Almendral y Río Elqui en La Serena) se observan valores negativos de los coeficientes, los cuales son considerados bajos, por lo que no afectan la tendencia general. En Río Elqui en puente Las Rojas existen valores negativos en otoño e invierno, siendo los únicos periodos y estaciones que presentan una tendencia a la disminución de arsénico a través del tiempo.

Tabla 15: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de arsénico para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.

Temporada estival	Río Elqui El Algarrobal (r)	Río Elqui en Almendral (r)	Río Elqui en puente las rojas (r)	Río Elqui en La Serena (r)
Verano	0,03	0,49	0,36	0,78
Otoño	-0,02	0,65	-0,31	0,07
Invierno	0,70	0,29	-0,11	-0,06
Primavera	0,13	-0,09	0,06	0,87

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4 Análisis espacial de arsénico en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se observa que la estación con concentraciones y mediana más alta, fue Río Elqui El Algarrobal (Figura 33), mientras que las tres estaciones siguientes (Río Elqui en Almendral, Río Elqui en puente Las Rojas y Río Elqui en La Serena) presentan menores valores de arsénico, debido al embalse Puclaro y su efecto decantador. En estas tres estaciones se observan concentraciones similares entre ellas, mostrando que la diferencia de caudales existentes no generan alteraciones en la concentración de arsénico, lo que también se ve reflejado en los p-values, los cuales indican que la única diferencia estadística significativa se observa entre la estación ubicada sobre el embalse, Río Elqui El Algarrobal y cada una de las estaciones que le siguen, con un promedio de $1,3 \cdot 10^{-2}$ (p-value < 0,05). Río Elqui en La Serena presenta la menor desviación en sus valores, concordando con el análisis realizado en la Sección 3.5.1.

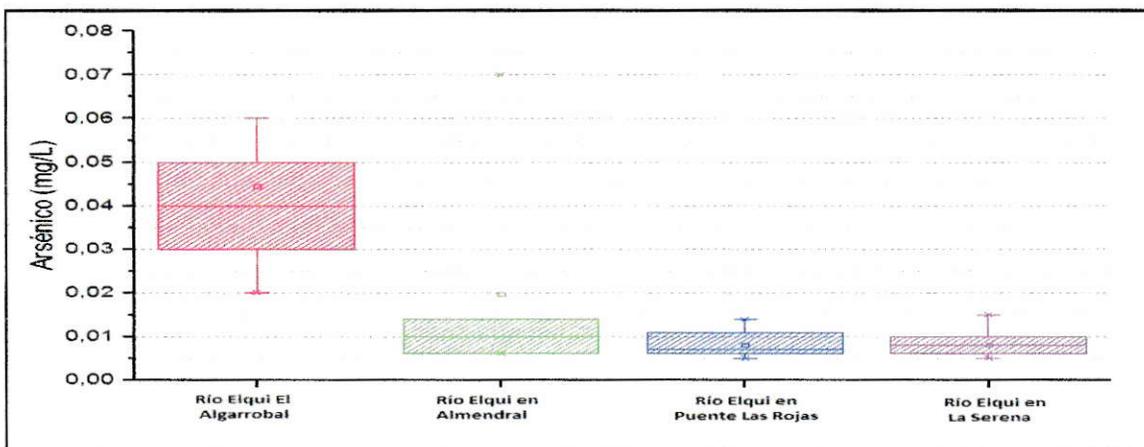


Figura 33: Variación espacial de arsénico en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.

El análisis conjunto establece que la estación con mayores valores de arsénico es Río Elqui El Algarrobal, debido a la actividad agrícola efectuada en el sector. El análisis de calidad de aguas y los Coeficientes de Pearson, (Sección 3.5.2 y 3.5.3) indican que existe una tendencia general al aumento de arsénico a medida que pasa el tiempo.

Se observan bajos valores para las tres estaciones ubicadas bajo el embalse Puclaro, causadas por decantación del metal, indicando también, que no existen focos de arsénico cercanos a dichas estaciones. Esta diferencia causada por el embalse es concordante con los p-values, que establecen una única diferencia significativa entre los valores, ocurre entre la estación ubicada sobre el embalse y cada una de las que le siguen. Los análisis posteriores (promedios anuales y calidad de agua) son consistentes en indicar que los valores no presentan correlación con el periodo estacional ni tienen tendencias temporales definidas. Río Elqui en La Serena presenta menores desviaciones en los valores del metal, respaldado por los análisis realizados en las secciones 3.5.1 y 3.5.4.

3.6 Estudio de concentración de cobre.

3.6.1 Análisis de promedios anuales de cobre en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

El análisis de los valores promedios anuales de cobre medidos en las aguas del Río Elqui en las cuatro estaciones de monitoreo muestra que Río Elqui El Algarrobal presenta mayores desviaciones de la norma (Tabla 17), sobrepasando la NCh 1.333 (0,2 mg/L) durante todo el periodo de estudio, destacando en 2002 y 2003 junto con Río Elqui en Almendral y Río Elqui en puente Las Rojas, debido al derrame ocurrido en el 2002 en Talacuna. Se destaca el año 2006 en Río Elqui en Almendral, con un valor excepcionalmente alto. Existe una tendencia a la disminución del parámetro a través de los años en Río Elqui en Almendral y Río Elqui en puente Las Rojas, sin embargo, no se observan correlaciones anuales en las estaciones analizadas. Río Elqui en La Serena y Río Elqui en puente Las Rojas presentan baja desviación en sus valores.

Tabla 16: Promedios anuales de cobre para cada estación de monitoreo analizada.

Año	Río Elqui El Algarrobal (mg/L)	Río Elqui en Almendral (mg/L)	Río Elqui en puente Las Rojas (mg/L)	Río Elqui en La Serena (mg/L)
2002	1,343	0,068	0,080	0,013
2003	1,143	0,040	0,040	0,033
2004	0,745	0,030	0,030	0,015
2005	0,650	0,030	0,020	0,023
2006	0,765	0,250	0,030	0,036
2007	0,848	0,035	0,020	0,016
2008	0,655	0,025	0,020	0,018
2009	0,598	0,023	0,020	0,015
2010	0,683	0,013	0,010	0,013
2011	0,553	0,023	0,010	0,025
2012	0,413	0,023	0,030	0,020

Fuente: DGA, 2014.

3.6.2 Análisis de calidad de agua de cobre en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Todas las estaciones, exceptuando Río Elqui El Algarrobal, cumplen con la NCh 409 (2 mg/L). Se observa una disminución de cobre en los últimos años de análisis en las estaciones de monitoreo, consistente con el análisis anterior (Sección 3.6.1). No existen correlaciones temporales ni estacionales en las estaciones estudiadas. A continuación se muestra el análisis del cumplimiento la NCh 1.333 (0,2 mg/L) para cada estación de monitoreo (Figuras 34-37).

a) Río Elqui El Algarrobal

Se observa que la NCh 1.333 es superada en todas las mediciones, exceptuando primavera de 2005 (Figura 34), mientras que la NCh 409 solo se supera en verano de 2002. Estos valores se explican por la faena Esperanza, que aporta lixiviados de aguas subterráneas, donde además existe un tranque de relave y depósitos estériles, los cuales ejercen un aporte difuso a la contaminación de las aguas. Existe una tendencia a la disminución de cobre en los últimos años de estudio.

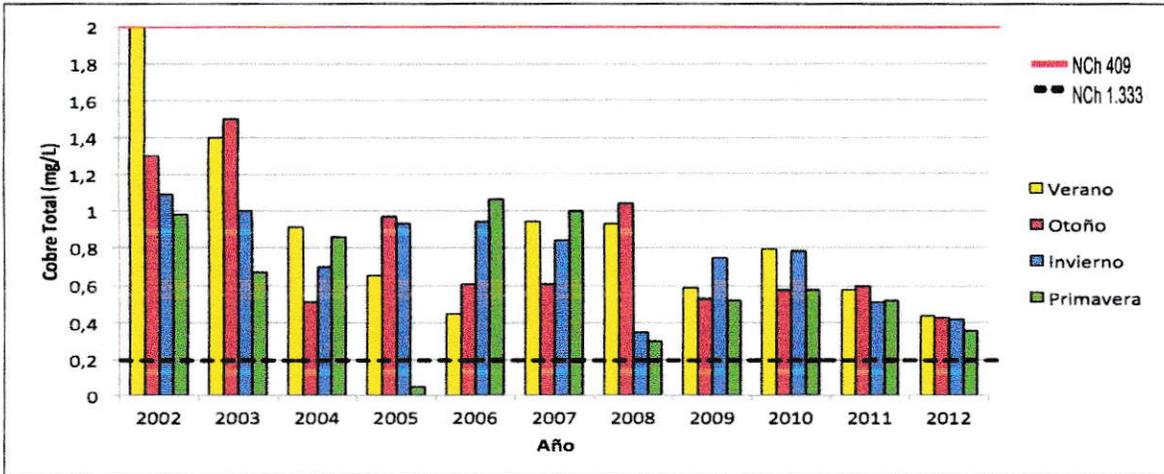


Figura 34: Gráfico de concentración de cobre en río Elqui El Algarrobal.

b) Río Elqui en Almendral

Se observa que la NCh 1.333 se cumple en todos los valores, exceptuando en primavera de 2006 (Figura 35) . Existe un aumento en invierno de 2002, adjudicable al derrame de Talacuna. No se observa variación estacional en Río Elqui en Almendral.

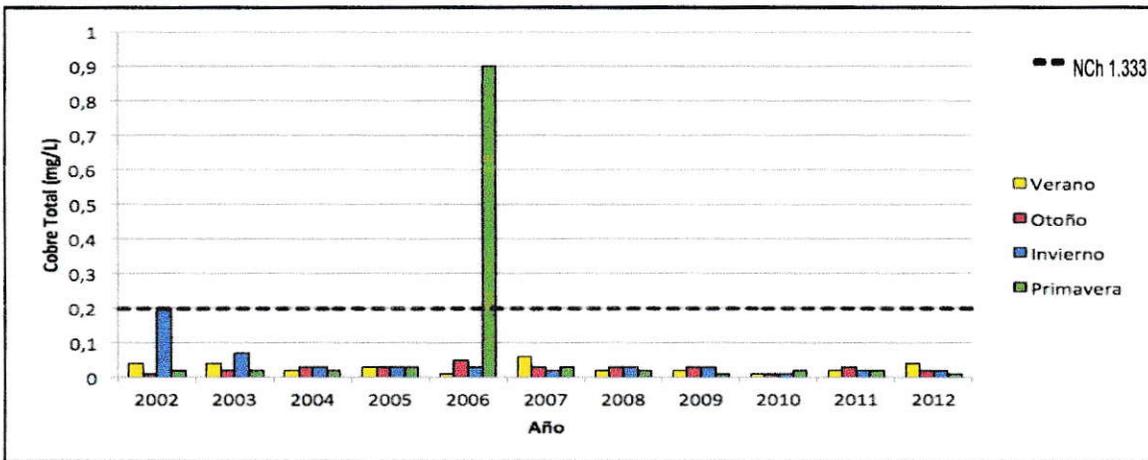


Figura 35: Gráfico de Concentración de cobre en Río Elqui en Almendral.

d) Río Elqui en Puente Las Rojas

Se muestra que la NCh 1.333 se cumple en todos los valores (Figura 36). Existe un aumento de cobre en invierno y primavera de 2002, causado por el distrito Talacuna.

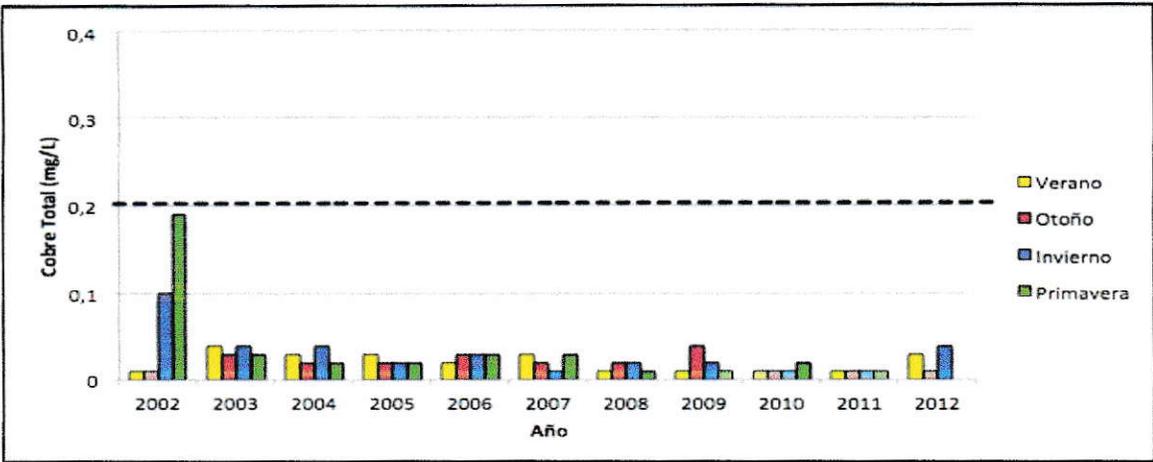


Figura 36. Gráfico de concentración de cobre en Río Elqui en puente Las Rojas.

d) Río Elqui en La Serena

Se observa que la NCh 1.333 se cumple en todos los valores (Figura 37). Existe un aumento de cobre en 2003 y 2006, el cual no es considerado relevante.

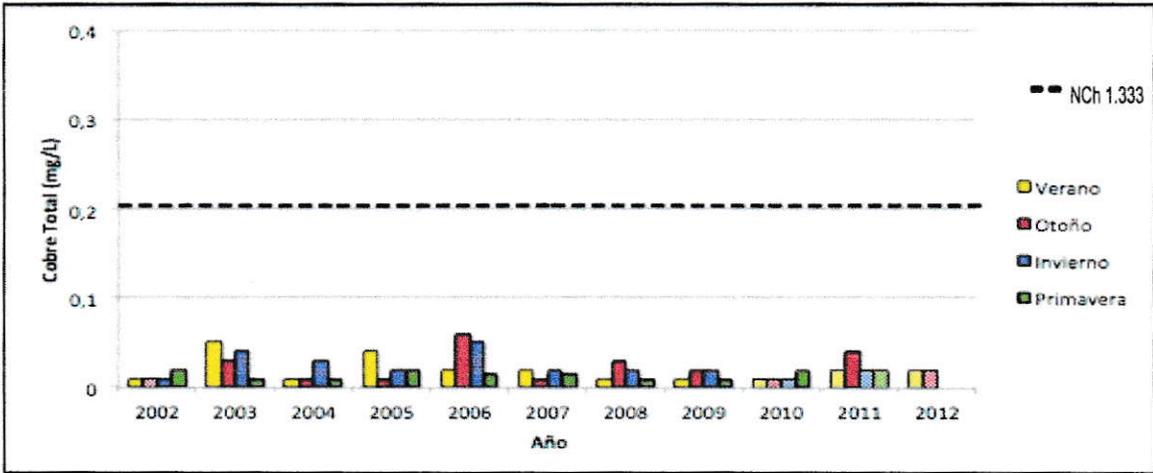


Figura 37: Gráfico de concentración de cobre en Río Elqui en La Serena.



3.6.3 Análisis estacional de cobre en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se muestra una tendencia a valores negativos en todas las estaciones de monitoreo (Tabla 18), indicando una disminución de cobre a través del paso del tiempo, lo cual es concordante con los análisis realizados anteriormente (Sección 3.6.1 y 3.6.2). En tres

estaciones (Río Elqui Algarrobal, Río Elqui en Almendral y Río Elqui puente Las Rojas) se observan valores positivos en invierno, probablemente por el aumento de caudal, lo que disminuye la dilución del metal.

Tabla 17: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de cobre para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.

Temporada estival	Río Elqui El Algarrobal (r)	Río Elqui en Almendral (r)	Río Elqui en puente las rojas (r)	Río Elqui en La Serena (r)
Verano	-0,72	-0,22	-0,22	-0,31
Otoño	-0,69	-0,02	-0,02	0,14
Invierno	0,46	0,64	0,64	-0,29
Primavera	-0,02	-0,11	-0,11	0,15

Fuente: Elaboración propia.

3.6.4 Análisis espacial de cobre en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se observa que la estación con concentraciones y mediana más alta, fue Río Elqui El Algarrobal (Figura 38), mientras que las tres estaciones siguientes (Río Elqui en Almendral, Río Elqui en puente Las Rojas y Río Elqui en La Serena) presentan menores valores de cobre, por el embalse Puclaro y su efecto decantador. Lo que se ve reflejado en los p-values, que indican que la única diferencia estadística significativa se observa entre la estación ubicada sobre el embalse, Río Elqui El Algarrobal y cada una de las estaciones que le siguen, con un promedio de $3,2 * 10^{-6}$ (p-value < 0,05).

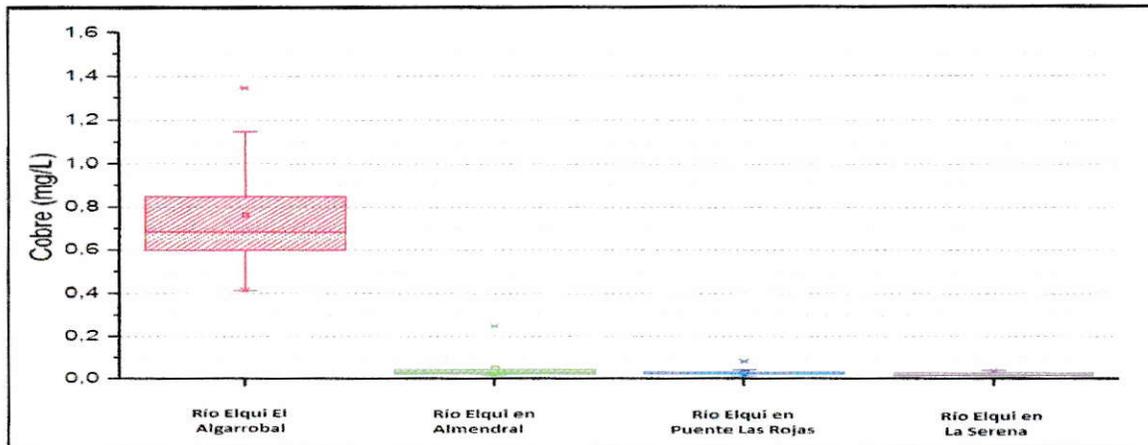


Figura 38: Variación espacial de cobre en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.

El análisis conjunto establece que no existen correlaciones temporales ni estacionales en los valores de cobre. Los análisis de promedios anuales, calidad de aguas y variaciones estacionales son consistentes en que existe una tendencia general a la disminución del metal a través del tiempo, donde se cumplen ambas normas aplicadas, exceptuando en Río Elqui El Algarrobal, que registra mayores concentraciones debido al posible aporte de la minera esperanza. Se observa nuevamente el efecto decantador del embalse Puclaro, reflejado en la diferencia significativa de concentración de cobre entre la estación que se ubica sobre éste en comparación con las tres siguientes, lo cual es respaldado con los p-values calculados.

3.7 Estudio de concentración de hierro.

3.7.1 Análisis de promedios anuales de hierro en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se muestra que Río Elqui El Algarrobal presenta mayores concentraciones de hierro (Tabla 19), los cuales disminuyen durante los últimos tres años analizados, al igual que en Río Elqui en puente Las Rojas y Río Elqui en La Serena. En esta última estación ocurre un aumento del valor en 2006 y en 2002, debido al derrame ocurrido en minera

Talacuna. Sin embargo, no se observan correlaciones anuales definidas. Río Elqui en Almendral tiene las menores desviaciones en sus valores.

Tabla 18: Promedios anuales de hierro para cada estación de monitoreo analizada.

Año	Río Elqui El Algarrobal (mg/L)	Río Elqui en Almendral (mg/L)	Río Elqui en puente Las Rojas (mg/L)	Río Elqui en La Serena (mg/L)
2002	5,61	0,26	1,79	0,29
2003	3,43	0,10	0,27	0,68
2004	2,96	0,08	0,35	0,59
2005	1,98	0,12	0,11	0,39
2006	2,29	0,08	0,13	1,74
2007	2,46	0,09	0,08	0,24
2008	1,56	0,05	0,08	0,96
2009	1,70	0,05	0,08	0,57
2010	3,18	0,07	0,10	0,41
2011	1,76	0,07	0,04	0,20
2012	1,20	0,10	0,03	0,19

Fuente: DGA, 2014.

3.7.2 Análisis de calidad de agua de hierro en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Río Elqui El Algarrobal y Río Elqui en La Serena presentan mayores desviaciones de la norma, mientras que los niveles de hierro en Río Elqui en Almendral y Río Elqui en puente la serena son considerados bajos. En todas las estaciones se observa el aumento causado por Talacuna en 2002, sin embargo, no se observan correlaciones estacionales ni temporales en ninguna estación analizada. A continuación se muestra el análisis del cumplimiento de los límites propuestos por la NCh 1.333 y NCh 409 (5 y 0,3 mg/L) para cada estación de monitoreo (Figuras 39-45).

a) Río Elqui El Algarrobal

Se observa que se sobrepasa la NCh 409 en todas las mediciones, mientras que para la NCh 1.333 ocurre cinco veces durante el periodo de estudio (Figura 39). Existe una tendencia general a la disminución en los valores de hierro en esta estación. Las

mayores concentraciones se observan en los meses de verano y primavera, debido a efectos de dilución provocados por disminución de caudal. La presencia de hierro en esta estación puede deberse a la gran cantidad de viñas y parronales cultivados de manera intensa y tecnificada en el sector (los cuales fomentan el uso de plaguicidas o fertilizantes los cuales son altos en hierro, como son el fito hierro o sulfatos de hierro, entre otros). Sumado al aporte de la faena cuprífera Esperanza, donde se obtiene hierro como producto adicional al cobre durante la lixiviación de la pirita presente en rocas volcánicas del sector.

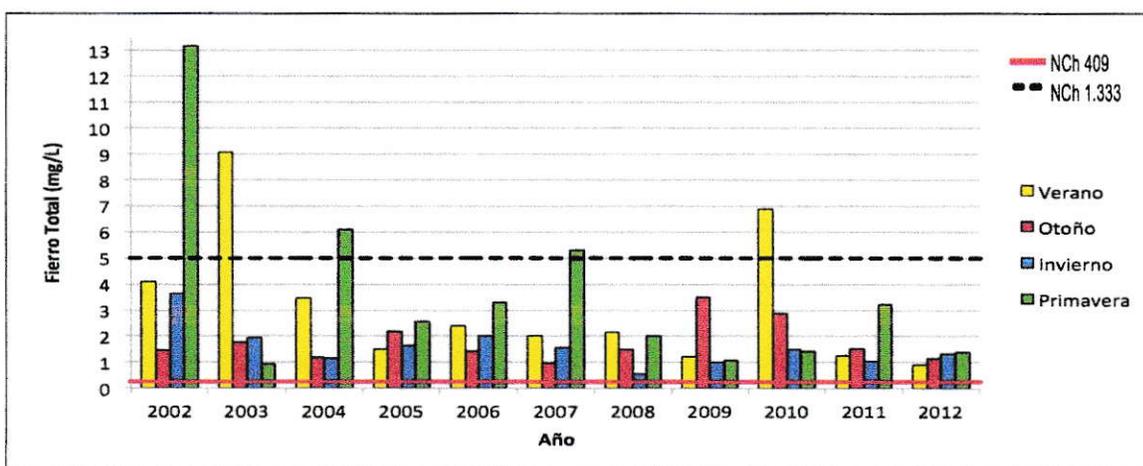


Figura 39: Gráfico de concentración de hierro en Río Elqui El Algarrobal.

b) Río Elqui en Almendral

Se muestra que ambas normas son cumplidas durante el periodo de estudio, exceptuando invierno de 2002 (Figura 40). Las concentraciones de hierro en verano de los últimos tres años analizados aumenta, concordando con el análisis realizado anteriormente (Sección 3.7.1), mientras que durante el periodo 2009-2012 las concentraciones permanecen estables en primavera (Figura 41).

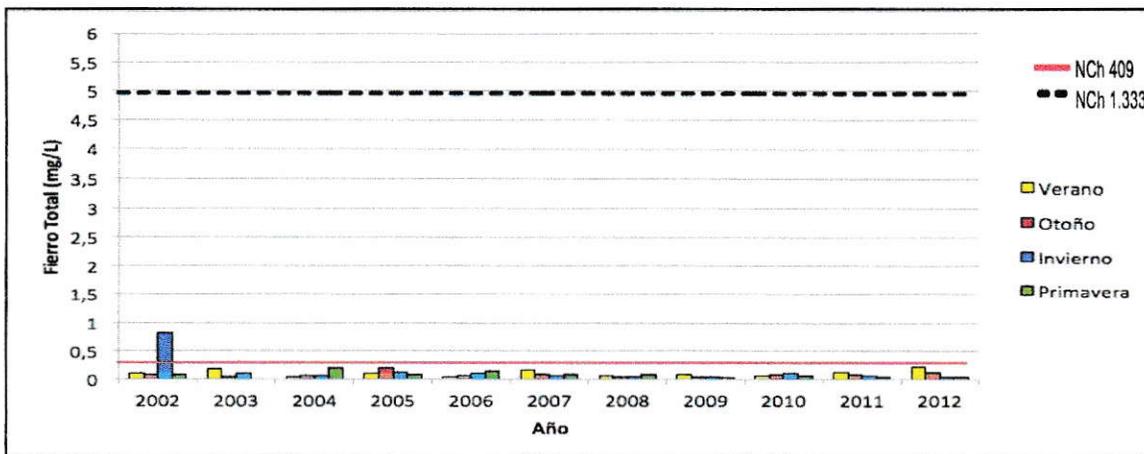


Figura 40: Gráfico de concentración de hierro en Río Elqui en Almendral.

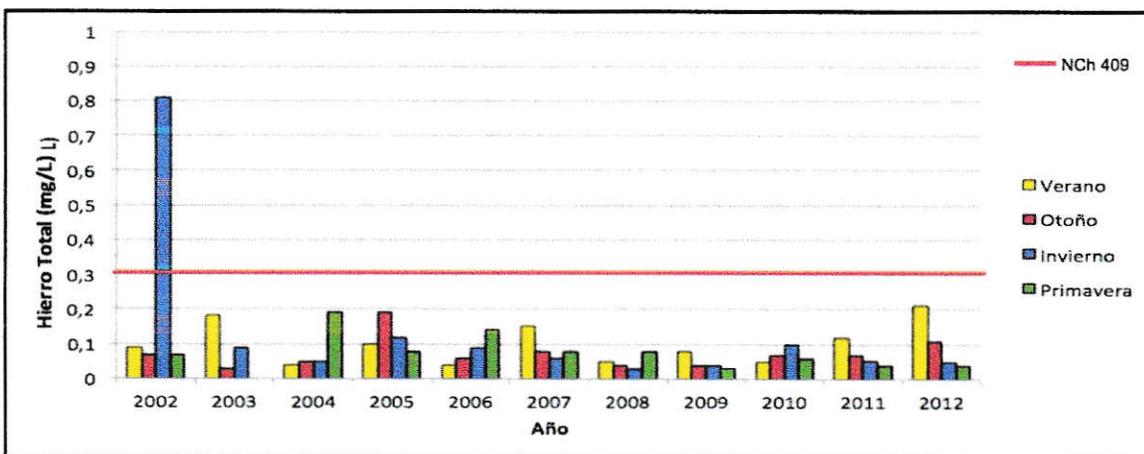


Figura 41: Ampliación Figura 40, Gráfico de concentración de hierro en Río Elqui en Almendral.

c) Río Elqui en puente Las Rojas

Se observa que la NCh 1.333 es superada en primavera del año 2002, mientras que la NCh 409 se sobrepasa cuatro veces (Figura 42). Los mayores valores se registran en el periodo 2002-2004. Por el contrario, durante los dos últimos años de estudio se observa una disminución del parámetro, concordando con el análisis efectuado anteriormente (Sección 3.7.1).

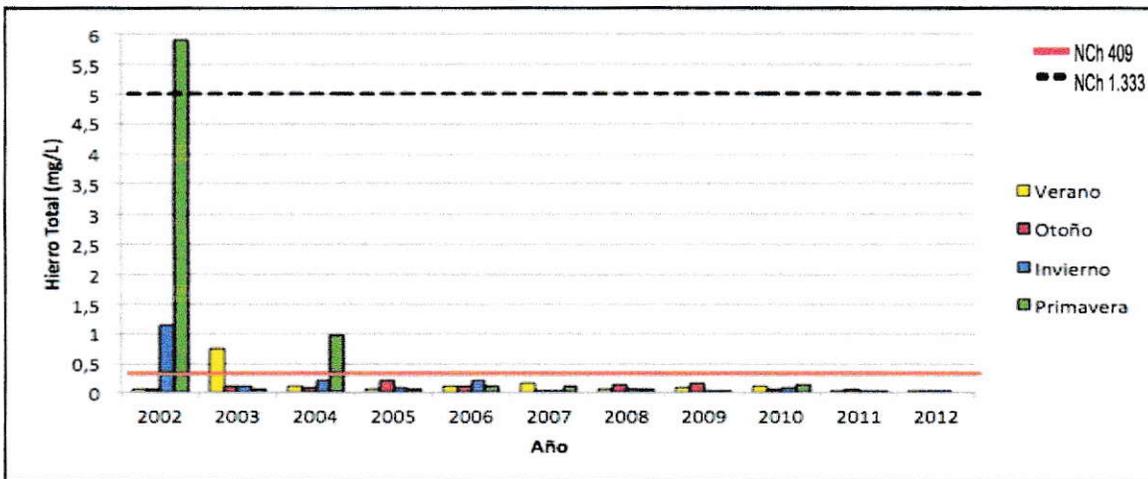


Figura 42: Grafico de concentración de hierro en Río Elqui en puente Las Rojas.

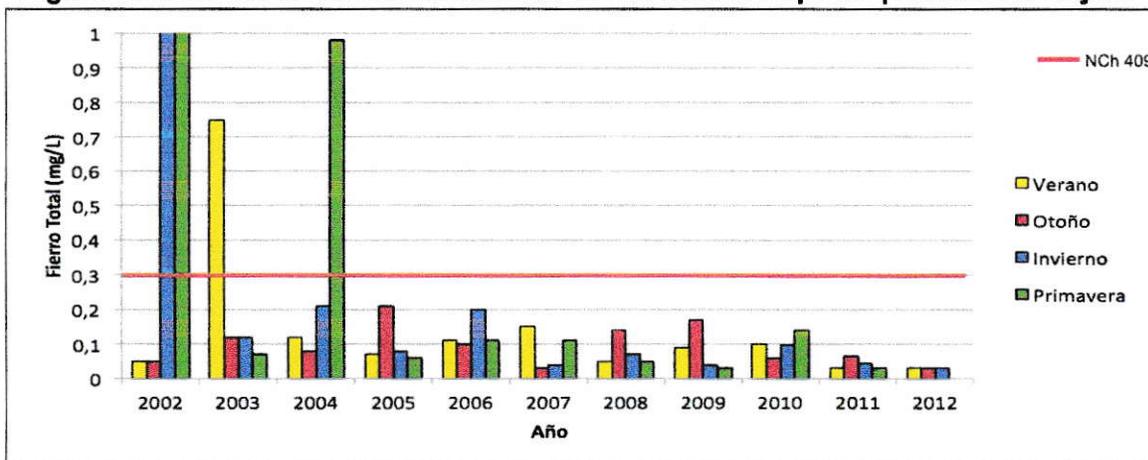


Figura 43: Ampliación Figura 42, Gráfico de concentración de hierro en Río Elqui en puente Las Rojas.

d) Río Elqui en La Serena

Se muestra que la NCh 1.333 se cumple (Figura 44), mientras que la NCh 409 es superada dieciocho veces durante el periodo de estudio (Figura 45). Los altos valores registrados se adjudican al uso de fertilizantes altos en hierro, los cuales se utilizan en aquellos suelos de carácter alcalinos (calizas) como los que se encuentran en el sector, sumado a las descargas provenientes de la Compañía Minera del Pacífico. Se destacan altos valores en invierno de 2006. Existe una disminución en los valores de hierro durante los últimos años de análisis, concordando con el análisis realizado en la Sección 3.7.1.

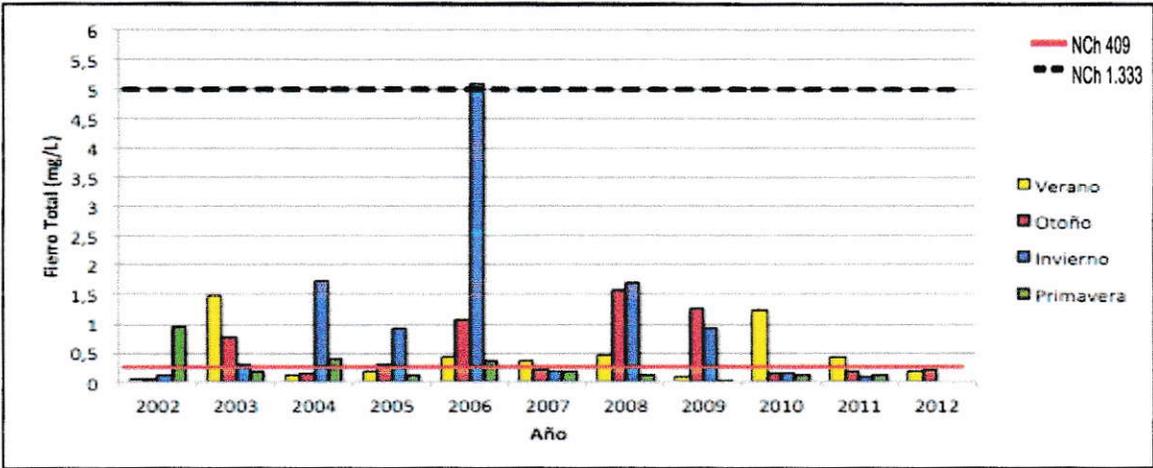


Figura 44: Gráfico de concentración de hierro en Río Elqui en La Serena.

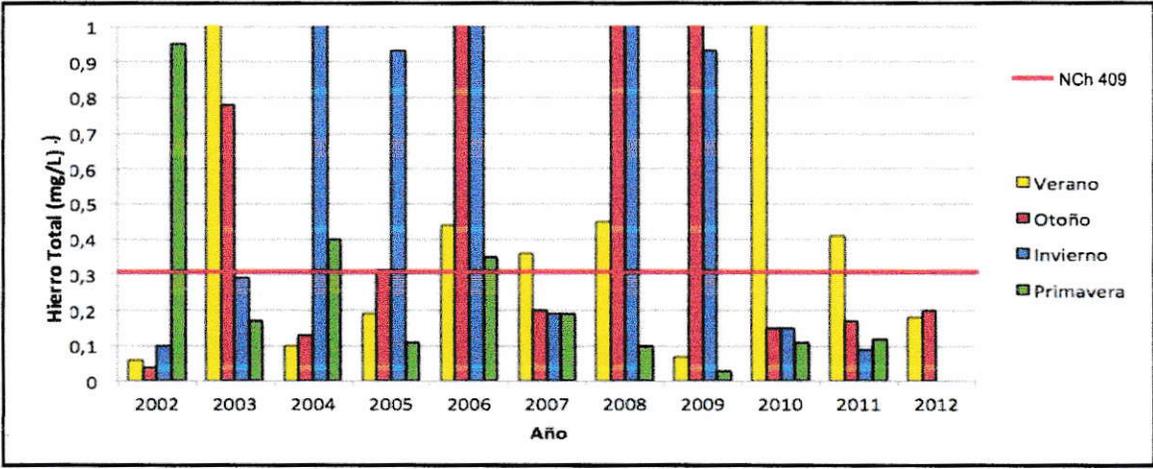


Figura 45: Ampliación Figura 44, Gráfico de concentración de hierro en Río Elqui en La Serena.

3.7.3 Análisis estacional de hierro en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se muestra una tendencia general a valores negativos en todas las estaciones de monitoreo (Tabla 20), destacando invierno y primavera, indicando una disminución de hierro a través del paso del tiempo, lo cual es consistente con los análisis realizados anteriormente (Sección 3.7.1 y 3.7.2). En otoño se observa una tendencia a valores positivos, exceptuando Río Elqui en puente Las Rojas, estación que presenta valores negativos en todos los periodos estacionales.

Tabla 19: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de hierro para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.

Temporada estival	Río Elqui El Algarrobal (r)	Río Elqui en Almendral (r)	Río Elqui en puente las rojas (r)	Río Elqui en La Serena (r)
Verano	-0,43	0,18	-0,44	-0,02
Otoño	0,20	0,06	-0,21	0,45
Invierno	-0,15	-0,53	-0,59	-0,09
Primavera	-0,39	-0,60	-0,57	-0,67

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2 Análisis espacial de hierro en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se observa que Río Elqui El Algarrobal es la estación con concentraciones, máximo y mediana más alta (Figura 46). Luego de la cual existe una disminución considerable en las concentraciones de hierro, debido al embalse Puclaro, luego del cual se observa un aumento del metal a medida que las estaciones se van aproximando a la costa, indicando arrastre de hierro por parte de las estaciones de monitoreo analizadas y efectos de dilución, ya que los caudales disminuyen a medida que el río se acerca a la costa. Sin embargo, los p-value indican que existe solo una diferencia estadística significativa entre la estación ubicada sobre el embalse, Río Elqui El Algarrobal y cada una de las estaciones que le siguen, con valores promedio de $2,4 \cdot 10^{-4}$ (p-value < 0,05).

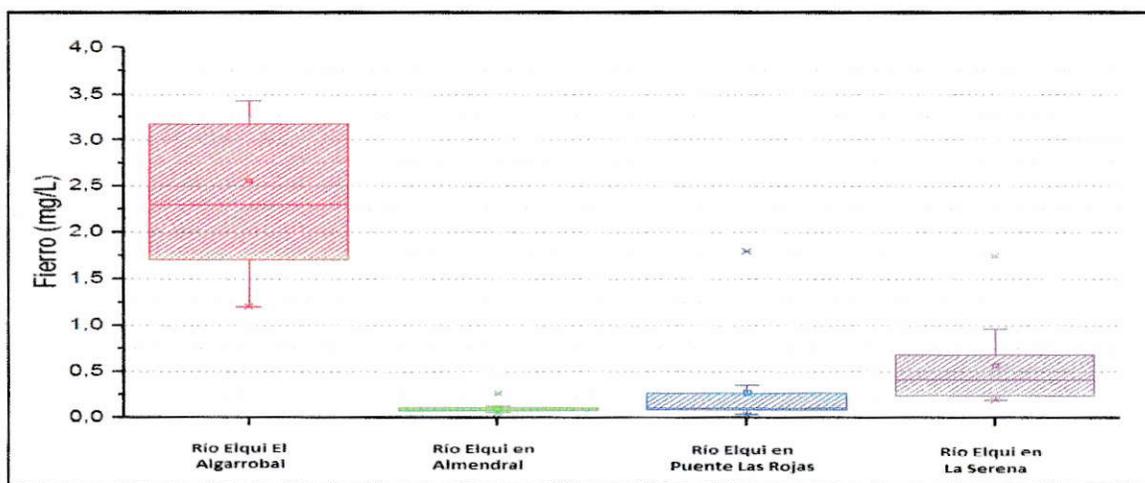


Figura 46: Gráfico de variación espacial de hierro en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.

El análisis conjunto indica que Río Elqui El Algarrobal supera ambas normas y Río Elqui en La Serena supera la NCh 409. Los análisis efectuados (promedios anuales, calidad de aguas y estacional) son consistentes en que existe una tendencia general a la disminución de hierro, que incrementa en invierno y primavera. Sin embargo, no existen correlaciones estacionales en los valores del metal. El análisis espacial indica una diferencia significativa en los valores de hierro, respaldada por los p-values, entre Río Elqui El Algarrobal y las siguientes tres estaciones, causada por el efecto decantador del embalse Puclaro. Luego de éste, ocurre un aumento en las concentraciones del metal a medida que las estaciones se encuentran más cerca de la costa, debido al arrastre del metal y a efectos de dilución.

3.8 Estudio de concentración de manganeso.

3.8.1 Análisis de promedios anuales de manganeso en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se muestra que Río Elqui El Algarrobal presenta mayores valores (Tabla 21), los cuales disminuyen durante los últimos tres años analizados. En Río Elqui en La Serena ocurre un aumento de manganeso en 2006 y en 2002. Se observa un aumento general del metal en las estaciones, debido al derrame ocurrido en minera Talacuna. Sin embargo, no se observan correlaciones anuales definidas.

Tabla 20: Promedios anuales de manganeso para todas las estaciones de monitoreo analizadas.

Año	Río Elqui El Algarrobal (mg/L)	Río Elqui en Almendral (mg/L)	Río Elqui en puente Las Rojas (mg/L)	Río Elqui en La Serena (mg/L)
2002	0,55	0,09	0,15	0,03
2003	0,29	0,05	0,05	0,07
2004	0,33	0,02	0,03	0,04
2005	0,30	0,04	0,02	0,04
2006	0,27	0,09	0,03	0,10
2007	0,32	0,04	0,02	0,03
2008	0,29	0,03	0,02	0,08
2009	0,29	0,02	0,02	0,05
2010	0,45	0,03	0,02	0,04
2011	0,35	0,04	0,02	0,04
2012	0,33	0,07	0,05	0,06

Fuente: DGA, 2014.

3.8.2 Análisis de calidad de agua de manganeso en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Río Elqui El Algarrobal es la estación que presenta mayores desviaciones a las normas aplicadas, siendo superadas durante todo el periodo de análisis, mientras que por el contrario, Río Elqui en Almendral y en puente Las Rojas presentan en su mayoría valores bajos. Se observa un aumento de concentración en 2002, debido al derrame de Talacuna en las tres estaciones ubicadas río arriba. Sin embargo, no se observan correlaciones estacionales ni temporales en ninguna estación. A continuación se muestra el análisis del cumplimiento de los límites propuestos por la NCh 1.333 y NCh 409 (0,2 y 0,1 mg/L) para cada estación de monitoreo (Figuras 47-51).

a) Río Elqui El Algarrobal

Se muestra que ambas normas son superadas durante todo el periodo de estudio (Figura 47), valores que se adjudican a yacimientos mineros ubicados en los alrededores del pueblo de Vicuña pertenecientes a la minera Manganesos Atacama, donde las aguas de minas junto con los depósitos estériles son difundidas al río Elqui.

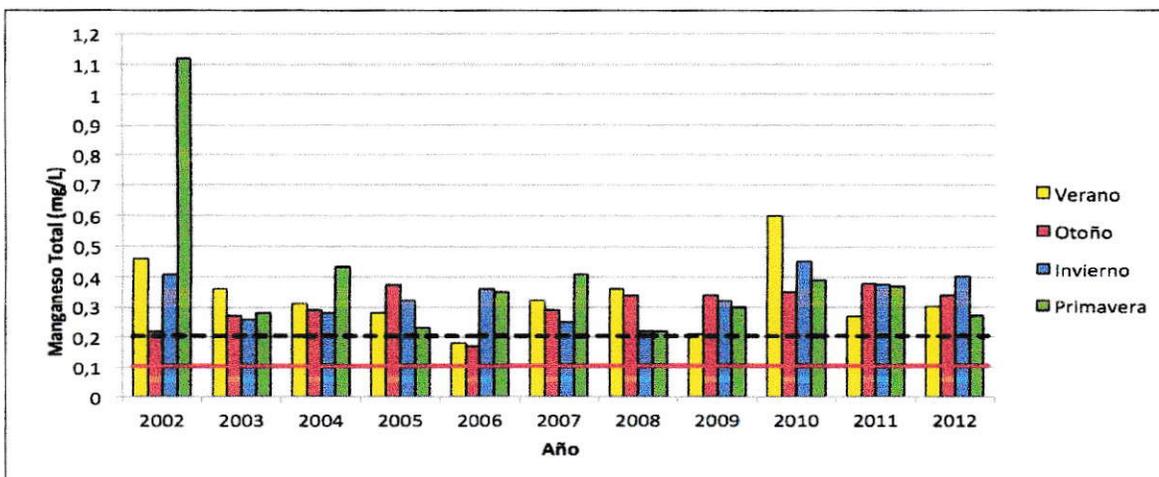


Figura 47: Gráfico de concentración de manganeso en Río Elqui El Algarrobal.

b) Río Elqui en Almendral

Se observa que ambas normas son superadas dos veces durante el período de estudio (Figura 48), en invierno de 2002 y en primavera de 2006. En 2004, 2008 y 2009 se observan bajos valores con poca variación estacional, mientras que en 2003 y 2012 existe mayor concentración de manganeso, manteniéndose dentro de las normas.

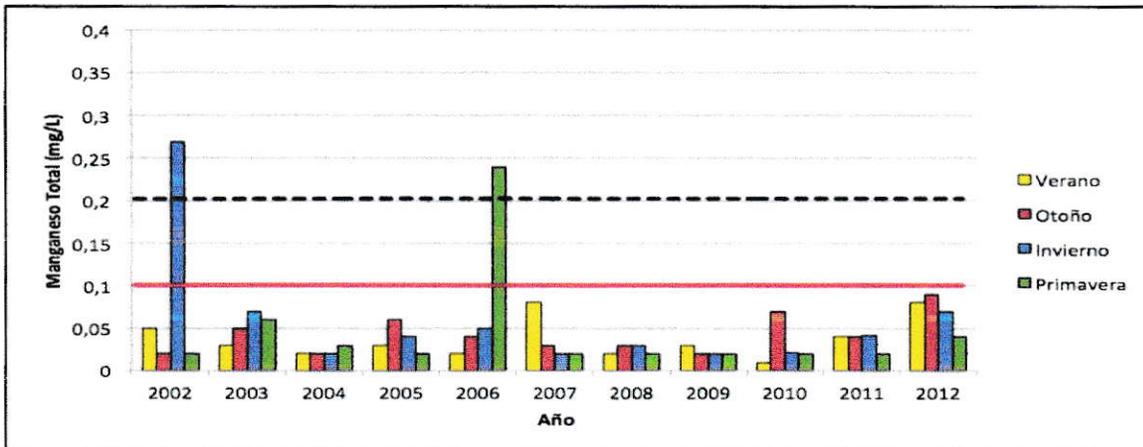


Figura 48: Gráfico de concentración de manganeso en Río Elqui en Almendral.

c) Río El Elqui en puente Las Rojas.

Se muestra que ambas normas son superadas en invierno y primavera de 2002 (Figura 49). A partir de 2005 se observa una disminución de manganeso que aumenta en los dos últimos años de análisis. En 2004, 2007, 2008 y 2010 se observan pocas variaciones estacionales.

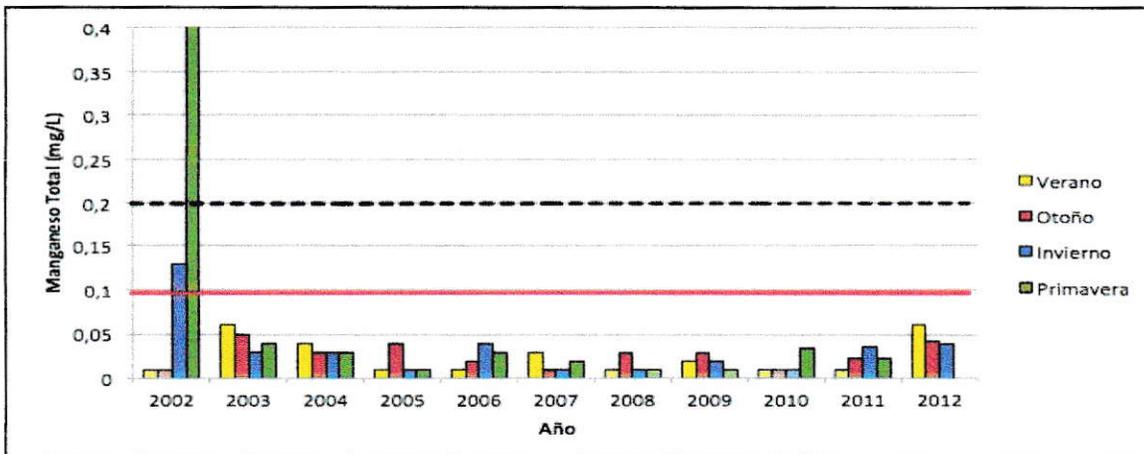


Figura 49: Gráfico de concentración de manganeso en Río Elqui en puente Las Rojas.

d) Río Elqui en La Serena

Se observa que la NCh 1.333 es superada una sola vez, en invierno del 2006, mientras que la NCh 409 se ve superada seis veces durante el periodo de estudio (Figura 50). Los valores de manganeso durante 2005 y 2011 en primavera permanecen constantemente bajos, mientras que en invierno se observa una disminución a partir de 2007.

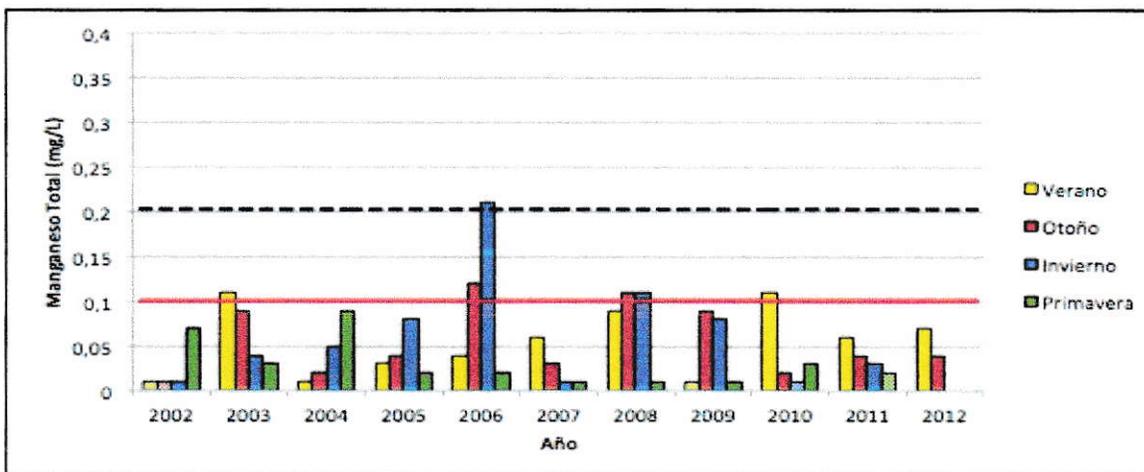


Figura 50: Gráfico de concentración de manganeso en Río Elqui en La Serena.

3.8.2 Análisis estacional de manganeso en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se muestra una tendencia a valores negativos en todas las estaciones de monitoreo (Tabla 22), indicando una disminución de manganeso a través del paso del tiempo, especialmente en invierno y primavera, donde se observan valores negativos para todas las estaciones, siendo más fuertes en Río Elqui en Almendral y Río Elqui en puente Las Rojas. En otoño se observan valores positivos, exceptuando Río Elqui en puente Las Rojas, que presenta valores negativos en todos los periodos estivales.

Tabla 21: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de Manganeso para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.

Temporada estival	Río Elqui El Algarrobal (r)	Río Elqui en Almendral (r)	Río Elqui en puente las rojas (r)	Río Elqui en La Serena (r)
Verano	-0,06	0,20	-0,02	0,32
Otoño	0,60	0,48	-0,02	0,03
Invierno	0,004	-0,48	-0,43	0,003
Primavera	-0,48	-0,14	-0,54	-0,59

Fuente: Elaboración propia.

3.8.3 Análisis espacial de hierro en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se muestra que la estación con concentraciones, máximo y mediana más alta, fue Río Elqui El Algarrobal (Figura 51). Existe una alteración espacial causada por el embalse Puclaro, respaldado por los p-values que indican que la única diferencia estadística significativa se observa entre la estación ubicada sobre el embalse, Río Elqui El Algarrobal y cada una de las estaciones que le siguen, con un promedio de $1,2 \cdot 10^{-7}$ (p-value < 0,05).

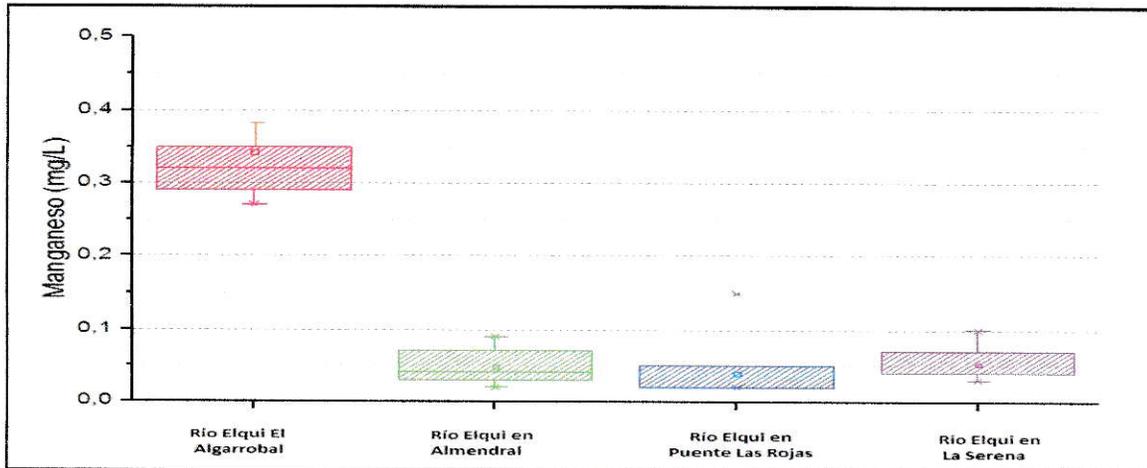


Figura 51: Variación espacial de manganeso en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.

El análisis conjunto indica que río Elqui El Algarrobal es la única estación en la cual se sobrepasan ambas normas, lo que se asocia a la presencia de tres minas de manganeso pertenecientes a la minera Manganesos Atacama, sumado a una planta de beneficio de mineral ubicadas en el sector. Los análisis realizados (promedios anuales, de calidad de aguas y estacional) son consistentes en indicar que existe una tendencia general a la disminución de manganeso en las estaciones, exceptuando en otoño, sin embargo, no existen correlaciones estacionales en los valores de manganeso. Una vez más el efecto decantador del embalse Puclaro genera una disminución considerable de concentraciones en aquellas estaciones de monitoreo ubicadas bajo dicho embalse.

3.9 Estudio de concentración de sulfato.

3.9.1 Análisis de promedios anuales de sulfato en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se muestra que existe una tendencia al aumento de sulfato en todas las estaciones, donde destaca el periodo 2003-2005 (Tabla 23). Río Elqui en La Serena es la estación que presenta mayores valores del parámetro. Durante 2011 se registran las máximas

concentraciones en todas las estaciones y por el contrario, 2003 presenta las menores concentraciones en general del ion.

Tabla 22: Promedios anuales de sulfato para cada estación de monitoreo analizada.

Año	Río Elqui El Algarrobal (mg/L)	Río Elqui en Almendral (mg/L)	Río Elqui en puente Las Rojas (mg/L)	Río Elqui en La Serena (mg/L)
2002	126,3	176,3	190,6	288,4
2003	132,1	124,7	133,1	160,4
2004	140,9	149,0	157,2	230,6
2005	164,7	177,8	185,1	300,1
2006	131,5	132,70	159,3	210,3
2007	156,3	218,8	173,4	284,4
2008	161,0	191,6	188,2	266,6
2009	142,3	139,7	156,7	237,2
2010	181,0	171,4	173,8	283,8
2011	215,9	222,1	213,7	362,3
2012	144,0	192,3	-	-

Fuente: DGA, 2014.

3.9.2 Análisis de calidad de agua de sulfato en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Las estaciones estudiadas cumplen con ambas normas, exceptuando Río Elqui en La Serena. No se observa correlación temporal ni estacional en los puntos de muestreo estudiados. A continuación se muestra el análisis del cumplimiento de los límites propuestos por la NCh 1.333 y NCh 409 (250 y 500 mg/L) para cada estación de monitoreo (Figuras 52-55).

a) Río Elqui El Algarrobal

Se observa que ambas normas aplicadas se cumplen durante el periodo de estudio (Figura 52). Existe una tendencia al aumento en las concentraciones, concordando con el análisis anterior (Sección 3.9.1).

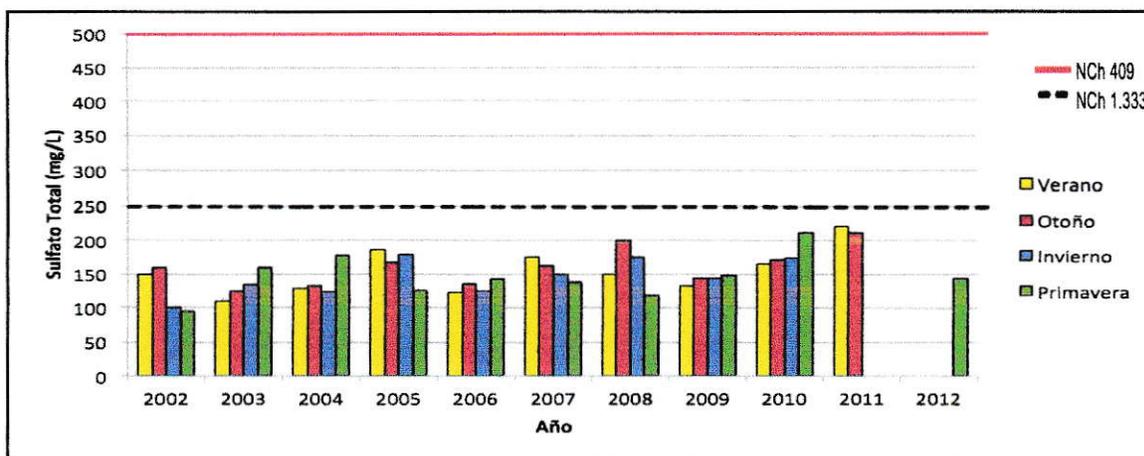


Figura 52: Gráfico de concentración de sulfato en Río Elqui El Algarrobal.

b) Río Elqui en Almendral

Se muestra que ambas normas aplicadas se cumplen durante el periodo de estudio, exceptuando verano de 2007, donde se supera la NCh 1.333 (Figura 53).

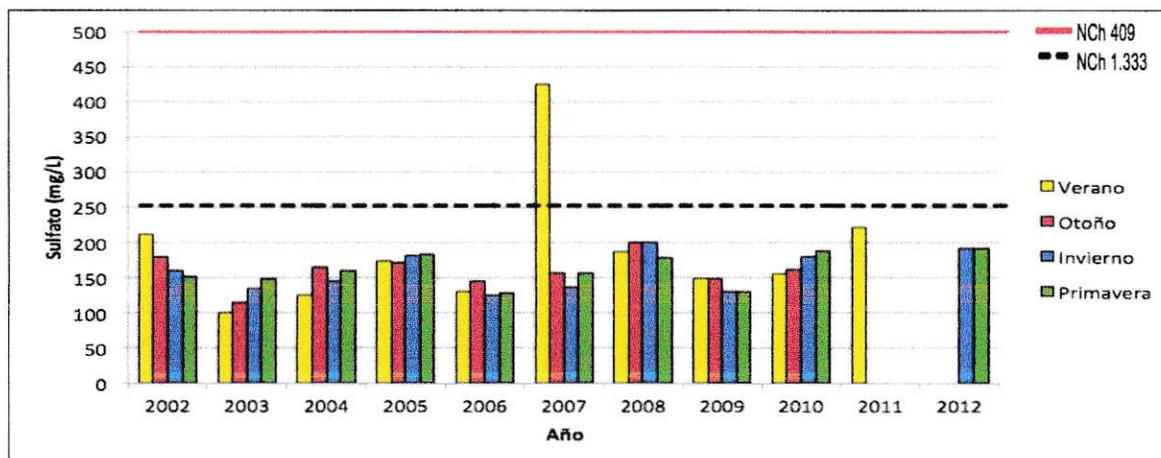


Figura 53: Gráfico de concentración de sulfato en Río Elqui en Almendral.

c) Río Elqui en puente Las Rojas

Se observa que ambas normas aplicadas se cumplen durante el periodo de estudio (Figura 54). Los valores de sulfato en durante 2006, 2007 y 2009 presentan pocas variaciones estacionales. Se observa un aumento en los valores durante los últimos años, concordando con el análisis anterior (Sección 3.9.1).

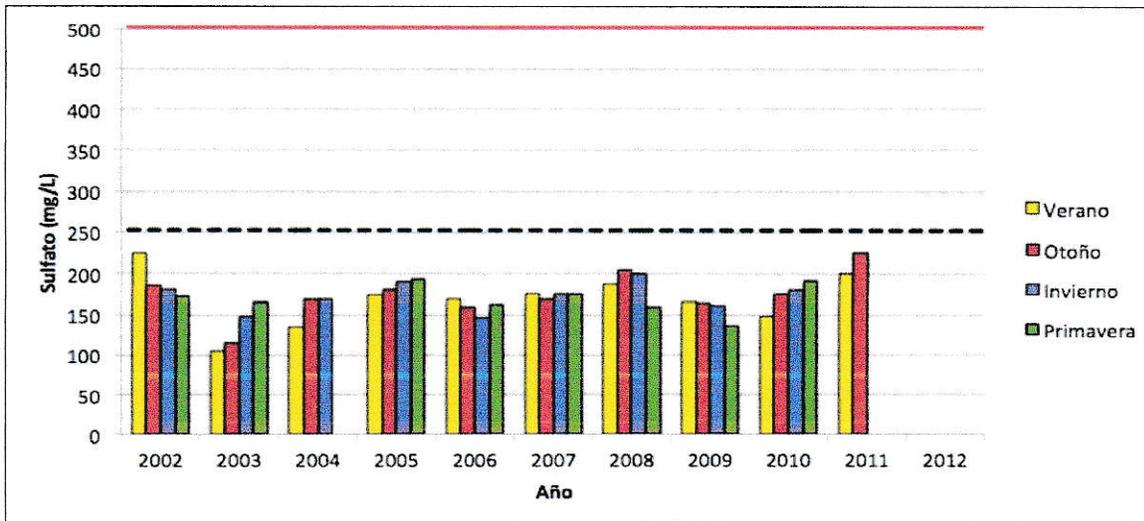


Figura 54: Gráfico de concentración de sulfato en Río Elqui en puente Las Rojas.

d) Río Elqui en La Serena

Se muestra que la NCh 409 se cumple, mientras que la NCh 1.333 se supera dieciocho veces durante el periodo de análisis (Figura 55). Estos resultados se adjudican a tres factores: arrastre del ion proveniente de estaciones superiores, descargas mineras realizadas por la mina Romeral y efectos de dilución, ya que en esta estación el caudal del río disminuye aproximadamente a la mitad. Se destaca el 2003 con menores valores y el 2009, con pocas variaciones estacionales. A partir del 2009 se observa un aumento en las concentraciones de sulfato.

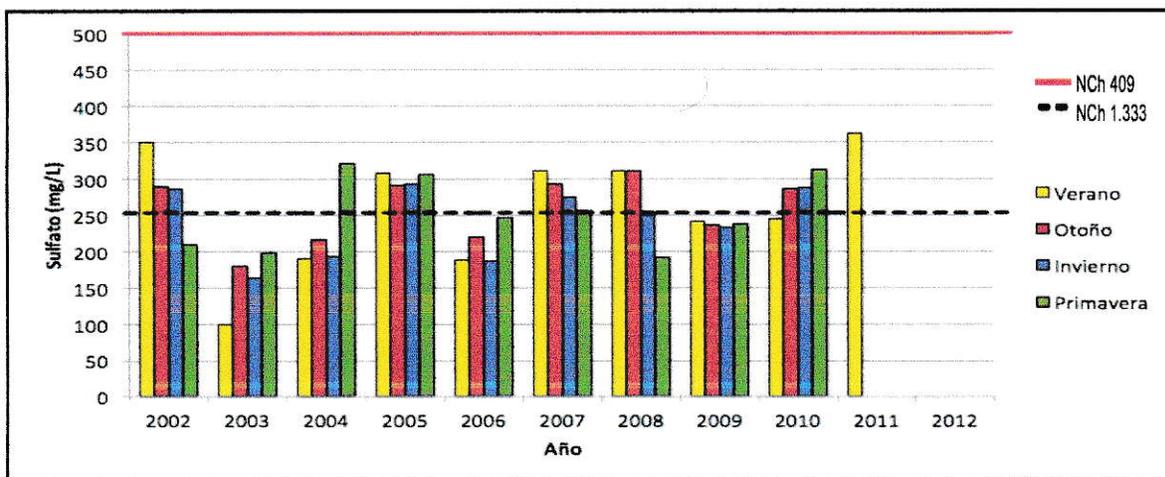


Figura 55: Gráfico de concentración de sulfato en Río Elqui en La Serena.

3.9.2 Análisis estacional de sulfato en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se muestra una tendencia a valores positivos en todas las estaciones de monitoreo (Tabla 24), indicando un aumento de sulfato a través del paso del tiempo. Lo cual es respaldado por los análisis realizados anteriormente (Secciones 3.9.1 y 3.9.2). Destaca Río Elqui El Algarrobal con una fuerte tendencia al aumento del ion. Sin embargo, en esta estación junto con Río Elqui en puente Las Rojas se observan valores negativos en primavera, los cuales son considerados poco significantes en relación a la tendencia general.

Tabla 23: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de sulfato para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.

Temporada estival	Río Elqui El Algarrobal (r)	Río Elqui en Almendral (r)	Río Elqui en puente las rojas (r)	Río Elqui en La Serena (r)
Verano	0,53	0,18	0,15	0,33
Otoño	0,63	0,15	0,53	0,34
Invierno	0,64	0,41	0,21	0,28
Primavera	-0,27	0,42	-0,13	0,19

Fuente: Elaboración propia.

3.9.4 Análisis espacial de sulfato en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se observa que Río Elqui en La Serena es la estación con mayores concentraciones y mediana (Figura 56). Existe una tendencia al aumento de ion sulfato a medida que las estaciones se aproximan a la costa, justificado por fenómenos de arrastre del ion y disminución del caudal. La única diferencia significativa se observa entre Río Elqui en La Serena, con las tres estaciones de monitoreo previas, justificado con p-value promedio de $1,2 * 10^{-5}$.

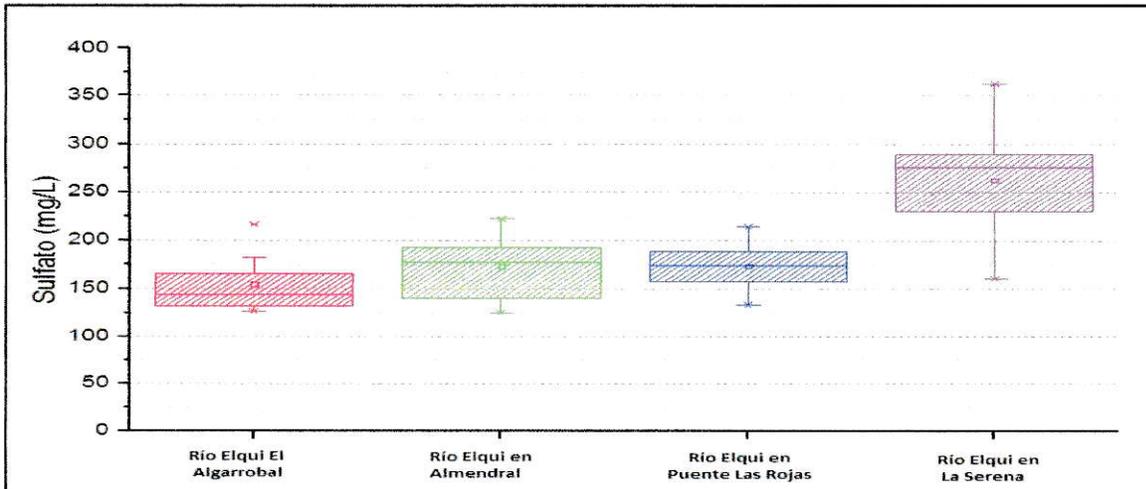


Figura 56: Variación espacial de sulfato en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.

El análisis conjunto permite establecer que existe una tendencia al aumento de sulfato en todas las estaciones, observándose un patrón espacial que aumenta el ion a medida que las estaciones se van acercando a la costa, por lo que Río Elqui en La Serena es aquella que presenta mayores valores debido a arrastre del ion, disminución de caudal y descargas mineras. Los estudios realizados son consistentes en indicar que los valores de sulfato no presentan correlaciones temporales ni estacionales.

3.10 Estudio de variación de Zinc.

3.10.1 Análisis de promedios anuales de zinc en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se muestra (Tabla 25) que todas las estaciones cumplen con NCh 409 y NCh 1.333 (3 y 2 mg/L). Río Elqui El Algarrobal presenta mayores valores de zinc y destaca el 2007 con mayores concentraciones del metal. Sin embargo, no existe correlación anual en los valores de zinc.

Tabla 24: Promedios anuales de zinc para las estaciones de monitoreo analizadas.

Año	Río Elqui El Algarrobal (mg/L)	Río Elqui en Almendral (mg/L)	Río Elqui en puente Las Rojas (mg/L)	Río Elqui en La Serena (mg/L)
2002	0,180	0,015	0,030	0,010
2003	0,130	0,010	0,018	0,018
2004	0,130	0,010	0,013	0,010
2005	0,113	0,018	0,013	0,013
2006	0,133	0,020	0,015	0,020
2007	0,173	0,040	0,027	0,030
2008	0,105	0,015	0,010	0,015
2009	0,121	0,018	0,015	0,020
2010	0,182	0,013	0,025	0,010
2011	0,173	0,010	0,010	0,013
2012	0,152	0,010	0,010	0,010

Fuente: DGA, 2014.

3.10.2 Análisis de calidad de agua de zinc en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

En Río Elqui El Algarrobal se observan las mayores concentraciones de zinc, sin embargo, todas las estaciones cumplen con ambas normas, No se observan correlaciones temporales ni estacionales en ningún punto de análisis. A continuación se muestra el análisis del cumplimiento de los límites propuestos por la ambas normas para cada estación de monitoreo (Figuras 57-60).

a) Río Elqui El Algarrobal

Se observa que ambas normas son cumplidas, existe un aumento de zinc en los últimos tres años de estudio, sin embargo, son valores bajos (Figura 57).

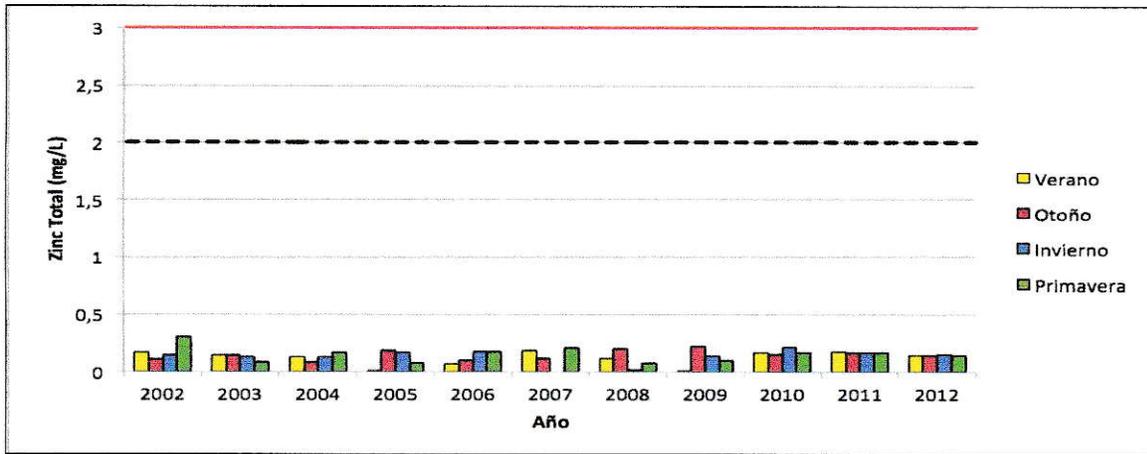


Figura 57: Gráfico de concentración de zinc en Río Elqui El Algarrobal.

b) Río Elqui en Almendral

Se observan bajas concentraciones de zinc durante el periodo de estudio, reflejado en el cumplimiento de ambas normas (Figura 58).

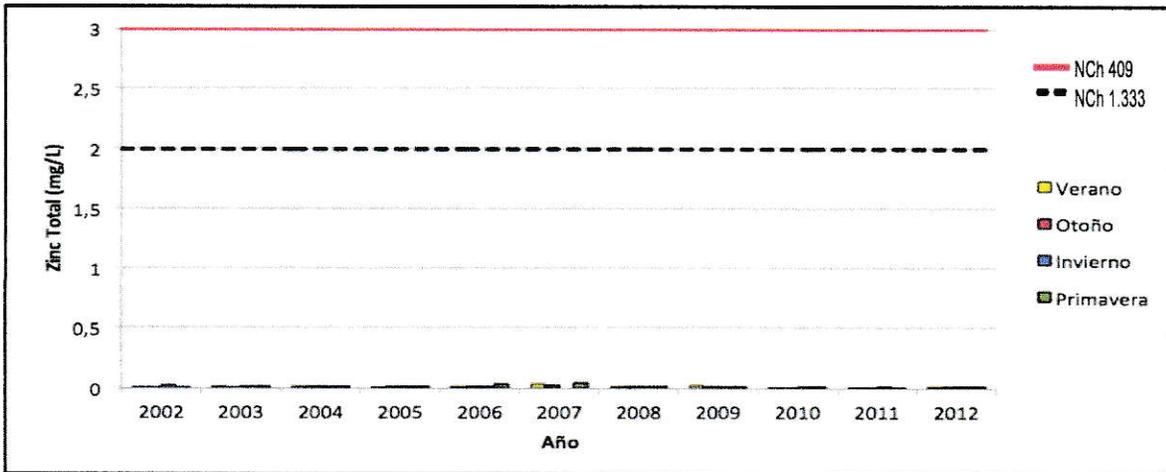


Figura 58: Gráfico de concentración de zinc en Río Elqui en Almendral.

c) Río Elqui en puente Las Rojas

Se observan bajas concentraciones de zinc durante todo el periodo de estudio (Figura 59), reflejado en el cumplimiento de ambas normas.

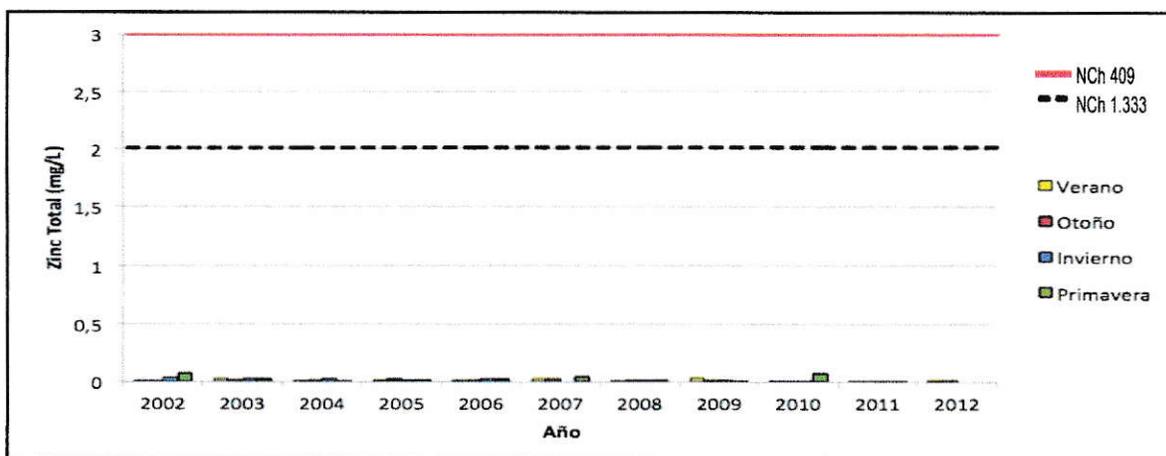


Figura 59: Gráfico de concentración de zinc en Río Elqui en puente Las Rojas.

d) Río Elqui en La Serena

Se observa que ambas normas son cumplidas durante todo el periodo de estudio (Figura 60).

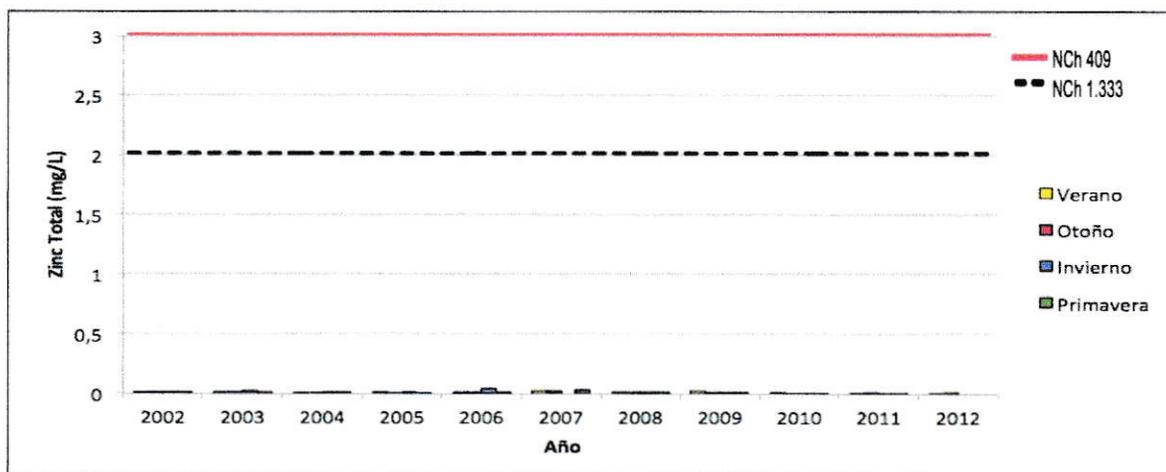


Figura 60: Gráfico de concentración de zinc en Río Elqui en La Serena.

3.10.3 Análisis estacional de zinc en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se muestra una tendencia general a valores positivos en todas las estaciones de monitoreo (Tabla 26), indicando un aumento de zinc a través del paso del tiempo. Existen valores negativos, cuatro de los cuales son considerados bajos, por lo que no afectan la tendencia general. Sin embargo, Los valores negativos considerados

relevantes ocurren en invierno, indicando una tendencia a la disminución de zinc en aquel periodo estacional, generado por el aumento de caudal.

Tabla 25: Coeficientes de Correlación de Pearson (r) de zinc para cada temporada estival en las estaciones de monitoreo analizadas.

Temporada estival	Río Elqui El Algarrobal (r)	Río Elqui en Almendral (r)	Río Elqui en puente las rojas (r)	Río Elqui en La Serena (r)
Verano	0,10	0,11	0	-2 E-17
Otoño	0,45	-0,02	-0,14	0,36
Invierno	-0,25	-0,35	-0,81	-0,21
Primavera	-0,06	0,30	-0,12	0,12

Fuente: Elaboración propia.

3.10.4 Análisis espacial de zinc en las estaciones de monitoreo (2002-2012)

Se observa que la estación con concentraciones, máximo y mediana más alta, es Río Elqui El Algarrobal (figura 61). El efecto sedimentador del embalse Puclaro se observa también en los valores de zinc, lo cual es respaldado por los p-values que muestran una sola diferencia estadística significativa entre los valores del metal, observándose entre la estación ubicada sobre el embalse, Río Elqui El Algarrobal y cada una de las estaciones que le siguen, con promedios de $2,8 \cdot 10^{-6}$ (p-value < 0,05).

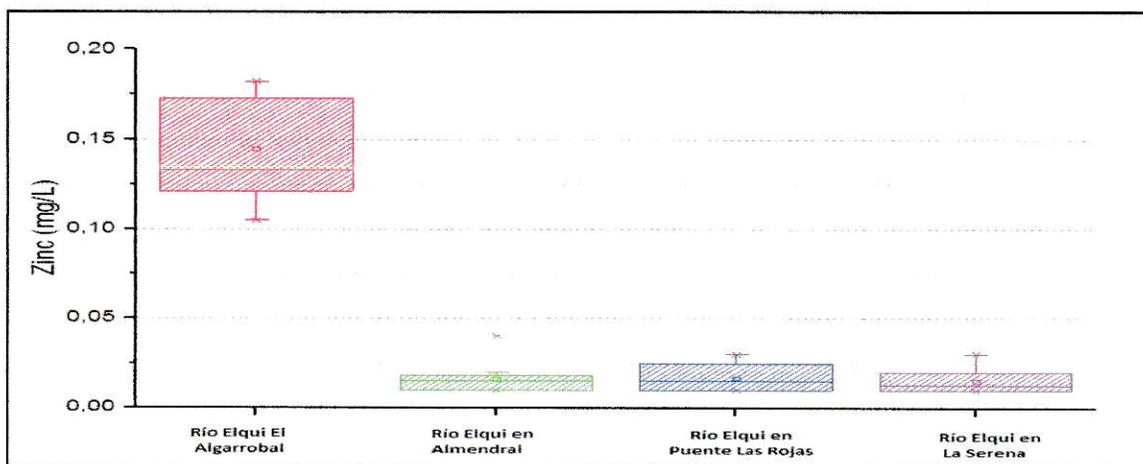


Figura 61: Variación espacial de zinc en las cuatro estaciones de monitoreo analizadas.

El análisis conjunto establece que todas las estaciones cumplen con la NCh 1.333 y 409. Los estudios de promedios anuales y estacionales indican una tendencia general al aumento del parámetro en relación al tiempo. La estación con mayores concentraciones de zinc es Río Elqui El Algarrobal, debido al embalse Puclaro, lo cual es respaldado por los p-values que indican una sola diferencia estadística significativa entre dicha estación y las tres ubicadas río abajo.

V.- DISCUSIÓN

Los Estudios de Calidad de agua son importantes en la elaboración de una correcta línea base, ya que es necesario determinar el estado en que se encuentran los cuerpos de aguas de manera previa a la construcción de un proyecto, con fin de comparar los efectos ambientales que éstos pueden producir.

No se observa una correlación temporal ni estacional de parámetros en ningún punto de muestreo estudiado, los cuales al estar ubicados en distintos sectores del Río Elqui, presentan diferentes factores influyentes en la calidad de sus aguas. Los parámetros más alterados fueron arsénico, cobre, hierro y manganeso, debido al aporte de descargas/relaves/acopios mineros, actividades agrícolas desarrolladas en el sector y a la naturaleza litogénica. Actividades que aportan al aumento de contaminantes, alterando la calidad de las aguas. Con lo que se afirma que la actividad antropogénica del sector altera la calidad del agua del Río Elqui en las estaciones estudiadas.

En resumen, los parámetros que se vieron más alterados en cada estación de monitoreo se observan en la Tabla 26 y figura 5.

Tabla 26: Parámetros alterados en estaciones de monitoreo.

Estación de monitoreo	Parámetro alterado	Factor asociado
Río Elqui El Algarrobal	Aluminio	- Derretimiento nieves ácidas
	Arsénico	- Mina Esperanza - Agricultura de vides
	Cobre	- Mina Esperanza
	Hierro	- Mina Esperanza - Agricultura de

		vides
	Manganeso	- Mina Manganesos Atacama
Río Elqui en Almendral	pH	- Naturaleza cuenca
Río Elqui en puente Las Rojas	pH	- Naturaleza cuenca
Río Elqui en La Serena	Conductividad específica	- Arrastre de sales
	Hierro	- Agricultura de hortalizas - Mina Romeral
	Sulfato	- Mina Romeral

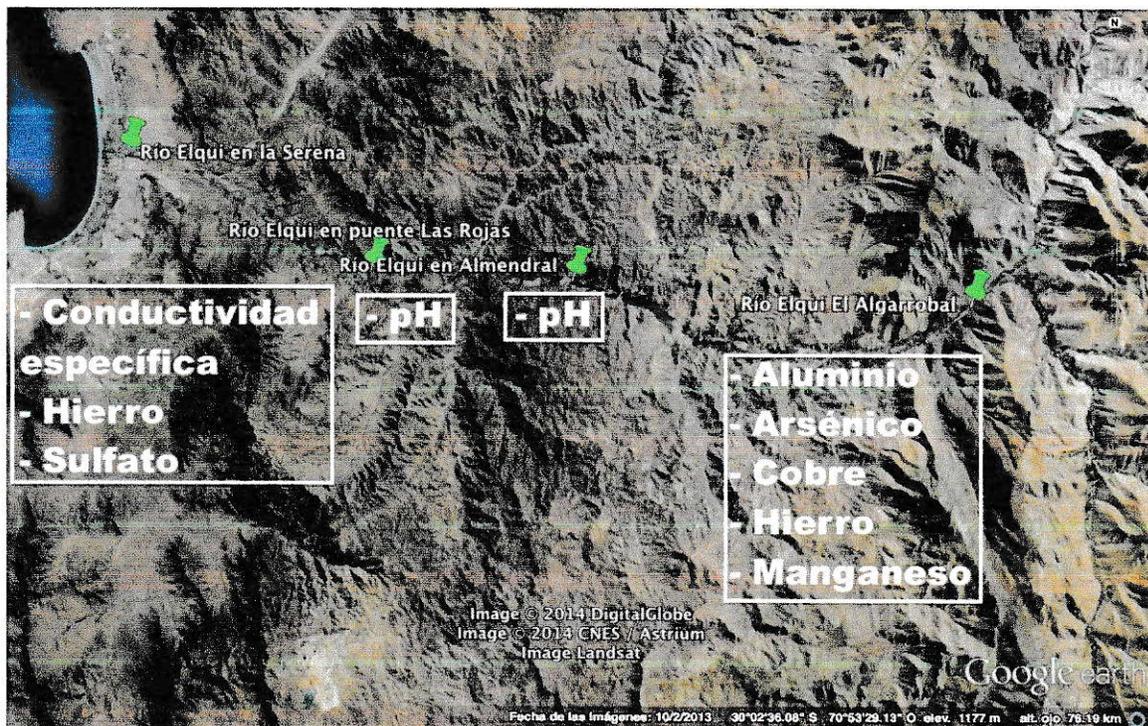


Figura 62: Parámetros alterados en estaciones de monitoreo analizadas.

		vides
	Manganeso	- Mina Manganesos Atacama
Río Elqui en Almendral	pH	- Naturaleza cuenca
Río Elqui en puente Las Rojas	pH	- Naturaleza cuenca
Río Elqui en La Serena	Conductividad específica	- Arrastre de sales
	Hierro	- Agricultura de hortalizas - Mina Romeral
	Sulfato	- Mina Romeral

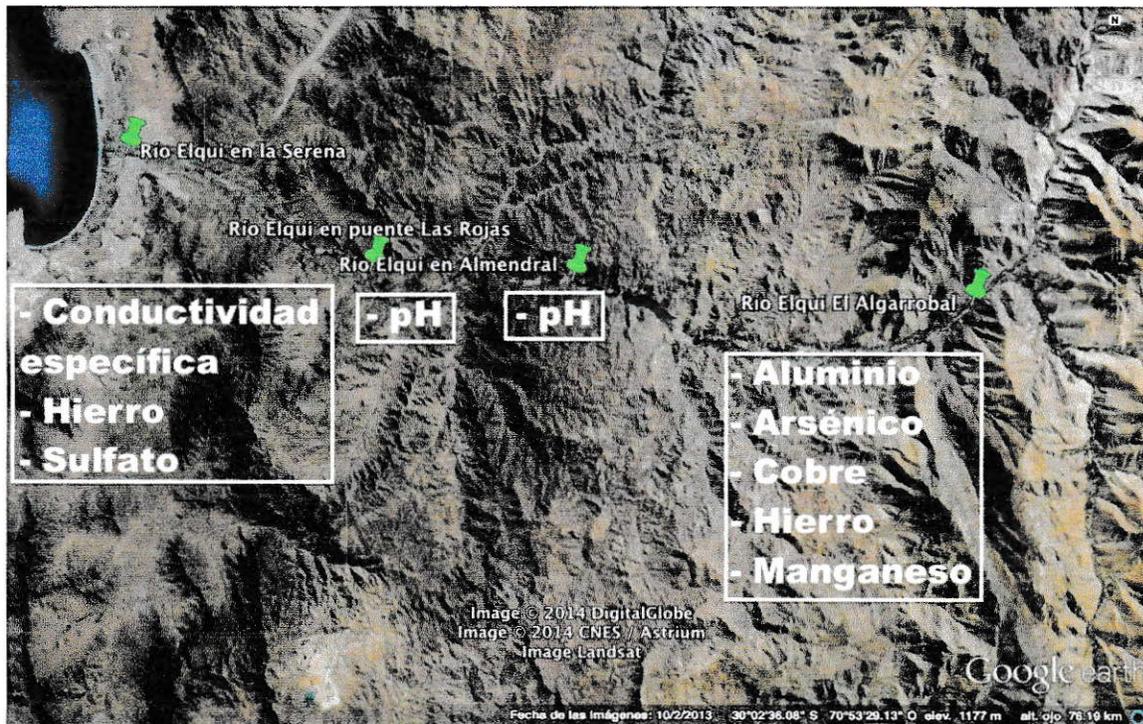


Figura 62: Parámetros alterados en estaciones de monitoreo analizadas.

Según la NCh 409 Of. 2005 “Agua potable, parte 1: requisitos”, ninguna de las aguas monitoreadas son aptas para el consumo humano. Esto debido a los altas concentraciones de arsénico, hierro y manganeso en las aguas de la estación Río Elqui El Algarrobal, a los altos índices de arsénico presentes en las aguas de río Elqui en Almendral, a los altos valores pH y arsénico en Río Elqui en puente Las Rojas y finalmente, debido a la gran cantidad de hierro presente en río Elqui en La Serena. Mientras que según la NCh 1.333 Of. 78 “Requisitos de calidad de agua para diferentes usos, sección 6, requisitos para agua de riego” sólo las aguas de Río Elqui en La Serena serían aptas para riego sin la necesidad de ser tratadas, utilizando métodos de manejo cuidadosos, debido a los valores de conductividad específica registrados. Por el contrario, las aguas de Río Elqui El Algarrobal, Río Elqui en Almendral y Río Elqui en puente Las Rojas, deben ser tratadas de manera previa a ser utilizadas para riego, debido a las concentraciones de cobre y hierro en río Elqui El Algarrobal y a los valores de pH en río Elqui en Almendral y Río Elqui en puente Las Rojas.

Los análisis realizados muestran dos tendencias en la calidad de las aguas del Río Elqui; El impacto generado por el derrame ocurrido en el distrito cuprífero de Talacuna en 2002 y el efecto sedimentador del embalse Puclaro, donde los metales son retenidos en forma directa como fases sólidas suspendidas, o de manera indirecta, por fijación de metales disueltos en partículas coloidales de hidróxido de hierro, arcilla o materia orgánica. Con fin de mostrar estadísticamente estas diferencias, se realizó un cluster (Figura 62), donde se distinguen dos grupos, el primero correspondiente a la estación Río Elqui El Algarrobal y el segundo grupo muestra las tres estaciones ubicadas bajo el embalse, siendo consistente con las diferencias observadas en los análisis espaciales realizados a lo largo del informe.

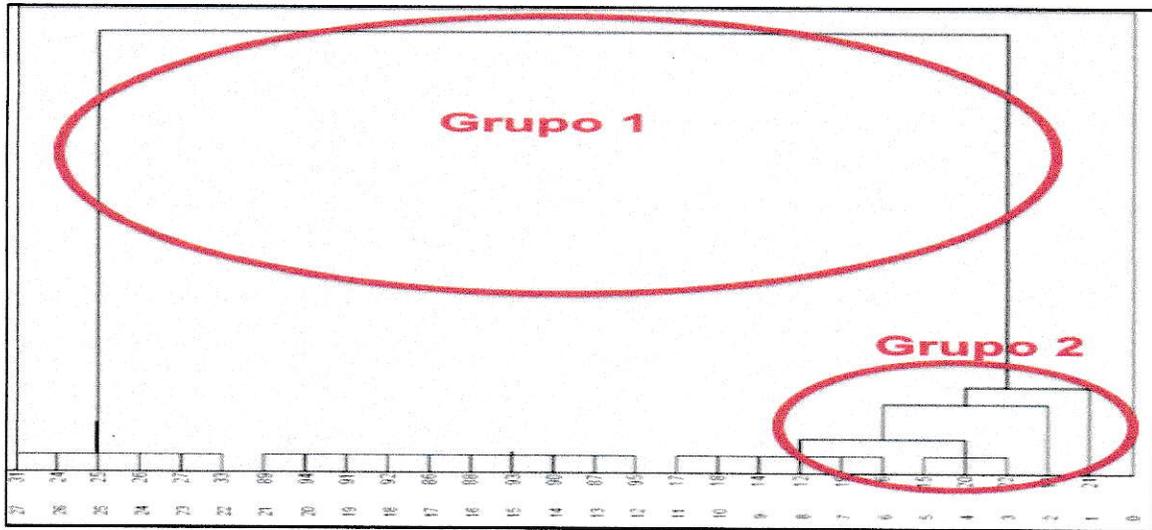


Figura 63: Dendrograma de Estaciones de monitoreo analizadas.

V.- CONCLUSIONES

- Las actividades antrópicas ubicadas cerca del Río Elqui alteran la calidad de sus aguas y se localizan principalmente al interior del valle.
- La estación Río Elqui El Algarrobal presenta una mayor concentración de metales, disminuyendo la calidad de sus aguas.
- Río Elqui en Almendral, Río Elqui en puente Las Rojas y Río Elqui en La Serena presentan una mejor calidad, debido a menores concentraciones de metales.
- las aguas estudiadas no son clasificadas como aptas para el riego, ni para el consumo humano.
- Los parámetros críticos en Río Elqui El Algarrobal fueron manganeso, hierro, cobre y arsénico. En Río Elqui en La Serena, conductividad específica y sulfato, mientras que en Río Elqui en Almendral y en puente Las Rojas no se detectaron parámetros críticos.
- No existe correlación temporal ni estacional de los parámetros en ninguna estación analizada.
- Existen dos factores influyentes en el comportamiento de parámetros de las aguas del Río Elqui durante el periodo estudiado: El derrame ocurrido en el distrito de Talacuna (que disminuyó la calidad de las aguas del río) y la presencia del embalse Puclaro (que permite una mejora en la calidad de las aguas ubicadas bajo él).

VI.- REFERENCIAS

- Anaya, M. y Martínez, J.M., 2007. Manual de captación de agua de lluvia para áreas rurales: sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano en América Latina y el Caribe. Pp 144-145. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. México.
- Aranda, X. 1971. En Algunas consideraciones sobre la trascendencia en el norte chico. Información geográfica. pp 141-169, Chile.
- Banco Mundial. 2011. Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible Región para América Latina y el Caribe. pp 5-14. Chile.
- Campos, I. 2000. Calidad del agua. En C. Urroz, R. López (eds.), Saneamiento Ambiental. pp 47-49. Editorial Universidad, Costa Rica.
- Chapman, D. An introduction to water quality. En Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. p 6. E&FN Spon. USA.
- Cortés, I. y Montalvo, S. 2010. Agua en la naturaleza, En Aguas: calidad y contaminación. pp. 22-25. Chile.
- Dirección General de Aguas (DGA). 2004. En Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, Cuenca del Río Elqui. Ministerio de obras públicas, Chile.
- Dirección General de Aguas (DGA). 2009. Estrategia Nacional de Glaciares. En publicación DGA, S.I.T. N° 205. pp 67-68. Centro de Estudios Científicos-CECS. Chile.
- Food and Agriculture Organization of the united nations (FAO). 1993. Evaluación de la calidad de las aguas. En Prevención de la contaminación del agua por agricultura y actividades afines. pp 188-190. Organización de las naciones unidas para la agricultura y alimentación. Chile.
- GESAMP (Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Enviromental Protection). 1998. Report of the twenty-Eight Session Geneva-Xwitzerland, 20-24 April 1998. p 2. Suiza.
- Jenkins, D. y Snoeyink, V. L. 1980. Introduction, En Water chemistry. pp 14-15. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Madeley, L. y Jiménez, A. 2005. El agua en la naturaleza. En Pavón M (ed.), Principios de Hidrogeografía: Estudio del ciclo hidrológico. pp 11-13. Geografía para el siglo XXI, México.

- Ministerio de Minería, 2002. Conceptos generales. En Guía metodológica sobre drenaje ácido en la industria minera. pp 7-8. Consejo minero, Chile.

- Moreno, M. 1996. Introducción. En Calidad química y contaminación de las aguas subterráneas en España, periodo 1982-1993. pp 9-10. Instituto técnico geominero de España. España.

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación (UNESCO). 2003. Water for people, water for life. En Executive Summary of the UN World Water Development Report. pp 25-26. Francia.

- Universidad de Chile. 2010. Aguas continentales. En Informe país. Estado del Medio Ambiente en Chile. pp .75-79. Gobierno de Chile. Chile.

- Sánchez, A. y Morales, R. 2000. Cuarta región de Coquimbo. En Las regiones de Chile. pp 72-76. Editorial Universitaria, Chile.

- Varó, P. y Segura, M. 2009. Agua de consumo humano, importancia de su calidad, legislación. En J. Penalva, C. Payá, Curso de manipulación de agua de consumo humano. pp 118-120. Textos docentes, Universidad de Alicante. España.

- Vilas, R. 2001. La importancia del control químico del agua en el desarrollo de la industria minera. En La minería en el contexto de la ordenación del territorio. pp 166-168. Roberto Pages editores, Brasil.

ANEXO A: “ Datos enviados por la Dirección General de Aguas”.

Estación: RIO ELQUI EN ALMENDRAL
 Código BNA: 04323001-8
 Altitud: 395 msnm
 Cuenca: RIO ELQUI

FECHA :	Aluminio Total Mg/L Al	Arsénico Total mg/l As	Cobre Total mg/l Cu	Conductividad Específica mhos/cm	Hierro Total mg/l Fe
03-01-02	7,3	0,046	2	460	4,1
02-04-02	2,2	0,043	1,3	491	1,47
02-07-02	5,2	0,055	1,09	402	3,65
11-10-02	21,1	0,08	0,98	380	13,2
03-01-03	13,2	0,08	1,4	324	9,07
12-04-03	2,5	0,004	1,5	435	1,76
11-07-03	2,4	0,03	1	416	1,94
02-10-03	1,3	0,005	0,67	451	0,93
02-01-04	4,4	0,027	0,91	446	3,48
01-06-04	1,5	0,019	0,51	479	1,17
02-08-04	2,1	0,029	0,7	469	1,16
01-10-04	2,3	0,05	0,85	555	1,88
03-12-04	14,8	0,09	0,88	576	10,3
01-02-05	2,7	0,04	0,65	589	1,5
01-04-05	3,5	0,051	0,98	532	1,93
01-06-05	3,6	0,044	0,97	469	2,48
01-08-05	2,7	0,054	0,93	538	1,63
03-10-05	0,8	0,012	0,1	468	0,25
12-12-05	0,1	0,042	0,01	< 351	4,89
01-02-06	2,2	0,018	0,45	400	2,4
01-04-06	1,3	0,02	0,51	437	0,97
01-06-06	1,9	0,039	0,72	459	1,91
01-08-06	2,4	0,034	0,94	447	2,02
02-10-06	2,7	0,048	1	462	3,82
02-12-06	4,1	0,041	1,13	473	2,8
01-02-07	3,1	0,029	0,94	408	2
02-04-07	0,9	0,012	0,23	464	0,35
01-06-07	2,3	0,035	0,99	471	1,59
30-07-07	3,5	0,029	0,84	459	1,55
01-10-07	4,5	0,043	0,79	451	2,99
30-11-07	6,7		1,21	442	7,63
01-02-08	2,9	0,04	0,93	453	2,16
02-04-08	2,5	0,03	1,04	500	1,36
02-06-08	2,4	0,03	1,05	508	1,63
01-08-08	0,7	0,018	0,35	474	0,58
01-10-08	0,2	0,008	0,029	406	0,05
01-12-08	4,7	0,032	0,58	372	3,95
02-02-09	2	0,022	0,59	462	1,22
01-04-09	1	0,013	0,53	491	0,77
10-06-09	10,6	0,054		472	6,24
03-08-09	1,9	0,019	0,75	505	1,02
01-10-09	1,689	0,031	0,678	490	1,709
01-12-09	0,65	0,014	0,362	584	0,449

01-02-10	10,827		0,104		0,793		647		6,91	
01-04-10	0,686		0,023		0,35		578		0,874	
10-06-10	2,73		0,045		0,811		601		1,997	
13-08-10	2,88		0,048		0,781		585		1,517	
13-10-10	2,87		0,052		0,62		639		1,749	
29-11-10	1,431		0,039		0,559		660		1,134	
01-02-11	1,929		0,053		0,586		630		1,243	
01-04-11	1,555		0,053		0,611		678		1,134	
10-06-11	2,432		0,051		0,592		594		1,932	
01-08-11	1,211		0,04		0,515		543		1,049	
03-10-11	2,259		0,04		0,481		589		1,553	
01-12-11	8,974		0,001		0,568		640		4,893	
01-02-12	1,44		0,049	<	0,444		613		0,913	
30-03-12	1,456		0,044		0,403		638		1,079	
08-06-12			0,051		0,462		528		1,241	
07-08-12			0,048		0,42		537		1,31	
12-10-12			0,066		0,388		554		1,897	
14-12-12	1,994		0,038		0,336		577		0,937	

	Mangane so Total		Ph		Sulfato		Temperatura		Zinc Total	
FECHA :	mg/l Mn	l	unid. ph	l	mg/l	l	Grad. C	i	mg/l Zn	l
03-01-02	0,46		8,11		150		17,77		0,17	
02-04-02	0,22		9,49		160		15,33		0,11	
02-07-02	0,41		8,02		100		10,56		0,15	
11-10-02	1,12		7,82		95		14,95		0,3	
03-01-03	0,36		7,55		110		15,9		0,15	
12-04-03	0,27		7,19		125		12,4		0,15	
11-07-03	0,26		7,3		133,587		10,98		0,13	
02-10-03	0,28		8,26		160		15,1		0,09	
02-01-04	0,31		7,49		128,381		19,4		0,13	
01-06-04	0,29		7,54		132,55		12,7		0,09	
02-08-04	0,28		8,17		123,933		11,5		0,13	
01-10-04	0,39		8,18		171,171		15		0,15	
03-12-04	0,48		6,7		186,225		18,8		0,2	
01-02-05	0,28		8,22		185,624		27,2		0,01	
01-04-05	0,39		7,82		183,16		16,9		0,2	
01-06-05	0,36		7,67		152,473		13,6		0,18	
01-08-05	0,32		7,37		179,416		14		0,17	
03-10-05	0,04		8,16		141,809		14,7		0,03	
12-12-05	0,42		8,07		110,106		16,6		0,14	
01-02-06	0,18		7,99		122,213		20,3		0,07	
01-04-06	0,13		7,83		127,472		16,8		0,08	
01-06-06	0,21		8,13		142,847		6,88		0,12	
01-08-06	0,36		8,01		125,4		12,6		0,18	
02-10-06	0,36		8,09		148,2		17,8		0,17	
02-12-06	0,34		7,98		138,512		18,1		0,2	
01-02-07	0,32		8,22		175		20,1		0,19	
02-04-07	0,24		8,35		162,5		18,6		0,06	
01-06-07	0,34		7,9		162,5		11,6		0,19	
30-07-07	0,25		7,81		150		11,8			



01-10-07	0,29		7,44		125		16,12		0,21	
30-11-07	0,53		8,1		150		18,2		0,22	
01-02-08	0,36		8,02		150		18,9		0,12	
02-04-08	0,3		8,07		200		16,4		0,25	
02-06-08	0,39		7,96		200		12,6		0,16	
01-08-08	0,22		7,65		175		10,1		0,02	
01-10-08	0,137		7,89		113		15,3		0,01	<
01-12-08	0,31		7,63		125		19,2		0,15	
02-02-09	0,21		7,56		132,4		21,6		0,012	
01-04-09	0,21		7,67		150,056		18		0,1	
10-06-09	0,47		8,14		139,1		12,47		0,36	
03-08-09	0,32		8,5		144,2		13,2		0,14	
01-10-09	0,4		8		111,385		16		0,131	
01-12-09	0,207		8		184,993		22,3		0,07	
01-02-10	0,602		7,8		164,688		23,2		0,176	
01-04-10	0,226		7,87		170,023		20,33		0,104	
10-06-10	0,476		8,7		174,632		9,1		0,223	
13-08-10	0,453		8,3		174,52		12,77		0,22	
13-10-10	0,459		8,3		213,321		12,3		0,178	
29-11-10	0,328		7,83		211,755		20,9		0,172	
01-02-11	0,267		7,9		220,557		23,9		0,18	
01-04-11	0,31		8,2		211,31		14,4		0,178	
10-06-11	0,466		7,5				13		0,181	
01-08-11	0,376		7,14				10,16		0,172	
03-10-11	0,399		8,28				18,23		0,147	
01-12-11	0,344		8,17				23,16		0,197	
01-02-12	0,303		8,15				22,69		0,151	
30-03-12	0,313		8,69				20,96		0,128	
08-06-12	0,383		8,16				12,52		0,174	
07-08-12	0,405		8,32				12,03		0,157	
12-10-12	0,313		8,75		161,681		12,98		0,161	
14-12-12	0,23		8,23		126,318		21,38		0,142	

RIO ELQUI EN

Estación: ALMENDRAL
 Código BNA: 04323001-8
 Altitud: 395 msnm
 Cuenca: RIO ELQUI

	Aluminio Total		Arsénico Total		Cobre Total		Conductividad Específica		Hierro Total	
FECHA :	Mg/L Al		mg/l As		mg/l Cu		mhos/cm		mg/l Fe	
08-01-02	0,4		0,007		0,04		585		0,09	
09-04-02	0,2		0,009		0,01		583		0,07	
09-07-02	1,7		0,012		0,2		551		0,81	
08-10-02	0,1		0,008		0,02		540		0,07	
03-01-03	0,6		0,006		0,04		381		0,18	
08-04-03	0,2		0,001		0,02		483		0,03	
08-07-03	0,2		0,006		0,07		461		0,09	
17-10-03	0,2		0,025		0,02		476			
13-01-04	0,4		0,006		0,02		492		0,04	
01-06-04	0,2		0,006		0,03		544		0,05	

04-08-04	0,3		0,006		0,03		529		0,05	
01-10-04	0,3		0,006		0,01		550		0,19	
06-12-04	0,3		0,006		0,02		560		0,18	
09-02-05	0,5		0,013		0,03		591		0,1	
04-04-05	0,3		0,011		0,02		571		0,1	
07-06-05	0,5		0,011		0,03		585		0,28	
09-08-05	0,3		0,01		0,03		623		0,12	
12-10-05	0,2		0,009		0,04		642		0,11	
14-12-05	0,5		0,008		0,01		562		0,04	
08-02-06	0,2		0,006		0,01		458		0,04	
05-04-06	0,2		0,006		0,05		528		0,05	
15-06-06	0,3	<	0,007		0,04		531		0,07	
09-08-06	0,3		0,006		0,03		534		0,09	
03-10-06	0,6		0,01		0,14		502		57	
05-12-06	0,6		0,007		0,04		545		0,14	
07-02-07	0,3		0,006		0,06		476		0,15	
18-04-07	0,5		0,007		0,03		495		0,09	
06-06-07	0,3	<	0,005		0,02		520		0,04	
08-08-07	0,9		0,006		0,02		525		0,06	
10-10-07	1,7		0,006		0,03		543		0,11	
13-12-07	0,3		0,006		0,02		537		0,14	
06-02-08	0,4		0,006		0,02		542		0,05	
09-04-08	0,3		0,006		0,02		567		0,03	
04-06-08	0,4		0,006		0,04		582		0,04	
06-08-08	0,3	<	0,005		0,03		588		0,03	
15-10-08	0,1		0,009		0,02		572		0,03	
05-12-08	0,3	<	0,006		0,02		596		0,06	
04-02-09	0,4		0,006		0,02		570		0,08	
03-06-09	0,3	<	0,006		0,03		514		0,04	
02-07-09	0,3	<	0,005		0,03		538		0,03	
07-08-09	0,3	<	0,006		0,03		550		0,05	
07-10-09	0,3	<	0,006		0,01		519		0,03	<
15-12-09	0,3	<	0,005		0,01	<	510		0,03	<
03-02-10	0,3	<	0,006		0,01	<	556		0,05	
14-04-10	0,3	<	0,012		0,01	<	630		0,07	
09-06-10	0,3	<	0,001	<	0,01	<	571		13,424	
11-08-10	0,3	<	0,011		0,01	<	613		0,097	
13-10-10	0,3	<	0,009		0,02	<	624		0,07	
01-12-10	0,3	<	0,01		0,02	<	629		0,049	
09-02-11	0,3	<	0,013		0,02		647		0,12	
06-04-11	0,3	<	0,016		0,02	<	681		0,059	
08-06-11	0,3	<	0,013		0,031		701		0,071	
03-08-11	0,3	<	0,013		0,02	<	671		0,052	
05-10-11	0,3	<	0,012		0,02	<	699		0,02	<
14-12-11	0,3	<	0,013		0,02	<	696		0,062	
14-02-12	0,3	<	0,018		0,041		725		0,212	
09-04-12	0,3	<	0,018		0,02	<	764		0,098	
05-06-12			0,011		0,02	<	712		0,123	
07-08-12			0,011		0,021		668		0,049	
09-10-12			0,014		0,02	<	689		0,02	<
11-12-12	0,5	<	0,011		0,02	<	666		0,049	

	Mangane so Total		Ph		Sulfato		Temperatura		Zinc Total	
FECHA :	mg/l Mn	l	unid. ph	l	mg/l	l	Grad. C	l	mg/l Zn	l
03-01-02	0,05		8,21		212,5		21,41		0,01	<
02-04-02	0,02		9,68		180		20,92		0,01	<
02-07-02	0,27		8,82		160		13,2		0,03	
11-10-02	0,02		7,77		152,5		14,44		0,01	<
03-01-03	0,03		7,69		100		19,1		0,01	
12-04-03	0,05		7,47		115		19,3		0,01	<
11-07-03	0,07		7,52		134,701		15,04		0,02	
02-10-03	0,06		7,94		149,2		16,2		0,01	
02-01-04	0,02		7,94		125,451		18,6		0,01	
01-06-04	0,02		8,02		165,365		15,6		0,01	
02-08-04	0,02		8,3		145,185		13,6		0,01	
01-10-04	0,03		8,29		156,585		14,5		0,01	
03-12-04	0,02		7,11		163,372		15,7		0,01	
01-02-05	0,03		8,19		172,995		14,3		0,01	<
01-04-05	0,04		8,08		166,691		19,5		0,01	<
01-06-05	0,08		7,59		177,702		15,6		0,02	
01-08-05	0,04		7,54		182,561		14,4		0,02	
03-10-05	0,03		8,27		179,643		14,6		0,03	
12-12-05	0,01		8,03		187,062		18,4		0,01	
01-02-06	0,02		8,06		130,795		22,2		0,01	
01-04-06	0,03		7,99		150,095		20,2		0,01	<
01-06-06	0,04		8,25		139,825		7,18		0,01	
01-08-06	0,05		8,03		125,6		14,3		0,01	
02-10-06	0,41		8,19		125,6		14,5		0,03	
02-12-06	0,06		8,29		133,261		16,5		0,05	
01-02-07	0,08		8,15		150		19,1		0,04	
02-04-07	0,03		8,2		425		19,6		0,03	
01-06-07	0,03		8,12		162,5		15,6		0,03	
30-07-07	0,01	<	8,2		150		12,8			
01-10-07	0,01	<	7,88		137,5		14,55		0,05	
30-11-07	0,01		8,3		150		18,1		0,05	
01-02-08	0,01		8,25		162,5		20,3		0,01	
02-04-08	0,03		8,06		187,5		16,9		0,01	
02-06-08	0,03		8,06		200		16,1		0,01	
01-08-08	0,03		8		200		13,9		0,02	
01-10-08	0,01	<	7,96		68		14,1		0,01	<
01-12-08	0,01		7,95		200		18		0,02	
02-02-09	0,03		7,79		158		19,5		0,03	
01-04-09	0,02		8,41		148,7		17,14		0,01	
10-06-09	0,01	<	8,11		148,841		19,8		0,014	
03-08-09	0,03		8,5		150,1		13,7		0,02	
01-10-09	0,01	<	8,3		110,765		16,1		0,01	
01-12-09	0,01	<	7,6		132,372		17,6		0,01	<
01-02-10	0,01		7,9		129,365		18,5		0,01	<
01-04-10	0,01	<	8,07		154,976		21,17		0,01	<
10-06-10	0,133		7,6		160,08		15,7		0,021	
13-08-10	0,021		8,78		163,238		12,66		0,01	<
13-10-10	0,02	<	8,1		180,762		15,1		0,012	

29-11-10	0,02		8,15		179,336		16,5		0,01	<
01-02-11	0,043		8,2		197,034		19,2		0,01	<
01-04-11	0,048		8,5		222,142		19,4		0,01	<
10-06-11	0,032		8,6				15,5		0,011	
01-08-11	0,041		8,53				14,49		0,01	<
03-10-11	0,02	<	8,4				15,76		0,01	<
01-12-11	0,02	<	8,03				18,81		0,01	<
01-02-12	0,079		8,39				21,75		0,01	<
30-03-12	0,074		8,01				19,65		0,01	<
08-06-12	0,102		7,18				16,22		0,011	
07-08-12	0,07		8,21				13,06		0,01	<
12-10-12	0,02	<	8,41		192,356		17,23		0,01	<
14-12-12	0,05		8,4		192,241		20,53		0,01	<

RIO ELQUI EN
PUENTE LAS

Estación: ROJAS (CA)
Código BNA: 04331003-8
Altitud: 0 msnm
Cuenca: RIO ELQUI

	Aluminio Total		Arsénico Total		Cobre Total		Conductividad Específica		Hierro Total	
FECHA :	Mg/L Al		mg/l As		mg/l Cu		mhos/cm		mg/l Fe	
08-01-02	0,3		0,006		0,01		644		0,05	
09-04-02	0,1		0,007		0,01		631		0,05	
09-07-02	2,6		0,008		0,1		627		1,15	
08-10-02	9,5		0,016		0,19		559		5,9	
03-01-03	1,4		0,008		0,04		419		0,75	
08-04-03	0,4		0,035		0,03		512		0,12	
08-07-03	0,6		0,006		0,04		540		0,12	
17-10-03	0,3		0,005		0,03		523		0,07	
13-01-04	0,8		0,006		0,03		542		0,12	
01-06-04	0,3		0,007		0,02		600		0,08	
04-08-04	0,3		0,006		0,04		634		0,21	
01-10-04	0,3		0,006		0,01		600		0,34	
06-12-04	0,5		0,018		0,02		626		1,62	
09-02-05	0,4		0,006		0,03		667		0,07	
04-04-05	0,6		0,009		0,03		609		0,13	
07-06-05	0,6		0,008		0,01		697		0,29	
09-08-05	0,2		0,007		0,02		683		0,08	
12-10-05	0,3		0,007		0,02		680		0,07	
14-12-05	0,3		0,007		0,01		621		0,05	
08-02-06	0,3		0,006		0,02		518		0,11	
05-04-06	0,3		0,005		0,02		636		0,08	
15-06-06	0,3	<	0,006		0,03		601		0,11	
09-08-06	0,4		0,006		0,03		632		0,2	
03-10-06	0,3	<	0,006		0,02		604		0,15	
05-12-06	0,5		0,004		0,03		803		0,07	
07-02-07	0,3	<	0,005		0,03		612		0,15	
18-04-07	0,3		0,006		0,02		596		0,05	
06-06-07	0,3	<	0,005		0,01		602		0,01	

08-08-07	0,5		0,005		0,01		611		0,04	
10-10-07	2		0,005		0,03		616		0,15	
13-12-07	0,4		0,005		0,02		604		0,07	
06-02-08	0,4		0,006		0,01		602		0,05	
09-04-08	0,4		0,006		0,02		661		0,15	
04-06-08	0,5		0,006		0,02		675		0,13	
06-08-08	0,3	<	0,005		0,02		660		0,07	
15-10-08	0,1		0,008		0,011		622		0,03	<
05-12-08	0,5		0,006		0,01		635		0,07	
04-02-09	0,7		0,006		0,01		656		0,09	
03-06-09	0,3	<	0,005		0,03		633		0,22	
02-07-09	0,3		0,006		0,04		653		0,12	
07-08-09	0,3	<	0,004		0,02		813		0,04	
07-10-09	0,3	<	0,004		0,01		650		0,03	<
15-12-09	0,3	<	0,004		0,01		594		0,03	<
03-02-10	0,3	<	0,004		0,01		649		0,1	
14-04-10	0,3	<	0,008		0,01		685		0,04	
09-06-10	0,3	<	0,008		0,02		614		0,073	
11-08-10	0,3	<	0,007		0,01		696		0,097	
13-10-10	0,3	<	0,038		0,019		725		0,173	
01-12-10	0,3	<	0,008		0,02		726		0,106	
09-02-11	0,3	<	0,014		0,02		709		0,02	<
06-04-11	0,3	<	0,011		0,02		756		0,067	
08-06-11	0,3	<	0,007		0,02		871		0,071	
03-08-11	0,3	<	0,013		0,02		753		0,044	
05-10-11	0,3	<	0,008		0,02		805		0,02	<
14-12-11	0,3	<	0,009		0,02		777		0,062	
14-02-12	0,3	<	0,009		0,03		801		0,086	
09-04-12	0,3	<	0,011		0,02		837		0,076	
05-06-12			0,001		0,039		802		0,182	
07-08-12			0,008		0,02		822		0,108	
09-10-12			0,012		0,062		815		0,932	
11-12-12	0,5	<	0,008		0,02		770		0,064	

	Mangane so Total		Ph		Sulfato		Temperatura		Zinc Total	
FECHA :	mg/l Mn	l	unid. ph	l	mg/l	l	Grad. C	l	mg/l Zn	l
03-01-02	0,01	<	8,21		225		22,28		0,01	<
02-04-02	0,01	<	9,58		185		18,8		0,01	<
02-07-02	0,13		8,8		180		17,25		0,03	
11-10-02	0,44		8,3		172,5		21,1		0,07	
03-01-03	0,06		6,95		105		20,7		0,02	
12-04-03	0,05		7,75		115		20,9		0,01	
11-07-03	0,03		8,27		147,224		17,05		0,02	
02-10-03	0,04		7,94		165		21,9		0,02	
02-01-04	0,04		8,68		133,975		22,4		0,01	
01-06-04	0,03		8,01		168,532		14,9		0,01	<
02-08-04	0,03		8,34		169,111		14,9		0,02	
01-10-04	0,03		8,18		173,173		20,8		0,01	<
03-12-04	0,02		7,57		180,812		25,5		0,01	<
01-02-05	0,01		8,26		174,498		19		0,01	
01-04-05	0,03		8		174,651		19,7		0,01	

01-06-05	0,04		7,56	187,056	13,9		0,03	
01-08-05	0,01		8,2	191,137	16		0,01	
03-10-05	0,01		8,17	191,452	22,6		0,01	
12-12-05	0,01		8,23	195,93	24,7		0,01	<
01-02-06	0,01		8,17	168,467	24,3		0,01	
01-04-06	0,01		8,16	173,556	20,9		0,01	<
01-06-06	0,02		8,22	146,39	7,98		0,01	
01-08-06	0,04		7,89	145,6	16,1		0,02	
02-10-06	0,04		8,27	146,894	21,1		0,02	
02-12-06	0,01		8,06	179,214	19		0,01	
01-02-07	0,03		8,19	175	22,9		0,02	
02-04-07	0,01		8,46	175	20,5		0,02	
01-06-07	0,01		8,48	162,5	16,3		0,02	
30-07-07	0,01		8,6	175	14,4			
01-10-07	0,01	<	7,97	187,5	17,1		0,05	
30-11-07	0,02		8,4	162,5	19,5		0,03	
01-02-08	0,01	<	8,54	187,5	24		0,01	<
02-04-08	0,02		8,37	200	21,9		0,01	
02-06-08	0,04		8,47	212,5	17,8		0,01	<
01-08-08	0,01		8,53	200	16,1		0,01	
01-10-08	0,01	<	8,38	118	21,7		0,01	<
01-12-08	0,01		8,38	200	22,2		0,01	
02-02-09	0,02		8,09	165,8	23,9		0,03	
01-04-09	0,03		8,39	162,199	20,8		0,01	
10-06-09	0,03		8,64	165,5	15,84		0,01	
03-08-09	0,02		9,8	161,4	14,4		0,01	
01-10-09	0,01	<	8,6	125,658	17,2		0,01	<
01-12-09	0,01	<	8,4	145,001	21,7		0,01	<
01-02-10	0,01	<	8,4	147,681	21,8		0,01	<
01-04-10	0,01	<	8,06	160,708	23,7		0,01	<
10-06-10	0,02	<	8,6	190,57	17,4		0,01	<
13-08-10	0,01	<	9	180,161	14,3		0,01	<
13-10-10	0,019		8,48	192,218	16		0,01	<
29-11-10	0,034		8,11	181,171	15,9		0,067	
01-02-11	0,02	<	8,2	200,213	20,7		0,01	<
01-04-11	0,023		8,1	227,239	19,2		0,01	<
10-06-11	0,021		8,8		15,1		0,01	<
01-08-11	0,037		8,26		16,6		0,01	<
03-10-11	0,02	<	8,29		21,71		0,01	<
01-12-11	0,023		8,08		18,76		0,01	<
01-02-12	0,061		8,04		17,62		0,01	<
30-03-12	0,043		7,57		20,88		0,01	<
08-06-12	0,04		7,86		12,19		0,01	
07-08-12	0,02	<	7,92		15,59		0,01	<
12-10-12	0,136		8,43	200,428	13,57		0,015	
14-12-12	0,04		8,07	144,912	23,16		0,01	<

Estación: RIO ELQUI EN
 Código BNA: LA SERENA
 Altitud: 04335001-3
 Cuenca: 20 msnm
 RIO ELQUI

FECHA :	Aluminio Total Mg/L Al		Arsénico Total mg/l As		Cobre Total mg/l Cu		Conductividad Específica mhos/cm		Hierro Total mg/l Fe	
08-01-02	0,2		0,005		0,01		1330		0,06	
09-04-02	0,1		0,005		0,01		11380		0,04	
09-07-02	0,5		0,004		0,01		1178		0,1	
08-10-02	1,7		0,007		0,02		787		0,95	
03-01-03	2,3		0,008		0,05		478		1,47	
08-04-03	0,8		0,005		0,03		663		0,78	
08-07-03	0,5		0,007		0,04		644		0,29	
17-10-03	0,6		0,005		0,01		830		0,17	
13-01-04	0,5		0,005		0,01		977		0,1	
01-06-04	0,3		0,005		0,01		853		0,13	
04-08-04	1,3		0,007		0,03		746		1,73	
01-10-04	0,6		0,007		0,01		1081		0,84	
06-12-04	0,7		0,005		0,01		1442		0,4	
09-02-05	0,4		0,006		0,04		1315		0,19	
04-04-05	0,4		0,005		0,01		1232		0,12	
07-06-05	0,9		0,005		0,01		1220		0,5	
09-08-05	1,3		0,006		0,02		1193		0,93	
12-10-05	0,3		0,004		0,02		1464		0,14	
14-12-05	0,5		0,005		0,01		1347		0,07	
08-02-06	0,6		0,006		0,02		711		0,44	
05-04-06	0,9		0,007		0,04		1164		1,26	
15-06-06	0,7		0,008		0,08		770		0,9	
09-08-06	3,7		0,013		0,05		846		5,09	
03-10-06	0,3		0,007		0,01		1035		0,48	
05-12-06	0,7		0,007		0,02		1223		0,21	
07-02-07	0,4		0,006		0,02		1098		0,36	
18-04-07	0,4		0,005		0,01		1084		0,09	
06-06-07	0,3		0,05		0,01		1078		0,3	
08-08-07	0,5		0,006		0,02		995		0,19	
10-10-07	0,9		0,004		0,02		1180		0,19	
13-12-07	0,5		0,006		0,01		946		0,18	
06-02-08	0,7		0,008		0,01		1185		0,45	
09-04-08	0,9		0,007		0,02		1215		0,7	
04-06-08	2,1		0,01		0,04		1020		2,44	
06-08-08	1,1		0,008		0,02		880		1,71	
15-10-08	0,1		0,008		0,01		975		0,06	
05-12-08	0,3	<	0,006		0,01		931		0,13	
04-02-09	0,4		0,007		0,01		1054		0,07	
03-06-09	0,3		0,005		0,03		1072		0,46	
02-07-09	2,7		0,01		0,03		1049		2,06	
07-08-09	1,3		0,007		0,02		1113		0,93	
07-10-09	0,3	<	0,005		0,01	<	1249		0,03	
15-12-09	0,3	<	0,005		0,01	<	1265		0,03	<
03-02-10	0,441		0,006		0,01	<	1351		1,238	
14-04-10	0,3	<	0,004		0,01	<	1366		0,05	
09-06-10	0,3	<	0,005		0,01	<	1187		0,242	
11-08-10	0,3	<	0,004		0,01	<	1295		0,148	
13-10-10	0,3	<	0,005		0,02	<	1334		0,096	

01-12-10	0,3	<	0,004		0,02	<	1370		0,127	
09-02-11	0,3	<	0,006		0,02	<	1592		0,411	
06-04-11	0,3	<	0,003		0,02	<	1740		0,082	
08-06-11	0,3	<	0,005		0,035		1396		0,252	
03-08-11	0,3	<	0,004		0,02	<	1550		0,089	
05-10-11	0,3	<	0,004		0,02	<	1715		0,139	
14-12-11	0,3	<	0,004		0,02	<	1803		0,108	
14-02-12	0,3	<	0,006		0,02	<	1884		0,184	
09-04-12	0,3	<	0,004		0,02	<	1852		0,208	
05-06-12			0,004		0,02	<	347		0,19	
07-08-12			0,002		0,02	<	1906		0,079	
09-10-12			0,005		0,02	<	1865		0,081	
11-12-12	0,5	<	0,005		0,02	<	1914		0,335	

	Manganeso Total		Ph		Sulfato		Temperatura		Zinc Total	
FECHA :	mg/l Mn	l	unid. ph	l	mg/l	l	Grad. C	l	mg/l Zn	l
03-01-02	0,01	<	7,78		350		21,96		0,01	<
02-04-02	0,01	<	9,48		290		22,44		0,01	<
02-07-02	0,01		8,7		287,5		12,1		0,01	<
11-10-02	0,07		8,13		210		15,05		0,01	
03-01-03	0,11		7,27		100		18,9		0,02	
12-04-03	0,09		7,87		180		16,5		0,01	
11-07-03	0,04		8,3		163,645		12,55		0,03	
02-10-03	0,03		8,25		198		17,7		0,01	
02-01-04	0,01		7,45		190,418		19,3		0,01	<
01-06-04	0,02		8,13		215,74		11,9		0,01	<
02-08-04	0,05		8,1		193,432		13,4		0,01	
01-10-04	0,01		7,93		272,129		16,4		0,01	<
03-12-04	0,09		7,26		322,734		20,7		0,01	
01-02-05	0,03		7,92		308,451		21,7		0,01	
01-04-05	0,03		7,75		317,228		17		0,01	<
01-06-05	0,05		7,44		267,561		15,3		0,01	
01-08-05	0,08		6,93		293,449		14,8		0,02	
03-10-05	0,02		7,67		288,199		16		0,01	
12-12-05	0,01		7,78		323,899		18,2		0,01	
01-02-06	0,04		8,04		187,296		19,5		0,01	
01-04-06	0,18		8,02		259,329		16,9		0,01	
01-06-06	0,05		8,35		181,183		7,36		0,01	
01-08-06	0,21		7,96		186,9		15,6		0,05	
02-10-06	0,02		8,06		218		21,4		0,01	
02-12-06	0,02		7,86		275,716		17,1		0,01	
01-02-07	0,06		8,22		312,5		23,6		0,03	
02-04-07	0,02		7,8		300		14,6		0,02	
01-06-07	0,03		7,9		287,5		14,5		0,03	
30-07-07	0,01		8,05		275		18,3			
01-10-07	0,01	<	8,09		287,5		16,9		0,04	
30-11-07	0,01		8,4		225		21,3		0,03	
01-02-08	0,09		7,94		312,5		22,5		0,01	
02-04-08	0,06		8,06		337,5		18,2		0,02	
02-06-08	0,15		7,93		287,5		15,7		0,02	

01-08-08	0,11		8	250	15	0,01	
01-10-08	0,01	<	8,23	133	23,1	0,01	<
01-12-08	0,01		7,68	250	19,4	0,02	
02-02-09	0,01	<	7,93	240,9	25,5	0,03	
01-04-09	0,03		7,77	238,699	17	0,01	
10-06-09	0,15		7,84	233,9	14,89	0,03	
03-08-09	0,08		8,3	233,9	16,8	0,02	
01-10-09	0,01	<	7,9	215,02	17,7	0,01	<
01-12-09	0,01		8,1	260,065	23,5	0,01	
01-02-10	0,108		7,8	245,801	19,2	0,01	
01-04-10	0,01	<	8,11	300,422	19,72	0,01	<
10-06-10	0,022		8,3	274,417	17,8	0,01	<
13-08-10	0,01	<	8,06	288,747	15,22	0,01	<
13-10-10	0,02	<	8,22	306,777	23,6	0,01	<
29-11-10	0,034		7,9	319,524	24	0,01	<
01-02-11	0,062		7,6	362,281	26,8	0,01	<
01-04-11	0,046		7,6		17,2	0,01	<
10-06-11	0,036		8,1		15	0,018	
01-08-11	0,026		7,79		16,22	0,01	<
03-10-11	0,02	<	8,09		22,18	0,01	<
01-12-11	0,02	<	7,68		24,12	0,01	<
01-02-12	0,065		8,02		26,6	0,01	<
30-03-12	0,036		6,39		21,88	0,011	
08-06-12	0,04		7,17		17,62	0,01	<
07-08-12	0,023		7,82		15,79	0,01	<
12-10-12	0,02	<	7,55	393,042	18,47	0,01	<
14-12-12	0,05		7,57	424,78	22,12	0,01	<

ANEXO B: “ P-values de las estaciones de monitoreo analizadas ”.

Conductividad Específica:

	Algarrobal	Almendral	Puente Las Rojas	La Serena
Algarrobal	-	0,000990135	2,93737E-06	8,72398E-07
Almendral	0,000990135	-	2,60102E-06	2,51448E-06
Puente Las Rojas	2,93737E-06	2,60102E-06	-	9,97565E-06
La Serena	8,72398E-07	2,51448E-06	9,97565E-06	-

pH:

	Algarrobal	Almendral	Puente Las Rojas	La Serena
Algarrobal	-	0,021350087	0,01080115	0,33122635
Almendral	0,021350087	-	0,066806247	0,203814523
Puente Las Rojas	0,01080115	0,066806247	-	0,122583159
La Serena	0,33122635	0,203814523	0,122583159	-

Temperatura:

	Algarrobal	Almendral	Puente Las Rojas	La Serena
Algarrobal	-	0,1080169	0,000897343	0,001090895
Almendral	0,1080169	-	0,000504339	0,009598759
Puente Las Rojas	0,000897343	0,000504339	-	0,696995266
La Serena	0,001090895	0,009598759	0,696995266	-

Aluminio:

	Algarrobal	Almendral	Puente Las Rojas	La Serena
Algarrobal	-	0,000294256	3,21552E-05	0,000960926
Almendral	0,000294256	-	0,224085151	0,022042628
Puente Las Rojas	3,21552E-05	0,224085151	-	0,992098383
La Serena	0,000960926	0,022042628	0,992098383	-

Arsénico:

	Algarrobal	Almendral	Puente Las Rojas	La Serena
Algarrobal	-	0,040628849	0,000757019	0,000344675
Almendral	0,040628849	-	0,131253826	0,128017763
Puente Las	0,000757019	0,131253826	-	

Rojas				
La Serena	0,000344675	0,128017763		-

Cobre:

	Algarrobal	Almendral	Puente Las Rojas	La Serena
Algarrobal	-	4,19914E-06	2,12757E-06	3,29175E-06
Almendral	4,19914E-06	-	0,279444168	0,141457333
Puente Las Rojas	2,12757E-06	0,279444168	-	0,268427347
La Serena	3,29175E-06	0,141457333	0,268427347	-

Hierro:

	Algarrobal	Almendral	Puente Las Rojas	La Serena
Algarrobal	-	4,39671E-05	3,30049E-06	0,00067635
Almendral	4,39671E-05	-	0,219087821	0,007916003
Puente Las Rojas	3,30049E-06	0,219087821	-	0,218627633
La Serena	0,00067635	0,007916003	0,218627633	-

Manganeso:

	Algarrobal	Almendral	Puente Las Rojas	La Serena
Algarrobal	-	2,42086E-07	1,43192E-08	1,99296E-06
Almendral	2,42086E-07	-	0,370192221	0,533599159
Puente Las Rojas	1,43192E-08	0,370192221	-	0,374324332
La Serena	1,99296E-06	0,533599159	0,374324332	-

Sulfato:

	Algarrobal	Almendral	Puente Las Rojas	La Serena
Algarrobal	-	0,038733836	0,020667652	1,00578E-05
Almendral	0,038733836	-	0,673849802	5,80966E-06
Puente Las Rojas	0,020667652	0,673849802	-	1,98187E-05
La Serena	1,00578E-05	5,80966E-06	1,98187E-05	-

Zinc:

	Algarrobal	Almendral	Puente Las Rojas	La Serena
Algarrobal	-	3,36859E-08	8,11817E-09	4,50832E-08

Almendra	3,36859E-08	-	0,804654224	0,540961841
Puente Las Rojas	8,11817E-09	0,804654224	-	0,55399378
La Serena	4,50832E-08	0,540961841	0,55399378	-