

UCH-FC  
Q. Ambiental  
C 198  
C 1



FACULTAD DE CIENCIAS

UNIVERSIDAD DE CHILE

**“EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES PARA USO  
AGRÍCOLA EN UNA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL NORTE CHICO,  
EN EL PERÍODO 2003 -2013”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los  
requisitos para optar al Título de:

Químico Ambiental

Carolina Andrea Campos Briones

Director de Seminario de Título: Ing. Claudio Reyes

Profesor Patrocinarte: Dra. Isel Cortés

Septiembre de 2014

Santiago- Chile



**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 candidata:

**CAROLINA ANDREA CAMPOS BRIONES**

**“EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES PARA USO  
AGRÍCOLA EN UNA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL NORTE CHICO,  
EN EL PERÍODO 2003 -2013”**

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de Químico Ambiental.

**COMISIÓN DE EVALUACIÓN**

Ing. Claudio Reyes  
**Director Seminario de Título**

Dra. Isel Cortés  
**Profesor Patrocinante**

M.Cs. Sylvia Copaja  
**Corrector Presidente**

Dr. Antonio Galdamez  
**Corrector**

Santiago de Chile, Septiembre de 2014

FACULTAD DE CIENCIAS  
BIBLIOTECA  
CENTRAL  
UNIVERSIDAD DE CHILE

## RESEÑA



Mi nombre es Carolina, vivo en la comuna de Colina junto a mis padres, Laura y Elsio, y mi hermano Alejandro. Mi familia proviene de un origen muy humilde, por lo que siempre me enseñaron la importancia de estudiar, con el fin de tener mejores oportunidades. Gracias a sus consejos y a su apoyo, el año 2008 ingresé a la Universidad de Chile a estudiar Química Ambiental, carrera por la cual estoy optando al título.

Durante el período académico realicé la Unidad de Investigación en el Laboratorio de Productos Naturales del Departamento de Química de la universidad y desarrollé el trabajo denominado “Aislamiento y determinación estructural de *alpinum* isoflavona y *azorellanol* mediante Espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear”, lo cual me permitió ser parte de la publicación “Further mulinane diterpenoids from *Azorella compacta*”<sup>1</sup>.

Al egresar de la carrera realicé una práctica profesional en Infraestructura y Ecología S.A., colaborando en el proyecto “Análisis crítico de la Red de Calidad de Aguas superficiales y subterráneas de la Dirección General de Aguas”, lo que me permitió desarrollar este Seminario de título.

---

<sup>1</sup> Areche C, Rojas-Álvarez F, Campos-Briones C, Lima C, Pérez E and Sepúlveda B. Further mulinane diterpenoids from *Azorella compacta*. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2013, DOI: 10.1111/jphp.12083

*Dedicado a mis padres por su gran esfuerzo y amor incondicional, a mi hermano por sus consejos y ayuda, a mi novio Mauricio por creer siempre en mis capacidades y ayudarme en mis estudios. Ustedes son un pilar fundamental, sin su constante apoyo y ayuda en todos estos años, jamás podría haber cumplido esta meta.*

*A Dios que hizo todo esto posible*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a Infraestructura y Ecología S.A, especialmente a Don Claudio Reyes, por permitirme desarrollar el Seminario de título, y guiarme durante la realización de éste.

Agradecer a la profesora Isel Cortés por ser parte de este Seminario de título como profesora patrocinante y resolver mis dudas.

Agradecer a la profesora Sylvia Copaja y profesor Antonio Galdamez, por guiarme en la corrección del escrito.

Agradecer a las amigas que conocí en la Universidad, que sin quererlo fueron como hermanas; a Katherine, Yenderi y Francisca. Juntas pasamos muchas alegrías y nos apoyamos unas a otras en los momentos difíciles.

Agradecer a toda mi familia, abuelos, tíos, primos y amigos, en especial a Karla, mi mejor amiga, prima y hermana, quién siempre me animó a seguir adelante.

A todos, gracias por ser parte de este logro.

## INDICE DE CONTENIDOS

I	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Antecedentes generales. ....	3
1.1.1	Disponibilidad y demanda de agua. ....	3
1.1.2	Calidad del agua superficial. ....	4
1.1.3	Presión sobre los recursos hídricos. ....	5
1.1.4	Red de calidad de aguas en Chile.....	7
1.2	Impacto de la actividad agrícola en aguas superficiales.....	9
1.2.1	Contaminación difusa de la agricultura.....	9
1.2.2	Parámetros de interés a estudiar en aguas de regadío. ....	10
1.3	Área de estudio. ....	17
1.3.1	Información general del Norte Chico de Chile. ....	17
1.3.2	Clima.....	17
1.3.3	Relieve.....	18
1.3.4	Hidrografía .....	18
1.3.5	Agricultura .....	20
1.3.6	Cuencas del Norte Chico.....	21
1.4	OBJETIVOS.....	24
1.4.1	Objetivo General. ....	24
1.4.2	Objetivos Específicos.....	24
II	MATERIALES Y METODOS. ....	25
2.1	Materiales. ....	25
2.2	Metodología.....	25
2.2.1	Revisión bibliográfica. ....	25
2.2.2	Elección de la cuenca. ....	27
2.2.3	Recopilación de información de la cuenca de estudio .....	30
2.2.4	Selección de parámetros relevantes a estudiar. ....	31
2.2.5	Análisis estadístico de datos. ....	32
III	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
3.1	Elección de la cuenca. ....	37
3.1.1	Aplicación criterio 1.....	37

3.1.2	Aplicación criterio 2.....	38
3.1.3	Aplicación criterio 3.....	39
3.2	Información General Cuenca del río Huasco. ....	42
3.2.1	Clima.....	44
3.2.2	Características del suelo.....	44
3.2.3	Usos y presiones del recurso hídrico.....	45
3.2.4	Estudios previos de calidad de aguas.....	47
3.3	Parámetros a estudiar en la Cuenca del río Huasco.....	48
3.4	Análisis de datos.....	50
3.4.1	Filtro de parámetros por estadística.....	50
3.4.2	Análisis general de la evolución de calidad de aguas.....	52
3.4.3	Análisis en detalle de la evolución de calidad de aguas.....	61
3.4.4	Comparación de la calidad de aguas en las distintas estaciones de monitoreo.....	100
IV	CONCLUSIONES.....	108
V	REFERENCIAS.....	110
VI	ANEXOS.....	113

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valor máximo parámetros en agua para riego, según NCH 1333.Of78 modificada en 1987.....	12
Tabla 2. Parámetros de interés por su efecto en riego.....	13
Tabla 3. Macronutrientes esenciales .....	15
Tabla 4. Micronutrientes (metales) esenciales .....	16
Tabla 5. Micronutrientes (no metales) esenciales .....	16
Tabla 6. Total Superficie sembrada y regada en el Norte de Chile.....	20
Tabla 7. Cuencas del Norte Chico.....	21
Tabla 8. Interpretación de valores de coeficientes de correlación según su rango .....	35
Tabla 9. Porcentaje superficie agrícola en cuencas del Norte Chico clasificadas en cuartiles .....	37
Tabla 10. Estaciones de calidad de aguas por subcuenca y porcentaje asociado a representatividad en la cuenca. ....	38
Tabla 11. Puntaje por subcuenca y cuenca según Registro de Monitoreo en Estaciones de Calidad de Aguas período 2003-2013.....	40
Tabla 12. Resumen puntaje para selección de la cuenca .....	41
Tabla 13. Demandas de agua en la cuenca del río Huasco .....	46
Tabla 14. Parámetros a estudiar en la cuenca del río Huasco, período 2003-2013.....	48
Tabla 15. Clasificación parámetros en Grupo 1 y Grupo 2.....	51
Tabla 16. Clasificación de las aguas según salinidad (CE) y Relación de adsorción de Sodio (RAS) del agua de riego.....	55
Tabla 17. Clasificación aguas de riego de acuerdo a condiciones de salinidad.....	64

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa Cuencas Hidrográficas III Región de Atacama .....	22
Figura 2. Mapa Cuencas Hidrográficas IV Región de Coquimbo .....	23
Figura 3. Diagrama de cajas y bigotes .....	36
Figura 4. Mapa Cuenca del río Huasco .....	43
Figura 5. Evolución medias anuales de los registros de Conductividad, pH, Temperatura y RAS en aguas superficiales de la Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987. ....	54
Figura 6. Evolución medias anuales de la concentración de Aluminio, Arsénico, Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc en aguas superficiales de la Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987. ....	56
Figura 7. Evolución medias anuales concentración de Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio en aguas superficiales de la Cuenca del río Huasco, período 2003-2013. ....	58
Figura 8. Evolución medias anuales concentración de Fosfato, Sulfato, Cloruro y Nitrógeno en aguas superficiales de la Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987. ....	60
Figura 9. Conductividad específica registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987. ....	63
Figura 10. pH registrado en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987. ....	66
Figura 11. Temperatura registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987. ....	68
Figura 12. RAS en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013. ....	70
Figura 13. Concentración de Aluminio registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987. ....	72
Figura 14. Concentración de Arsénico registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987. ....	74
Figura 15. Concentración de Cobre registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987. ....	76

Figura 16. Concentración de Hierro registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.....	78
Figura 17. Concentración de Manganeso registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.....	80
Figura 18. Concentración de Zinc registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.....	82
Figura 19. Concentración de Calcio registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013. ....	84
Figura 20. Concentración de Magnesio registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013. ....	87
Figura 21. Concentración de Sodio registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013. ....	89
Figura 22. Concentración de Potasio registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013. ....	91
Figura 23. Concentración de Cloruro registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.....	93
Figura 24. Concentración de Sulfato registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013. ....	95
Figura 25. Concentración de Fosfato registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013. ....	97
Figura 26. Concentración de Nitrógeno registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013. ....	99
Figura 27. Diagrama cajas y bigotes: Registro de Conductividad, pH, RAS y Temperatura en aguas superficiales cuenca del río Huasco, período 2003 – 2013.....	101
Figura 28. Diagrama cajas y bigotes: Registro de Aluminio, Arsénico, Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc en aguas superficiales cuenca del río Huasco, período 2003 – 2013. ....	103
Figura 29. Diagrama cajas y bigotes: Registro de Calcio y Magnesio en aguas superficiales cuenca del río Huasco, período 2003 – 2013.....	104
Figura 30. Diagrama cajas y bigotes: Registro de Potasio y Sodio en aguas superficiales cuenca del río Huasco, período 2003 – 2013. ....	105
Figura 31. Diagrama cajas y bigotes: Registro de Cloruro, Sulfato, Fosfato y Nitrógeno en aguas superficiales cuenca del río Huasco, período 2003 – 2013. ....	107

## RESUMEN

El presente Seminario de Título abordó la evolución en la calidad de aguas superficiales de una cuenca del Norte Chico en un período de 11 años, entre los años 2003 y 2013.

Para realizar este proyecto primero se recopilaron antecedentes de las cuencas del Norte Chico, con el fin de seleccionar una cuenca específica, sobre la base de la información disponible de registros de monitoreo de calidad de aguas y superficie destinada a la agricultura. A partir de estos criterios de selección, se determinó que la Cuenca del río Huasco era la más apropiada para ser estudiada, porque presenta estaciones de monitoreo de calidad de aguas en todas sus subcuencas y posee registros asociados cada año en todas estas estaciones de monitoreo.

Una vez determinada la cuenca hidrográfica a estudiar, se realizó una recopilación de información general, donde, entre otras cosas, se logró identificar las presiones y usos del recurso hídrico, tales como: captaciones de agua potable, actividades agrícolas, actividades mineras, vertederos y plantas de tratamientos de aguas servidas.

Se seleccionaron los parámetros relevantes a estudiar en la cuenca, con énfasis en aquellos parámetros que son considerados en la Norma Chilena N°1.333 Of 1978, modificada en 1987, que fija los Requisitos de calidad de agua para distintos usos (uso de agua para riego), y recopilando información bibliográfica de los parámetros que afectan los cultivos y los parámetros incorporados a las aguas superficiales por causa de la agricultura.

Se analizó la evolución de las concentraciones (o registros) de los parámetros seleccionados, se utilizaron correlaciones de Pearson para observar la relación de las concentraciones de parámetros en el tiempo y se utilizó análisis de varianza para establecer diferencias significativas en las medias de los parámetros a lo largo del período de estudio y diferencias de las medias entre las estaciones de monitoreo.

El análisis de calidad de aguas de la cuenca dio cuenta que durante el período de estudio, las concentraciones de Manganeso, Sulfato, Cloruro y registros de Conductividad específica superaron el valor límite que indica la NCh.1.333 (Requisitos de calidad de agua para riego). Los registros de pH, también presentaron algunos datos sobre el umbral de la norma, sin embargo estos datos fueron determinados como valores atípicos (outliers).

Muchos de los parámetros estudiados mostraron un incremento en las concentraciones (o registros) medidos durante el período de estudio. Algunos de estos parámetros corresponden a Conductividad específica y Calcio, Magnesio, Potasio y Cloruro, los cuales presentaron correlación positiva de la concentración (o registros) en el tiempo, en toda la cuenca. Otros parámetros, tales como Cobre, Manganeso y Zinc, presentaron crecimiento de las concentraciones en el tiempo, en las estaciones pertenecientes a la parte alta de la cuenca.

Este trabajo se desarrolló en el marco del proyecto “Análisis crítico de la red de calidad de aguas superficiales y subterráneas”, solicitado por el Departamento de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas, y ejecutado por la empresa Infraestructura y Ecología S.A (Infraeco).

## ABSTRACT

The present Seminar of Qualification is regarding to Surface water quality of a basin located in Norte Chico in a term of 11 years, between 2003 and 2013.

In order to develop this Project, first it had been compiled some information about Norte Chico basins, in order to select an specific basin, over the base of the available information of monitoring records of water quality and surface for agriculture. Based on these selection criteria, was determined that Huasco River basin was the most appropriate to be studied, because it shows monitoring stations for water quality in all its sub basins and exists some records associated each year thanks to monitoring stations mentioned above.

Once it is determined which will be the hydrographic basin to be studied, a compilation of general information had been made, wherein it was possible to detect pressures and uses of hydric resources, such as: abstraction of drinking water, agricultural activities, mining activities, landfills and wastewater treatment.

It was selected the relevant parameters in order to study the basin, with emphasis on those parameters that are considered in the Chilean Standard N°1.333 of. 1978, modified on 1987, which regulate requirements of water quality for several uses (water for irrigation), and compiling bibliographic information of parameters that affect farming and parameters incorporated to surface water due to agriculture.

It was analyzed concentration evolution (records) of selected parameters, using Pearson in order to observe relationship between parameters concentration through time

and it had been used an analysis of variance to establish significant differences regarding to average parameters during study period and average differences between monitoring stations..

The analysis of the basin water quality gave as a result that during the study period, concentrations of Manganese, Sulfate, Chloride and specific conduction exceeded limit value as indicated in Chilean Standard N°1.333 (Requirements of water quality for irrigation). The pH records also showed some data over limit value established in the Chilean Standard mentioned before, however, these information had been determined as outliers.

Some of the studied parameters shown a concentration (or records) increase measured during study period. Some of these parameters are related to Specific Conduction and Calcium, Manganese, Potassium and Chloride, which shown a positive correlation of concentration (or records) through time, in the entire basin. Other parameters, such as Copper, Manganese & Zinc, shown an increase of concentrations through time, according to monitoring stations located at basin high zone.

This investigation had been developed within of Project “Critical Analysis of quality network of Surface & Underground water” required by Conservation and Protection of Hydric Resources Department of Dirección General de Aguas (General Direction of water), and executed by the company Infraestructura y Ecología S.A. (Infraeco).

## I INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural y renovable, esencial para la vida y fundamental para el desarrollo de la humanidad. Sin embargo, sólo se puede aprovechar el 1% de las aguas disponibles, y su distribución no es uniforme en todas las regiones del mundo, dependiendo en muchos casos de las precipitaciones (MMA, 2012).

Esta situación no es ajena en nuestro país, ya que a lo largo del territorio nacional se manifiesta una extensa variedad climática que se produce principalmente por efectos de la latitud, relieve e influencia oceánica. Esto resulta en una alta variación en la cantidad y distribución de las precipitaciones, con promedios anuales de 1 mm en el extremo norte, 360 mm en la zona centro y más de 4000 mm al sur del país (INE, 2014).

En complemento, modelos de cambio climático global suponen el incremento en la temperatura en todo el país, asociados a reducciones en las precipitaciones en las zonas centro y sur, y aumento en el extremo sur, lo cual afecta la disponibilidad del recurso hídrico y la estacionalidad e intensidad de los caudales (Banco Mundial, 2011).

El agua forma parte casi la totalidad de los ecosistemas, y además de consumo humano y uso doméstico, es requerida para el desarrollo de distintas actividades productivas, tales como agricultura, industria, minería, generación de electricidad, etc., procesos en los cuales su cantidad o calidad puede ser alterada por regulación de cauces o por la incorporación de residuos industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas, como fertilizantes y pesticidas (MMA, 2012).

Todos los agentes externos que son incorporados en los cuerpos de aguas, pueden generar un efecto de acumulativo de contaminantes, los cuales resulta difícil reconocer año a año. Sin embargo al estudiar un período de tiempo, es posible evidenciar el estado de la calidad de las aguas.

Por otra parte, la multiplicidad de demandas de aguas, resulta en conflictos por el mismo, lo que requiere un proceso de ordenamiento de este recurso. Para ello es imprescindible contar con una gestión sustentable de los recursos hídricos, que permita el uso adecuado y eficiente del agua, es decir que se pueda compatibilizar el agua para todos los usos que sean necesarios y asegure la cantidad y calidad del recurso en todas las cuencas. También es necesario contar con una red de calidad de aguas representativa que permita establecer la condición actual de cursos y cuerpos de agua, para evaluar su desarrollo en el tiempo y permitir la implementación y control de programas de mejoramiento de la calidad de las aguas.

## **1.1 Antecedentes generales.**

### **1.1.1 Disponibilidad y demanda de agua.**

El documento “Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos”, publicado por el Banco Mundial el año 2011, expone que a nivel nacional el volumen de agua procedente de las precipitaciones que escurre por los cauces es de 53.000 m<sup>3</sup> por persona al año, superando en 8 veces la media mundial de 6.600 m<sup>3</sup> por persona al año. Sin embargo, al conocer los datos de la zona norte se aprecia una gran diferencia, por ejemplo la II Región de Antofagasta cuenta con la menor disponibilidad de agua del país, con 52 m<sup>3</sup> por persona al año, y le sigue la III Región de Atacama con 208 m<sup>3</sup> por persona al año y las regiones I, XV y IV que promedian 937 m<sup>3</sup> por persona al año. La zona centro norte no está lejos de este escenario, ya que las cifras arrojadas dan cuenta que la V Región y Región Metropolitana poseen disponibilidad de 801 y 525 m<sup>3</sup> de agua por persona al año, respectivamente. Una situación radicalmente distinta se vive en la zona sur, donde los máximos valores de disponibilidad del recurso hídrico corresponden a la XI Región de Aysén, con 2.993.585 m<sup>3</sup> por persona al año y XII Región de Magallanes, con 1.959.036 m<sup>3</sup> por persona al año. Esto concuerda con los promedios anuales de pluviosidad de algunas ciudades del país registrados en el “Informe Anual de Medio Ambiente 2012”, publicado por el Instituto Nacional de Estadísticas, donde Arica presenta un promedio anual inferior a 1 mm y Copiapó aproximadamente 20 mm, mientras que en la zona sur el promedio anual fue de 2.500 mm en Valdivia y 4.866 mm en Bahía San Félix.

En general, la relación oferta-demanda de agua está sufriendo un fuerte desequilibrio. Por una parte la demanda de agua se incrementa progresivamente (MMA, 2012); por otra y considerando las tendencias del cambio climático, la oferta del recurso hídrico parece reducirse (Ferrando, 2002).

La variabilidad del volumen de agua proveniente de las precipitaciones que escurre por los ríos agrava la escasez del recurso hídrico en el norte y centro del país. Esta irregularidad se debe a que las cuencas son cortas y con fuerte pendiente, con una variabilidad estacional e inter-anual de lluvias y limitada regulación de los ríos (Banco Mundial, 2011). Por este motivo, en la zona norte las demandas de aguas superan el caudal disponible y en la zona sur la disponibilidad de agua es mucho mayor a la demanda (Banco Mundial, 2011).

### **1.1.2 Calidad del agua superficial.**

Se entiende “calidad natural del agua”, a las concentraciones de elementos observadas cuando un cuerpo de agua posee las características propias del sistema, donde la concentración de un compuesto corresponde a la situación original del agua y sus ecosistemas, no presentando intervención antropogénica. Conocer la calidad natural del agua permite interpretar el estado de un recurso, el cual está determinado por las características químicas, físicas y biológicas. (Cade-Idepe - DGA, 2004).

La composición química de las aguas superficiales está condicionada por factores naturales y factores antropogénicos. Los factores naturales son propios de las características que posea la hoya hidrográfica como lo son: geografía local, régimen de precipitaciones, temperaturas, litología, suelos, volcanismo, hidrogeología, cobertura

vegetal (Grisales, 2010). Los factores antropogénicos son más bien por asentamientos humanos y actividades económicas como: industrias, minería, agricultura, ganadería, silvicultura, e infraestructuras como obras hidráulicas y urbes (Cade-Idepe - DGA, 2004). (Anexos, sección VI.1).

Según lo plantea la American Water Works Association, los factores humanos que inciden en la calidad de las aguas, pueden generar la alteración por impacto puntual o no puntual. Ejemplo de impactos puntuales son las fuentes que evacúan de una tubería u otro punto definido de descarga o emanación, tales como los vertidos de aguas residuales e instalaciones de residuos de riesgo, fugas y desprendimientos. Los impactos no puntuales son más bien fuentes difusas (indefinidas) sobre todas o una parte de la cuenca de agua, como por ejemplo los ciclos de agua agrícola, deposición atmosférica y actividades de recreo (AWWA, 2002).

### **1.1.3 Presión sobre los recursos hídricos.**

El Código de Aguas de Chile, decretado en 1981, establece algunas regulaciones para el acceso y gestión del agua. En su artículo 5° establece que “las aguas son bienes nacionales de uso público y se otorga a los particulares el derecho de aprovechamiento de ellas...”. Gracias a esto, se puede utilizar el agua a través de la extracción del cauce al que pertenece, pudiendo o no regresarla una vez que la hayan utilizado (Cade-Idepe - DGA, 2004). En este cuerpo normativo se establecen dos tipos de derechos de aprovechamiento de aguas: uso consuntivo, en el cual se faculta al titular para consumir totalmente las aguas en cualquier actividad (por ejemplo extracciones de agua para riego, para agua potable y para las actividades industrial y minera); y uso no consuntivo,

el cual permite emplear el agua sin consumirla y obliga a restituirla ( por ejemplo extracción de agua para generación eléctrica, uso industrial, piscicultura, entre otros). Por otra parte menciona que la extracción o restitución se debe hacer en forma que no perjudique los derechos sobre las aguas en cuanto a su cantidad, calidad, oportunidad de uso, entre otras cosas (CNR,, 2013).

La dirección General de Aguas de España define a la incidencia que tiene la actividad humana sobre el estado de un cuerpo de agua como “presión” (Dirección General de Aguas de España, 2005). Las presiones más destacadas ocurren por extracción de agua, descarga de efluentes (puntuales y difusas) y alteraciones morfológicas (MMA, 2012).

En tanto la extracción del recurso hídrico está regulada por el Código de Aguas, la contaminación de la misma por parte descargas de efluentes está regulada por distintas normas. El Decreto Supremo N° 46 del año 2002 establece normas de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas, y el DS 90 del año 2000, contempla las normas de emisión para la regulación de contaminantes asociados a la descarga de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. En complemento, la Norma Chilena 1.333, “Requisitos de calidad del agua para diferentes usos”, publicada en 1978, define los requisitos que debe cumplir la calidad de agua de acuerdo a su uso (consumo humano, para bebida de animales, para riego, para recreación y estética, y vida acuática) para proteger las aguas de las contaminaciones con residuos de cualquier tipo. Sin embargo, esta última norma solo es de carácter referencial y no es vinculante u obligatoria.

La presión en las aguas se debe a alteraciones morfológicas, las cuales corresponden a obras que modifican el sistema fluvial, tales como diques o represas menores, caídas y rampas, infraestructura vial, modificación de cauces, canalización o entubamiento del flujo de agua y la construcción de embalses, los cuales alteran el caudal afectando los cuerpos de aguas y la calidad biológica del recurso hídrico. Debido a esta alteración morfológica, el río se ve obligado a cambiar su estado de equilibrio, con consecuencias e influencia en sitios alejados del área donde sucedió el cambio. (MMA, 2012).

La utilización del agua en algunas zonas del país ha provocado diversas confrontaciones entre distintos actores, principalmente comunidades agrícolas o indígenas frente a industrias mineras, agrícolas o bien de generación eléctrica. El documento “Conflictos del agua en Chile”, del año 2012, reconoce 13 conflictos individuales en la zona norte del país, entre los que destacan conflictos por agotamientos del recurso hídrico en acuíferos, salares, ríos, contaminación de cuerpos de aguas, extracción de aguas desde glaciares, entre otros.

#### **1.1.4 Red de calidad de aguas en Chile**

En la actualidad existe una red de calidad de aguas que controla la calidad de las aguas superficiales continentales, y está a cargo del Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas. La red de calidad de aguas superficiales y subterráneas registra datos desde la década de 1960, y actualmente cuenta con 452 estaciones vigentes, las cuales son muestreadas entre tres a cuatro veces

por año, y cuyas muestras son analizadas en el Laboratorio Ambiental de la DGA, para luego incorporar los reportes al Banco Nacional de Aguas (BCN) (Infraeco, 2014).

En 1984 se realizó el estudio “Análisis críticos de la Red Fluviométrica Nacional. Red de Calidad de Aguas”, cuyo objetivo fue diseñar una red que permitiera conocer el estado de la calidad del agua en sus estado natural y por efecto de impacto de la actividad humana. Para ello se establecieron puntos de muestreos, frecuencia y parámetros a medir y se definió y clasificó las estaciones de monitoreo como: base, impacto, prevención y verificación (SAG, 2005).

Hoy en día, debido al desarrollo que ha experimentado cada cuenca hidrográfica en cuanto a impactos y presiones al recurso hídrico, es que ha surgido la necesidad de redefinir la red de calidad de aguas. Por ello la DGA en apoyo de la consultora Infraeco S.A. desarrolló el estudio “Análisis crítico de la Red de Calidad de Aguas Superficiales y Subterráneas de la DGA” con el fin de establecer una propuesta de reformulación de la red de monitoreo a nivel nacional. En este documento se establece un diagnóstico de la red actual a partir del análisis estadísticos de la serie de datos de monitoreo y de las características actuales de cada cuenca. Luego en la propuesta de reformulación de la red se establecen los criterios para definir las estaciones según tipo de propósito (base u observación, seguimiento y control), definir las estaciones según continuidad (permanente o eventual), definir los parámetros a medir en cada subcuenca y la frecuencia de monitoreo de cada parámetro (Infraeco, 2014)

## **1.2 Impacto de la actividad agrícola en aguas superficiales**

### **1.2.1 Contaminación difusa de la agricultura**

La actividad agrícola es un tipo de contaminación difusa que genera pequeños aportes individuales, casi imperceptibles y provenientes de diversos sitios, repitiéndose por largos períodos de tiempo, que provoca gran impacto al medio ambiente, al generar un efecto acumulativo que puede afectar toda la cuenca (González, 2007).

Los principales cambios que genera la actividad agrícola en las aguas superficiales están relacionados con el incremento en la concentración de nutrientes, como fósforo y nitrógeno (González, 2007). Estos elementos están presentes en fertilizantes comúnmente requeridos en agricultura y la contaminación se produce cuando se utilizan en mayor cantidad de la que pueden absorber los cultivos o cuando se eliminan por acción del agua o del viento antes que puedan ser absorbidos. Luego, este exceso de nutrientes puede lixiviar a las aguas subterráneas o pueden escurrir a las aguas superficiales, provocando eutrofización (FAO, 2002).

Otros cambios en las aguas superficiales por la agricultura son el aumento de sólidos suspendidos (partículas minerales y orgánicas) y sedimentables, la presencia de residuos de plaguicidas, ya sea disueltos o insolubles, adheridos a sólidos suspendidos o sedimentables; y la reducción del oxígeno disuelto (González, 2007).

El informe “Generación de información base para la evaluación de normas de calidad ambiental y emisión: Revisión y actualización sobre tecnologías y costos de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos”, elaborado por AMPHOS 21,

expone que la actividad agrícola, en el cultivo de cereales, hortalizas, legumbres, productos de viveros, cultivo de frutas, nueces y plantas de hojas que se secan para crear bebidas y especias, genera aguas residuales con algunos parámetros característicos, tales como DBO<sub>5</sub>, Nitrógeno total, Fósforo total, Azufre, Carbono orgánico total (COT), Halógenos orgánicos absorbibles (AOX) y Pesticidas organoclorados y organofosfatados. También expone que el cultivo de productos agrícolas en combinación con la cría de animales agrega otros parámetros característicos en las aguas residuales a los antes mencionados, entre ellos se encuentra el Sulfuro, Cobre y Zinc.

El “Manual para la identificación de las presiones y análisis del impacto en aguas superficiales” de la Dirección General de aguas del Ministerio del Medio Ambiente de España, menciona la relación de las presiones difusas con Corine Land Cover 2000, estableciendo que en terrenos regados permanentemente que presentan cultivos herbáceos, arrozales, viñedos, frutales, cítricos, entre otros, existen los siguientes contaminantes potenciales: biocidas, fitosanitarios, sólidos en suspensión, eutrofizantes (nitratos y fosfatos), consumidores de oxígeno (DBO<sub>5</sub> o DQO), Alaclor, Atrazina, Clorfenvinfos, Clorpirifos, Dicofol, Diuron, Endosulfan, Endrín, HCH, Isoproturon, Metoxiclor, Metolachloro, Simazina, Terbutilazina y Trifluralina.

### **1.2.2 Parámetros de interés a estudiar en aguas de regadío.**

Las aguas utilizadas en el riego deben contener algunas características en cuanto a calidad y cantidad para obtener un gran desarrollo agrícola en una zona. Los principales problemas en suelos derivados de una calidad de agua de riego deficiente son la salinidad, disminución de tasa de infiltración, toxicidad de iones específicos, exceso

de nutrientes y dureza del agua. El exceso de sales solubles en aguas provoca una acumulación en raíces y afecta negativamente a los cultivos, al reducir la disponibilidad agua-suelo, disminuir el crecimiento y restringir el desarrollo de las raíces. Los parámetros que permiten evaluar la salinidad son la conductividad específica (CE) y los sólidos disueltos totales (SDT). El agua de riego genera un problema de infiltración cuando el agua permanece en la superficie del suelo mucho tiempo o se infiltra demasiado lento para abastecer a las plantas, por lo que es necesario estudiar la baja salinidad del agua y la razón de adsorción de sodio (RAS). Los problemas de toxicidad se producen si ciertos iones son captados por la planta y acumulados hasta provocar daños a las cosechas y reducción de rendimiento, por ejemplo compuestos que contengan sodio, cloruro o boro. Por otra parte algunos elementos metálicos traza también son importantes por su toxicidad, si bien algunos son esenciales (tales como Hierro, Manganeso, Molibdeno y Zinc), su alta concentración podría reducir su crecimiento (SAG, 2005).

Otros parámetros relevantes a estudiar en agua de regadío se presentan en la Norma Chilena 1333 “Requisitos de calidad del agua para diferentes usos”. Esta norma, en su apartado de Requisitos del agua para riego, fija algunos requerimientos fisicoquímicos, los cuales se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1. Valor máximo parámetros en agua para riego, según NCH 1333.Of78 modificada en 1987.**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor máximo</b>
pH		5,5 - 9
Temperatura	°C	-
Conductividad específica	μS/cm	-
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	-
RAS		-
Pesticidas		-
Coliformes fecales	coliformes fecales /100 mL	1000
Aluminio	mg/L	5,00
Arsénico	mg/L	0,10
Bario	mg/L	4,00
Berilio	mg/L	0,10
Boro	mg/L	0,75
Cadmio	mg/L	0,010
Cianuro	mg/L	0,20
Cloruro	mg/L	200,00
Cobalto	mg/L	0,050
Cobre	mg/L	0,20
Cromo	mg/L	0,10
Fluoruro	mg/L	1,00
Hierro	mg/L	5,00
Litio	mg/L	2,50
Litio cítricos	mg/L	0,075
Manganeso	mg/L	0,20
Mercurio	mg/L	0,001
Molibdeno	mg/L	0,010
Níquel	mg/L	0,20
Plata	mg/L	0,20
Plomo	mg/L	5,00
Selenio	mg/L	0,020
Sodio porcentual	%	35,00
Sulfato	mg/L	250,00
Vanadio	mg/L	0,10
Zinc	mg/L	2,00

(NCh.1333.Of78, modificada en 1987)

En el informe “Criterios de Calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego” elaborado por la Universidad de Chile y publicado en el 2005 por el Servicio Agrícola Ganadero, se identificaron una serie de parámetros de interés para analizar, según la situación chilena, respecto al requerimiento de normativas o guías para aguas de regadío. En la Tabla 2 se listan los compuestos de interés y se resume su efecto en el riego.

**Tabla 2. Parámetros de interés por su efecto en riego**

<b>Parámetro</b>	<b>Efecto en riego</b>
<b>Aluminio</b>	La toxicidad del aluminio en plantas puede producir deficiencia de fósforo con impedimento de crecimiento, madurez tardía, hojas pequeñas y color púrpura o puede producir deficiencia de calcio que genera enroscado de hojas jóvenes. Generalmente afecta primero al sistema de raíces donde se acumula en el protoplasma de las células vivas y en el núcleo.
<b>Arsénico</b>	Aunque concentraciones muy bajas de arsénico estimula el crecimiento de la planta, éste no es un elemento esencial y a altas concentraciones disminuye el rendimiento de cultivos. El efecto principal en las plantas es la destrucción de la clorofila en el follaje como una consecuencia de inhibición de producción de enzimas.
<b>Boro</b>	Los límites entre la deficiencia y toxicidad del boro son muy estrechos y varía bastante en una planta y otra. La toxicidad se caracteriza por el crecimiento lento, malformación de la hoja, colores café y amarillento, clorosis, necrosis, incremento del moho, marchites e inhibición de germinación de polen.
<b>Cloruro</b>	En efecto del cloruro en plantas varía según el rango de concentración en que se encuentre y según la sensibilidad de los cultivos, podría provocar daños en la hoja y disminución del rendimiento.
<b>Cobalto</b>	Bajas concentraciones de cobalto refuerza el crecimiento en una gran variedad de plantas, mientras que altas concentraciones resultan tóxicas. Generalmente no se acumula en las partes comestibles de las plantas a niveles dañinos para los consumidores.
<b>Cobre</b>	A pesar de ser un elemento esencial para la vida de la planta, según la US EPA, concentraciones de 100 a 1000 µg/L ha sido tóxica para un



<b>Parámetro</b>	<b>Efecto en riego</b>
	gran número de plantas, siendo su principal efecto la reducción del rendimiento y falla de los cultivos.
<b>Dureza</b>	Las aguas duras (con elevados niveles de calcio y magnesio) tienden a formar depósitos de CaCO <sub>3</sub> o incrustaciones de tuberías de riego, mientras que las aguas blandas generan corrosión del metal y concreto en equipos de riego.
<b>Mercurio</b>	Generalmente se acumula en las raíces, tallos y hojas de las plantas. Puede producir retardo e inhibición en el crecimiento de plantas, a altas concentraciones causa pérdida en los brotes de especies sensibles, afecta en procesos fisiológicos y biológicos, reduce la capacidad y contenido de clorofila, provoca amarilleo de las hojas y tallos rojizos.
<b>Molibdeno</b>	Es un elemento esencial en plantas, pero su alta concentración en aguas de regadío afecta debido a que es un compuesto muy absorbido y concentrado por las plantas, y si bien rara vez su alta concentración retrasa el crecimiento de planta, si afecta a los animales rumiantes que se alimentan de estas plantas, provocando efectos tóxicos.
<b>Plomo</b>	La toxicidad del plomo en plantas difiere con las especies de plantas, en algunas puede afectar el crecimiento y decoloración, mientras que en otras plantas la misma concentración del metal no tiene efecto alguno.
<b>Sólidos suspendidos y turbiedad</b>	La presencia de sólidos suspendidos (SS) puede impedir el brote de semillas, interferir en la actividad fotosintética y crecimiento. También puede producir obstrucción de componentes mecánicas de sistemas de riego.
<b>Sulfato</b>	Contribuye a la salinidad, conductividad, y sólidos disueltos del agua de riego
<b>Zinc</b>	Es un elemento esencial en plantas, sin embargo en cultivos sensibles puede ser tóxico, afectando en el rendimiento.

(SAG, 2005.)

Por otra parte si se quiere conocer el efecto positivo que tienen ciertos parámetros en el crecimiento de plantas, la “Guía Práctica para la fertilización racional de los cultivos en España”, publicada el año 2009 por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural

y Marino de España, indica que para el correcto desarrollo vegetal (germinación, crecimiento, fotosíntesis y reproducción) son imprescindibles al menos 14 elementos químicos. En la Tabla 3 se muestran los macronutrientes necesarios.

**Tabla 3. Macronutrientes esenciales**

<b>Macronutrientes</b>	<b>Efectos positivos en plantas</b>
<b>Nitrógeno</b>	Absorbidos como $\text{NO}_3^-$ y $\text{NH}_4^+$ . Se considera un factor de crecimiento y desarrollo en la planta, necesario para la formación de aminoácidos, proteínas y enzimas.
<b>Fósforo</b>	Absorbido como $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . Estimula el desarrollo de las raíces y favorece la floración y cuajado de los frutos. Interviene en el transporte, almacenamiento y transferencia de energía, y forma parte de fosfolípidos y enzimas.
<b>Potasio</b>	Absorbido como $\text{K}^+$ . Mejora la actividad fotosintética, aumenta la resistencia de la planta a la sequía, heladas y enfermedades, promueve la síntesis de lignina, favoreciendo la rigidez y estructura de las plantas, participa en la formación de proteínas.
<b>Azufre</b>	Absorbido como $\text{SO}_4^{2-}$ . Es componente de aminoácidos azufrados (cisteína y metionina). Forma parte de las proteínas, coenzimas y glicósidos.
<b>Calcio</b>	Absorbido como $\text{Ca}^{+2}$ . Necesario en la división y crecimiento de la célula. Elemento estructural de paredes y membranas celulares y es básico para la absorción de elementos nutritivos.
<b>Magnesio</b>	Absorbido como $\text{Mg}^{+2}$ . Forma parte de la molécula de clorofila siendo esencial para la fotosíntesis. Activa numerosas enzimas del metabolismo de proteínas y glúcidos. Es constituyente de paredes celulares.

(Ministerio del Medio Ambiente y Medio rural y Marino de España, 2009.)

En la Tabla 4 y Tabla 5 se observan los micronutrientes esenciales. Los micronutrientes metálicos se absorben como cationes divalentes o quelatos.

**Tabla 4. Micronutrientes (metales) esenciales**

<b>Micronutrientes</b>	<b>Efecto en la planta</b>
<b>Hierro</b>	Interviene en la síntesis de clorofila y en la captación y transferencia de energía en la fotosíntesis y en la respiración.
<b>Manganeso</b>	Ligado al Hierro en la formación de clorofila. Participa en el metabolismo de hidratos de carbono.
<b>Zinc</b>	Fundamental en la formación de auxinas (hormonas del crecimiento). Interviene en la síntesis de ácidos nucleicos, proteínas y vitamina C.
<b>Cobre</b>	Participa en la fotosíntesis y metabolismo de proteínas.
<b>Molibdeno</b>	Interviene en la fijación de nitrógeno y transformación de nitratos al interior de la planta.
<b>Níquel</b>	Actúa en la ureasa.

(Ministerio del Medio Ambiente y Medio rural y Marino de España, 2009.)

**Tabla 5. Micronutrientes (no metales) esenciales**

<b>Micronutrientes</b>	<b>Efecto en la planta</b>
<b>Boro</b>	Absorbido como $H_2BO_3^-$ . Interviene en el transporte de azúcares. Participa en la regulación interna del crecimiento, en la absorción del agua, síntesis de ácidos nucleídos, y mantenimiento de la membrana celular.
<b>Cloro</b>	Actividad ligada a la fotosíntesis y participa en el mantenimiento de la turgencia.

(Ministerio del Medio Ambiente y Medio rural y Marino de España, 2009.)

### **1.3 Área de estudio.**

#### **1.3.1 Información general del Norte Chico de Chile.**

El Norte Chico lo integra la III de Atacama y la IV región de Coquimbo.

La región de Atacama se ubica entre los paralelos 26°00' y 29° 20' de latitud sur, y desde el meridiano 68° 17' de longitud oeste hasta el océano Pacífico. Tiene una superficie de 75.176,2 km<sup>2</sup> y está dividida administrativamente en tres provincias; Copiapó, Huasco y Chañaral (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile [BCN]<sub>a</sub>, s.f.).

La región de Coquimbo se ubica entre los paralelos 29° 20' y 32° 15' de latitud sur y desde los 69° 49' de longitud oeste hasta el océano Pacífico. Su superficie total es de 40.579,9 km<sup>2</sup> y está dividida administrativamente en tres provincias: Elqui, Limarí y Choapa (BCN<sub>b</sub>, s.f.).

#### **1.3.2 Clima**

Esta zona puede ser dividida en dos grandes espacios climáticos, separados por una línea que se ubica aproximadamente en el interfluvio que separa las hoyas de la Quebrada de los Choros y el río Elqui. Al norte todos los meses del año deben calificarse como secos y hacia el sur aparecen meses subhúmedos y húmedos (Antonioletti, 1972).

Las precipitaciones irregulares unidas a las condiciones semiáridas del clima provocan un tipo de alimentación fluvial mixto producto de las precipitaciones sólidas caídas en la cordillera y las lluvias que caen durante el transcurso del año. En esta zona existen abundantes acuíferos, o reservas subterráneas de agua que permiten la

subsistencia de la agricultura, y de las diferentes actividades y asentamientos humanos (BCN<sub>c</sub>, s.f.).

### **1.3.3 Relieve**

La Cordillera de los Andes es alta y maciza, se presenta con grandes alturas sobre los 6.000 metros. El sector precordillerano tiene alturas medias entre 3.000 y 4.500 metros y hacia el sur presenta un conjunto de serranías en sentido transversal (BCN<sub>a</sub>, s.f.).

En general el relieve de esta zona se caracteriza por la alternancia sucesiva de cordones montañosos y valles de sentido transversal. Las alturas promedio de estos cordones varían entre 600 y 1.200 metros. La Cordillera de la Costa es discontinuada, por la presencia de cordones transversales, dando cabida a planicies costeras. La depresión intermedia se interrumpe por los valles transversales que encierran valles fluviales (BCN<sub>b</sub>, s.f.).

Todos los cauces se encuentran sobre formaciones geológicas constituida por depósitos no consolidados y rellenos de depósitos fluviales; gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas y llanuras de inundación (Cade-Idepe - DGA, 2004).

### **1.3.4 Hidrografía**

En general la hidrografía de una zona se relaciona con factores como clima y relieve, los cuales influyen en aspectos como régimen y caudal.

La presencia de nieves en las altas cumbres unidas a las lluvias permite el desarrollo de cursos de aguas con régimen de alimentación pluvionival. La variación en las precipitaciones sólidas y líquidas condiciona el escurrimiento de agua todo el año.

El río Copiapó posee una hoya hidrográfica de 18.000 km<sup>2</sup>, la cual nace de los afluentes Jorquera, Pulido y Manflas. La presencia de terrazas fluviales y sectores de vega con abundante agua permiten que el río sea utilizado para faenas agrícolas

El río Huasco tiene una hoya hidrografía de 9.850 km<sup>2</sup> y presenta régimen de alimentación mixto. Se origina por la unión del río Tránsito y el río Carmen (BCN<sub>b</sub>, s.f.).

Los ríos Elqui, Limarí y Choapa son los más importantes de la región; todos ellos nacen en la Cordillera de Los Andes y desembocan en el mar.

El río Elqui posee una hoya hidrográfica de 9.826 km<sup>2</sup>. Sus principales tributarios, en época de deshielo, son el río Turbio y Claro. La utilización de sus aguas es aprovechada principalmente en el regadío del valle del Elqui y para consumo humano de las principales ciudades de la región, La Serena, Coquimbo y Vicuña.

El río Limarí posee una hoya hidrográfica de 11.697 km<sup>2</sup>. Algunos de sus tributarios son los ríos Hurtado, Grande y Guatulame. Destacan en su estructura la regulación de sus aguas por los embalses de Recoleta, La Paloma y Cogotí. Estas se utilizan para el riego de los cultivos que se desarrollan en los valles y en la producción de hidroenergía en la central Los Molles.

### 1.3.5 Agricultura

Según el Informe Anual del Medio Ambiente 2012, elaborado por el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2014), en el Norte Chico se desarrolla gran parte de actividad agrícola del norte del país (86,1%). En la Tabla 6 se detalla el total de superficie sembrada y regada en el Norte de Chile, entre la I y IV Región, incluyendo la XV Región de Arica y Parinacota. En la Región de Atacama la superficie sembrada corresponde al 41,8 % del total de superficie agrícola sembrada en el Norte del país, y en la región de Coquimbo la superficie alcanza el 44,3%. Por consiguiente también registran los mayores porcentajes de superficie regada por distintos sistemas de riego, siendo de 17,8% en la región de Atacama y 68,9% en la región de Coquimbo (INE, 2014).

**Tabla 6. Total Superficie sembrada y regada en el Norte de Chile**

Región		total superficie sembrada (Hectáreas)	Superficie sembrada (%)	Total superficie regada 2007 (Hectáreas)	Superficie regada (%)
XV	Arica y Parinacota	200.999,0	2,2	11.167,9	10,2
I	Tarapacá	325.415,5	3,6	1.133,2	1,0
II	Antofagasta	720.069,8	8,0	2.295,6	2,1
III	Atacama	3.769.721,5	41,8	19.544,9	17,8
IV	Coquimbo	3.997.303,6	44,3	75.708,6	68,9
<b>TOTAL</b>		<b>9.013.509,4</b>	<b>100</b>	<b>109.850,2</b>	<b>100</b>

(INE, 2014).

### 1.3.6 Cuencas del Norte Chico

En la Tabla 7 se muestra un listado con las cuencas presentes en la III y IV región, y en las Figura 1 y Figura 2, se muestra un mapa con la ubicación de las cuencas del Norte Chico.

**Tabla 7. Cuencas del Norte Chico**

<b>Región</b>	<b>Código Cuenca</b>	<b>Nombre Cuenca</b>
III Región de Atacama	30	Endorreicas entre Frontera y Vertiente del Pacífico
	31	Costeras Quebrada Pan de Azúcar - Río Salado
	32	Río Salado
	33	Costeras e Islas R. Salado-R. Copiapó
	34	Río Copiapó
	35	Costeras entre R. Copiapó y Q. Totoral
	36	Q. Totoral y Costeras hasta Q. Carrizal
	37	Quebrada Carrizal y Costeras hasta R. Huasco
	38	Río Huasco
	39	Costeras e Islas entre R. Huasco y Cuarta Región
IV Región de Coquimbo	40	Costeras e Islas entre Tercera Región y Q. Los Choros
	41	Río los Choros
	42	Costeras entre R. Los Choros y R. Elqui
	43	Río Elqui
	44	Costeras entre Elqui y Limarí
	45	Río Limarí

Región	Código Cuenca	Nombre Cuenca
IV Región de Coquimbo	46	Costeras entre R. Limarí y R. Choapa
	47	Río Choapa
	48	Costeras entre R. Choapa y R. Quilimarí
	49	Río Quilimarí

(Infraeco, 2014.)

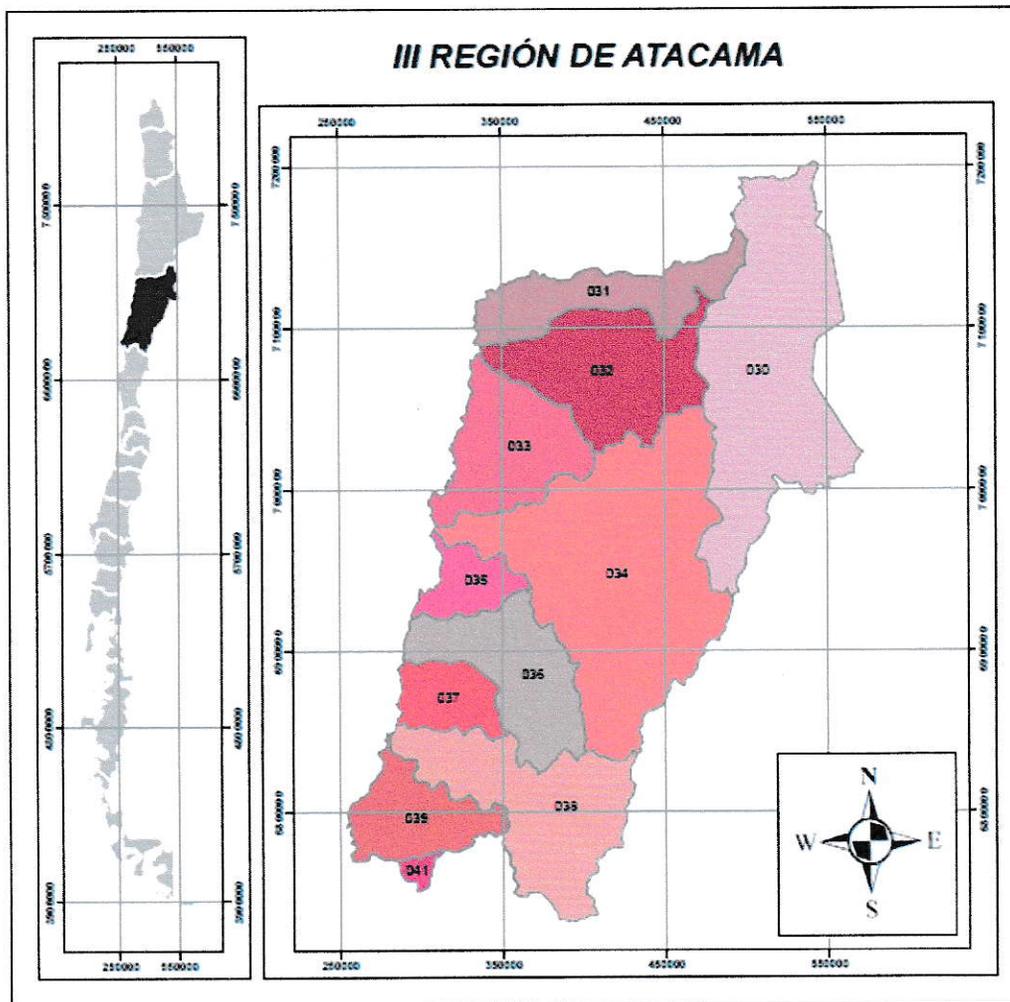


Figura 1. Mapa Cuencas Hidrográficas III Región de Atacama



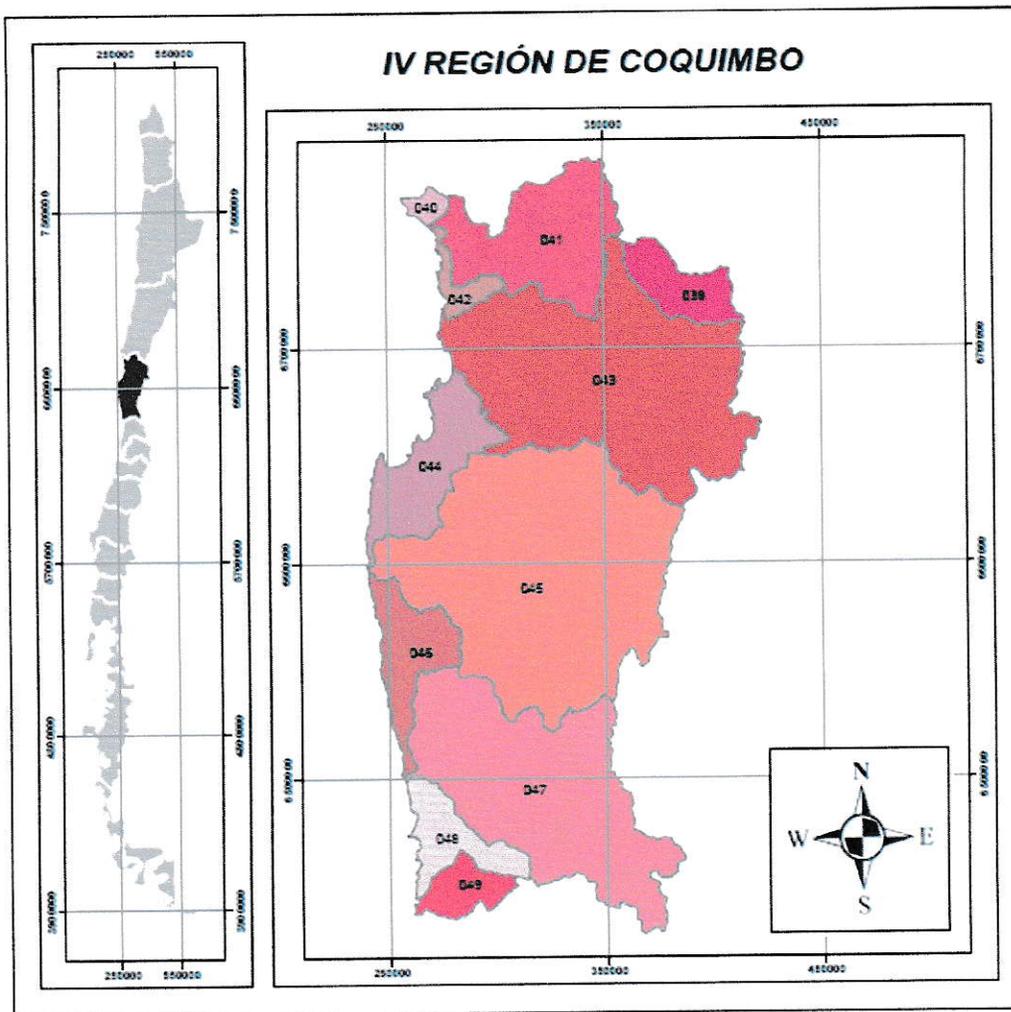


Figura 2. Mapa Cuencas Hidrográficas IV Región de Coquimbo

## **1.4 OBJETIVOS.**

### **1.4.1 Objetivo General.**

Analizar la evolución temporal de un conjunto de parámetros que inciden en la calidad de aguas superficiales para uso agrícola, en una cuenca hidrográfica del Norte Chico.

### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

- Recopilar antecedentes de las cuencas hidrográficas del Norte Chico y seleccionar una cuenca hidrográfica para análisis en base a factores relevantes y disponibilidad de información.
- Recopilar información general de la cuenca seleccionada, estudios previos de calidad de aguas, e identificar presiones y usos del recurso hídrico
- Evaluar y seleccionar los parámetros relevantes a analizar en la cuenca hidrográfica de estudio.
- Analizar la evolución histórica de los parámetros de calidad de aguas en la cuenca.

## **II MATERIALES Y METODOS.**

### **2.1 Materiales.**

Se trabajó con los antecedentes de las Estaciones de Monitoreo de Calidad de Aguas, proporcionados por la Dirección General de Aguas. Estos antecedentes incluyen: código de la estación, nombre, ubicación administrativa (región, provincia, comuna), ubicación territorial (cuena, subcuena y subsubcuena), vigencia, registros asociados (fecha de medición, parámetros y valor registrado).

También se utilizaron otros antecedentes e información específica de la zona de estudio:

- Censo Agropecuario y Forestal, año 2007. Oficina de Planificación Agraria.
- Norma Chilena 1.333. Of78. Modificada en 1987, Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Instituto Nacional de Normalización.
- Coberturas digitales de hidrografía a nivel nacional, en formato shapefile, proporcionadas por la Dirección General de Aguas.

### **2.2 Metodología.**

#### **2.2.1 Revisión bibliográfica.**

Se realizó una revisión bibliográfica sobre la temática de recursos hídricos: disponibilidad, demanda y calidad de las aguas superficiales. Para ello se revisaron los siguientes antecedentes

- Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Banco Mundial, Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Región para América Latina y el Caribe. 2011.
- Informe del Estado del Medio Ambiente. Ministerio del Medio Ambiente. 2012.

- Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Dirección General de Aguas - Cade-Idepe. Santiago, Chile. 2004
- Calidad y tratamiento del agua: Manual de suministros de agua comunitaria. American Water Works Association. 5° Ed. Madrid: McGraw Hill, 2002. pág. 206-217.
- Cuenca del Río Limarí, Chile Semiárido: Aspectos de la Oferta y Demanda de Agua. Revista de Geografía Norte Grande N°30, pág. 23 a 44.
- Manual del Regante, 2013. Ministerio de Agricultura, Comisión Nacional de Riego, Chile. 2013.
- Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego. Servicio Agrícola y Ganadero – Universidad de Chile, 2005.
- Código de aguas. Publicada en 1981, modificada en 2013

Se investigó sobre las presiones sobre los cuerpos de aguas, específicamente el impacto de la agricultura. Se profundizó en los parámetros que son incorporados por la actividad agrícola, los parámetros que generan consecuencia positiva y negativa en las plantas y los requisitos que deben tener el agua de regadío. La información se obtuvo de los siguientes antecedentes:

- La calidad del agua para la agricultura. Food and Agriculture Organization.1985
- Agricultura Mundial: hacia los años 2015/2030. Food and Agriculture Organization. 2000
- Generación de información base para la evaluación de normas de calidad ambiental y emisión: Revisión y actualización sobre tecnologías y costos de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos. Ministerio del Medio Ambiente - AMPHOS<sup>21</sup>, Santiago, Chile, 2014.
- Contaminación difusa de las aguas. Revista Tierra Adentro N°77, noviembre-diciembre, 2007. pág. 21 a 25.

- Norma Chilena 1.333. Of78. Modificada en 1987, Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Instituto Nacional de Normalización

Se investigó sobre el área de estudio, el Norte Chico y para ello se revisaron los siguientes antecedentes:

- Características climáticas del Norte Chico. Instituto de Investigación de Recursos Naturales, Santiago de Chile, 1972.
- Chile, nuestro país: Tercera y Cuarta Región. Sistema integrado de información territorial (SIIT), Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- Chile, nuestro país: Clima y Vegetación. Sistema integrado de información territorial (SIIT), Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

Toda la información recopilada en la revisión bibliográfica fue expuesta en la sección 1.1 (pág.3), sección 1.2 (pág.9) y sección 1.3 (pág. 17).

### **2.2.2 Elección de la cuenca.**

La elección de la cuenca a estudiar se condicionó al objetivo propuesto. Por lo que definieron 3 criterios que permitieron definir la cuenca más apropiada a ser estudiada. Para ello fue necesario recopilar y analizar información general de las cuencas del Norte Chico, como se describe a continuación.

#### **2.2.2.1 Recopilación de información**

En este paso inicial se recopiló información de las cuencas presentes en el Norte Chico. Primero se recopiló información sobre la intensidad de las actividades agrícolas realizadas en cada cuenca, determinando el porcentaje de superficie dedicada a esa

actividad. Luego, se recopiló información acerca de la cantidad de estaciones de monitoreo de calidad de aguas ubicadas en cada cuenca y subcuenca.

Finalmente, se revisó los registros asociados a las estaciones de calidad que dan cuenta del análisis de múltiples parámetros en las aguas y de la frecuencia de monitoreo, estableciéndose las series de datos disponibles, su densidad (número de registros), y continuidad en el tiempo.

#### **2.2.2.2 Análisis de Información y selección de cuenca**

Para el análisis de la información se realizó una evaluación multi criterios, con el fin de determinar la cuenca más apropiada a ser estudiada. Para ello se establecieron criterios referentes al objetivo de estudio, a los cuales se asignó un puntaje.

Los criterios de selección de la cuenca fueron:

##### **❖ Criterio 1: Superficie agrícola**

Se seleccionó la cuenca con mayor superficie destinada a la agricultura, ya que sería más interesante conocer la variación de la calidad de aguas superficiales en una cuenca que utiliza agua para riego. Para ello se utilizaron los datos de superficie total de cada cuenca, superficie agrícola y porcentaje de superficie agrícola respectivo.

Se ordenaron los datos de porcentaje superficie agrícola de menor a mayor y las cuencas que no poseían superficie agrícola fueron eliminadas de la selección. Con los datos ordenados se procedió a determinar

- Cuartil Inferior ( $Q_1$ ): valor para el que el 25% de los datos son inferiores a él y el 75% son superiores

- Mediana ( $Q_2$ ): valor que se sitúa en el medio de la distribución.
- Cuartil superior ( $Q_3$ ): valor para el que el 25% de los datos son superiores a él y el 75% son inferiores

Una vez determinada la posición de los cuartiles se le otorgó el siguiente puntaje a los datos ubicados por sobre el valor de cada cuartil.

- 1 punto: Cuencas con superficie agrícola  $>$  al  $Q_1$
- 3 puntos: Cuencas con superficie agrícola  $>$  al  $Q_2$
- 5 puntos: Cuencas con superficie agrícola  $>$  al  $Q_3$

❖ **Criterio 2: Representatividad de estaciones de monitoreo de calidad de aguas en las subcuencas:**

La ubicación de las estaciones de monitoreo es importante para analizar la calidad de agua dentro de una cuenca, por lo que se privilegió la cuenca que presentaba por lo menos 1 estación de calidad para cada subcuenca. Para aplicar este criterio, se recopiló información de las estaciones de calidad de aguas presente en cada subcuenca y por consiguiente en cada cuenca. Dado a que existían muchas cuencas sin estaciones de calidad, se decidió no trabajar con ellas. Así se asignó el siguiente puntaje de acuerdo a la situación de cada cuenca:

- 5 puntos: Cuencas con estaciones en todas sus subcuencas.
- 4 puntos: Cuencas con estaciones entre el 80-99% de sus subcuencas.
- 3 puntos: Cuencas con estaciones en el 60-79% de sus subcuencas.
- 2 puntos: Cuencas con estaciones en el 40-59% de sus subcuencas.
- 1 punto: Cuencas con estaciones en  $\leq 39\%$  de sus subcuencas.

### ❖ **Criterio 3: Registros asociados a cada estación de monitoreo de calidad de aguas**

La información disponible de cada estación de monitoreo es fundamental para analizar la evolución en la calidad de aguas, por lo que fue necesario conocer si se disponían registros asociados cada año, entre el período de estudio 2003-2013.

Se identificó cada estación de calidad y cantidad de registros al año, a partir del año 2003. Si durante un año presentó registros, se le otorgó el valor 0,5. Si en un año no presentó registros entonces no se asignó puntuación. Las estaciones de calidad que no presentaron datos asociados en 4 o más oportunidades fueron descartadas.

Una vez determinado el puntaje para cada estación, se procedió a promediar los valores según la cuenca a la cual pertenecía cada estación, para otorgar un puntaje final a cada cuenca

Finalmente, se construyó una tabla con el puntaje final de cada criterio, a través del cual, se pudo determinar la cuenca que presentó mayores méritos para ser estudiada según objetivo de estudio y disponibilidad de información.

#### **2.2.3 Recopilación de información de la cuenca de estudio**

En este apartado se revisaron antecedentes generales de la cuenca hidrológica seleccionada, las características naturales de los suelos, usos y presiones en las aguas superficiales y estudios previos de calidad de aguas. La información bibliográfica fue obtenida de los siguientes documentos:

- Análisis crítico de la Red de Calidad de aguas superficiales y subterráneas de la DGA. Dirección General de Aguas - Infraeco. Santiago, Chile. 2014.
- Análisis Integrado de Gestión en Cuenca del río Huasco. Región de Atacama. Dirección General de Aguas - Knight Piésold, Santiago, Chile. 2013.
- Evaluación Inicial de Caudales Ecológicos/Ambientales en la Cuenca del río Huasco-Chile. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales, Quito, Ecuador. 2012.
- Análisis hidrológico Cuenca del río Huasco, Región Atacama. Gobierno Regional de Atacama. 2012.
- Informe de cobertura de Servicios Sanitarios. Superintendencia de Servicios Sanitarios. 2013.
- Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional, Red de Calidad de Aguas. Dirección General de Aguas - Bf Consultores. Santiago, Chile. 1983.
- Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Dirección General de Aguas - Cade-Idepe. Santiago, Chile. 2004

#### **2.2.4 Selección de parámetros relevantes a estudiar.**

Para seleccionar los parámetros relevantes a estudiar se recurrió a la revisión bibliográfica (Sección 1.2, pág.9), donde se investigó el impacto genera la actividad agrícola en las aguas superficiales. Con esta información se identificaron los parámetros aportados por la agricultura, los parámetros que generan un efecto positivo y negativo en plantas, y los parámetros considerados en la calidad de agua para riego según la NCh.1.333 Of.1978. Luego, se listaron los parámetros medidos por la DGA durante el período 2003 -2013 y se seleccionaron los parámetros considerados relevantes según la revisión bibliográfica.

### 2.2.5 Análisis estadístico de datos.

En esta etapa se analizó la evolución histórica de la calidad de las aguas a través del estudio de los parámetros determinados anteriormente.

Con la serie de datos registrados en cada parámetro y en cada estación, se determinó el cuartil inferior ( $Q_1$ ), la mediana ( $Q_2$ ) y el cuartil superior ( $Q_3$ ), y se aplicaron dos ecuaciones para determinar y eliminar los valores atípicos (outliers). Los valores menores al Límite inferior ( $Li$ ) se denominan “Lower outliers” y los valores mayores al Límite superior ( $Ls$ ) se denominan “Upper outliers”

**Límite inferior** **(Ec. 1)**

$$Q1 - 1.5 (Q3 - Q1)$$

**Límite superior** **(Ec. 2)**

$$Q3 + 1.5 (Q3 - Q1)$$

Se revisó por cada estación la cantidad de mediciones registradas ( $n^\circ$  analíticas) por cada parámetro y se les restaron los valores atípicos. Se determinaron el número de datos que presentaban valor debajo al límite de detección (LD), determinando el porcentaje correspondiente. No se trabajó con los datos menores al LD.

Se determinó el promedio y coeficiente de variación (CV) de los registros de cada parámetro.

Los parámetros fueron seleccionados en 2 grupos (Grupo 1 y Grupo 2) con el fin de identificar y analizar aquellos parámetros que tuvieran la mayoría de los datos por sobre el LD, y considerar aquellos parámetros con alta dispersión de los registros ( $CV \geq 30\%$ ).

La selección de parámetros según grupo, se realizó como se indica a continuación:

- Grupo 1 :
  - Más del 80% de registros por debajo del LD
  - Entre 50% y 80% de registros por debajo LD, y  $CV < 30\%$
- Grupo 2 :
  - Entre 50% y 80% de registros por debajo de LD, y  $CV \geq 30\%$
  - Menos del 50% de registros por debajo de LD

Para el análisis de tendencias se hizo una post-selección de parámetros, trabajando con aquellos pertenecientes al Grupo 2, esto debido a que en el Grupo 2 están aquellos parámetros que presentaron la mayor cantidad de registros sobre el límite de detección (50% de datos sobre el LD), y también los parámetros que si bien presentaron pocos datos sobre el LD (entre el 20% – 50% sobre el LD), estos registros tenían una mayor dispersión ( $CV \geq 30\%$ ), lo cual se hace interesante conocer.

Con el fin de visualizar la evolución de la calidad de aguas, se hizo un análisis descriptivo de la serie temporal de cada parámetro, con la información disponible de cada estación de monitoreo de aguas, de modo que la información fuera representativa en la zona de muestreo y subcuenca, y no en toda la cuenca.

En primera instancia, se realizaron gráficas de las variables (promedio concentración de parámetros) en función del tiempo, que permitieran conocer el comportamiento de la serie temporal y luego clasificarla en “estacionaria” (la media y variabilidad son constantes en el tiempo) ó “no estacionaria” (la media y variabilidad crecen o decrecen a través del tiempo).

En los casos que correspondiera, se incluyó el límite de concentración máxima o mínimo según los requerimientos de la NCh.1.333 Of.78, que permitiera identificar los parámetros que superaron la norma durante el período de estudio y visualizar si existía una componente estacional que influyera la concentración de los parámetros en el agua.

Para conocer en detalle la serie de datos de cada estación de monitoreo, se realizaron gráficos con el valor registrado por parámetro en cada estación del año (verano, otoño-invierno y primavera) y se determinó el factor estadístico de Pearson ( $r$ ) para conocer la correlación de las variables diferenciadas en estaciones del año, a través del tiempo.

Para interpretar dichas correlaciones se prestó atención en tres elementos: significancia estadística, dirección y fuerza. La significancia estadística muestra la existencia de la correlación; si la significación es menor o igual a 0,05, existe correlación, y si la significación es mayor a 0,05, no hay correlación. La dirección depende del signo del coeficiente de correlación, si es inversamente proporcional el signo es negativo, mientras que si es directamente proporcional el signo es positivo. La fuerza depende de la cercanía o lejanía al valor 1 (o bien -1 para valores negativos). En la Tabla 8 se aprecia la interpretación de la fuerza de los valores de coeficiente de correlación.

**Tabla 8. Interpretación de valores de coeficientes de correlación según su rango**

<b>Coefficiente de correlación</b>	<b>Interpretación</b>
0	Relación nula
0 - 0,2	Relación muy baja
0,2 - 0,4	Relación baja
0,4 - 0,6	Relación moderada
0,6 - 0,8	Relación alta
0,8 - 1	Relación muy alta
1	Relación perfecta

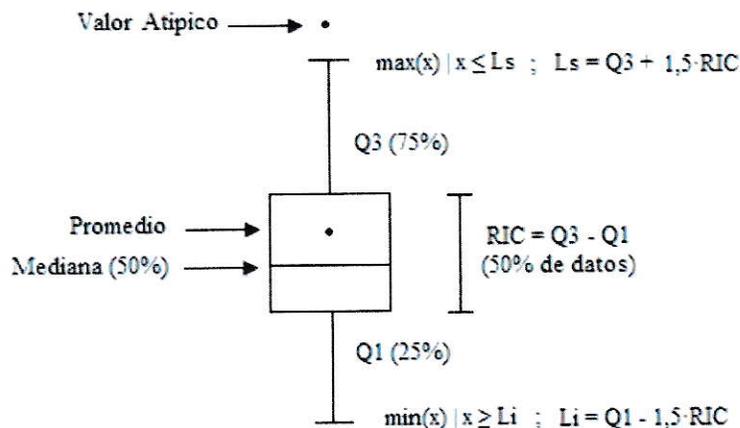
(Moral, 2013.)

Por otra parte, se aplicó un Análisis de Varianza (ANOVA), con el fin de identificar si existían diferencias significativas de la calidad de las aguas, a través de la comparación de las medias anuales de concentración o registros de cada parámetro, durante el período de estudio.

Es importante destacar que a lo largo del tiempo el Banco Nacional de Aguas de la DGA, reportó los valores de Ca, Mg, Na y K como fracciones disueltas y a partir del año 2010 comenzó a informarlos como fracción total. Esto se debe únicamente porque a partir del segundo trimestre del año 2010, las muestras de aguas se digieren en medio ácido (con HNO<sub>3</sub> y HCl) sin haber sido filtradas previamente, es decir hubo un cambio en la metodología. Por esta causa, en el caso de los parámetros Ca, Mg, Na y K, se realizaron ANOVA para período de años 2003-2010, y por separado un ANOVA para el período de años 2010-2013.

Así mismo, en el caso de registros de Nitrógeno, se realizó ANOVA al los datos de nitrógeno medido como N-NO<sub>3</sub> (años 2000-2010) y otro análisis por separado al nitrógeno medido como N-(NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>) (años 2011-2013).

Finalmente se determinó si había diferencias significativas en la calidad de las aguas entre las distintas zonas de muestreo. Para ello, se aplicó ANOVA en serie de datos (por parámetros) de cada estación de monitoreo, durante el período 2003-2013. Para graficar esta información, primero se determinó el valor mínimo y máximo de la serie estudiada y se utilizó los cálculos de promedio, mediana, primer cuartil (Q1) y tercer cuartil (Q3), determinados anteriormente. Luego se realizó, para cada parámetro y estación de monitoreo, un diagrama de cajas y bigotes (Figura 3), el cual consiste en una caja que abarca el intervalo entre el primer y tercer cuartil, llamado rango intercuartílico (RIC=Q3-Q1). Dentro de la caja se representa con un segmento la mediana de la distribución y con un punto el promedio. El bigote superior está determinado por el tercer cuartil y el valor máximo, y el bigote inferior por el primer cuartil y valor mínimo. Los valores atípicos están determinados por las ecuaciones 1 y 2, (Límite inferior y Límite superior ) y se representan por puntos fuera de la caja.



**Figura 3. Diagrama de cajas y bigotes**

### III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Elección de la cuenca.

Para cumplir con el primer objetivo específico “Recopilar antecedentes de las cuencas hidrográficas del Norte Chico y seleccionar una cuenca hidrográfica para análisis en base a factores relevantes y disponibilidad de información”; a continuación se muestra los resultados obtenidos al aplicar los criterios de selección de la cuenca de estudio mencionados en sección 2.2.2 (pág.26)

##### 3.1.1 Aplicación criterio 1

Los cuartiles de los datos de porcentaje superficie agrícola de las cuencas del Norte Chico, fueron: primer cuartil ( $Q_1 = 0,13\%$ ), tercer cuartil ( $Q_3 = 2,71\%$ ) y mediana de los datos ordenados fue  $1,3\%$ . En la Tabla 9 se muestra en forma ascendente los porcentajes de superficie agrícola de cada cuenca y bajo que cuartil está considerado.

**Tabla 9. Porcentaje superficie agrícola en cuencas del Norte Chico clasificadas en cuartiles**

Código Cuenca	Nombre Cuenca	Superficie total $\text{km}^2$	Superficie agrícola $\text{km}^2$	% superficie agrícola	cuartil
041	Río los Choros	3.836,0	0,70	0,02	<Q1
039	Costeras e Islas entre R. Huasco y Cuarta Región	3.959,0	1,95	0,05	<Q1
042	Costeras entre R. Los Choros y R. Elqui	440,8	0,33	0,07	<Q1
036	Q. Totoral y Costeras hasta Q. Carrizal	5.944,0	7,50	0,13	Q1
048	Costeras entre R. Choapa y R. Quilimarí	1.293,0	3,74	0,29	>Q1
034	Río Copiapó	18.703,0	160,84	0,86	>Q1
046	Costeras entre R. Limarí y	1.666,8	21,63	1,3	Q2

<b>Código Cuenca</b>	<b>Nombre Cuenca</b>	<b>Superficie total km<sup>2</sup></b>	<b>Superficie agrícola km<sup>2</sup></b>	<b>% superficie agrícola</b>	<b>cuartil</b>
	R. Choapa				
049	Río Quilimarí	783,4	17,03	2,17	>Q2
043	Río Elqui	9.826,0	225,91	2,30	>Q2
047	Río Choapa	7.654,0	201,31	2,71	Q3
038	Río Huasco	9.814,0	286,86	2,92	>Q3
045	Río Limarí	11.697,0	632,96	5,41	>Q3
044	Costeras entre Elqui y Limarí	2.300,0	211,76	9,21	>Q3

### 3.1.2 Aplicación criterio 2.

En la Tabla 10 se muestran las cuencas que presentan estaciones de monitoreo y el porcentaje asociado a la representatividad de las estaciones en sus subcuencas.

**Tabla 10. Estaciones de calidad de aguas por subcuenca y porcentaje asociado a representatividad en la cuenca.**

<b>Código Cuenca</b>	<b>Nombre Cuenca</b>	<b>Código Subcuenca</b>	<b>Estaciones de calidad</b>	<b>n° estaciones</b>	<b>% subcuenca con estaciones</b>
30	Endorreicas entre Frontera y Vertiente del Pacífico	300	No	0	33,3
		301	No	0	
		302	Si	1	
		303	No	0	
		304	Si	2	
		305	No	0	
34	Río Copiapó	340	Si	1	83,3
		341	Si	1	
		342	Si	1	
		343	Si	4	
		344	No	0	
		345	Si	2	
38	Río Huasco	380	Si	3	100
		381	Si	1	
		382	Si	2	
43	Río Elqui	430	Si	11	100
		431	Si	2	

<b>Código Cuenca</b>	<b>Nombre Cuenca</b>	<b>Código Subcuenca</b>	<b>Estaciones de calidad</b>	<b>n° estaciones</b>	<b>% subcuenca con estaciones</b>
		432	Si	2	
		433	Si	2	
44	Costeras entre Elqui y Limarí	440	Si	1	50
		441	No	0	
45	Río Limarí	450	Si	2	83,3
		451	Si	2	
		452	Si	2	
		453	Si	4	
		454	No	0	
		455	Si	3	
47	Río Choapa	470	Si	2	100
		471	Si	4	
		472	Si	3	
		473	Si	1	
48	Costeras entre R.Choapa y R.Quilimarí	480	No	0	33,3
		481	Si	1	
		482	No	0	

### 3.1.3 Aplicación criterio 3.

Para aplicar el Criterio 3 se consideraron sólo las cuencas que contaban con un porcentaje de subcuencas con estaciones mayores al 80%, según la Tabla 10. Luego, en la Tabla 11 se dispuso un resumen por cuenca y subcuenca, del puntaje obtenido según este criterio. En los Anexos (Sección VI.2) se encuentra la tabla en detalle de puntaje según los registros de cada estación pertenecientes a las subcuencas.

**Tabla 11. Puntaje por subcuenca y cuenca según Registro de Monitoreo en Estaciones de Calidad de Aguas período 2003-2013**

<b>Código Cuenca</b>	<b>Nombre Cuenca</b>	<b>Código Subcuenca</b>	<b>Puntaje por subcuenca</b>	<b>Puntaje promedio por cuenca</b>
034	Río Copiapó	0340	5,5	3,4
		0341	5,5	
		0342	5,5	
		0343	3,75	
		0344	0	
		0345	0	
038	Río Huasco	0380	5,5	5,5
		0381	5,5	
		0382	5,5	
043	Río Elqui	0430	5,5	5,5
		0431	5,5	
		0432	5,5	
		0433	5,5	
045	Río Limarí	0450	5,5	4,4
		0451	5,5	
		0452	5,5	
		0453	5,4	
		0454	0	
		0455	4,7	
047	Río Choapa	0470	5,5	5,5
		0471	5,5	
		0472	5,5	
		0473	5,5	
		0482	5,5	

Finalmente una vez aplicados todos los criterios, en la Tabla 12 se presenta el resumen con los puntajes asignados para cada criterio.

**Tabla 12. Resumen puntaje para selección de la cuenca**

<b>Código Cuenca</b>	<b>Cuenca</b>	<b>Criterio 1: Superficie Agrícola (Puntos.)</b>	<b>Criterio 2: Representatividad de estaciones de calidad por subcuencas (Puntos.)</b>	<b>Criterio 3: Registros asociados a estación de calidad de aguas (Puntos.)</b>	<b>Puntos Totales</b>
034	Río Copiapó	1	4	3,4	8,4
038	Río Huasco	5	5	5,5	15,5
043	Río Elqui	3	5	5,5	13,5
045	Río Limarí	5	4	4,4	13,4
047	Río Choapa	3	5	5,5	13,5

De acuerdo a esta tabla, la cuenca del río Huasco, río Elqui y río Choapa, obtuvieron mayores puntajes en los criterios 2 (representatividad de estaciones de calidad de aguas por subcuencas) y criterio 3 (registros asociados a estaciones de calidad de aguas). Al considerar el criterio 1 (superficie agrícola), la cuenca del río Huasco obtiene una leve ventaja por sobre las cuencas río Elqui y río Choapa, aunque la diferencia es mínima por lo que cualquiera de ellas sería apropiada para estudiar

Sin embargo, en base a los 3 criterios de selección planteados, la cuenca que presentó mayores méritos para ser estudiada, por objetivo de estudio y disponibilidad de información, fue la cuenca río Huasco.

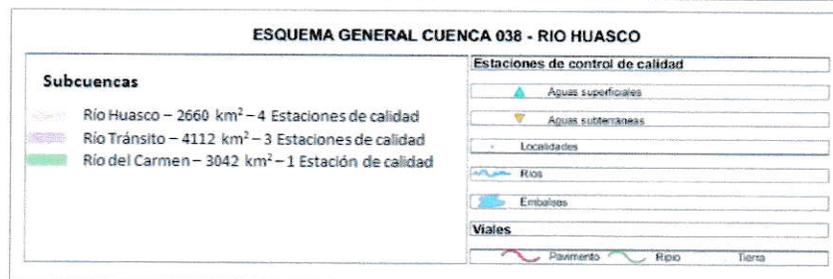
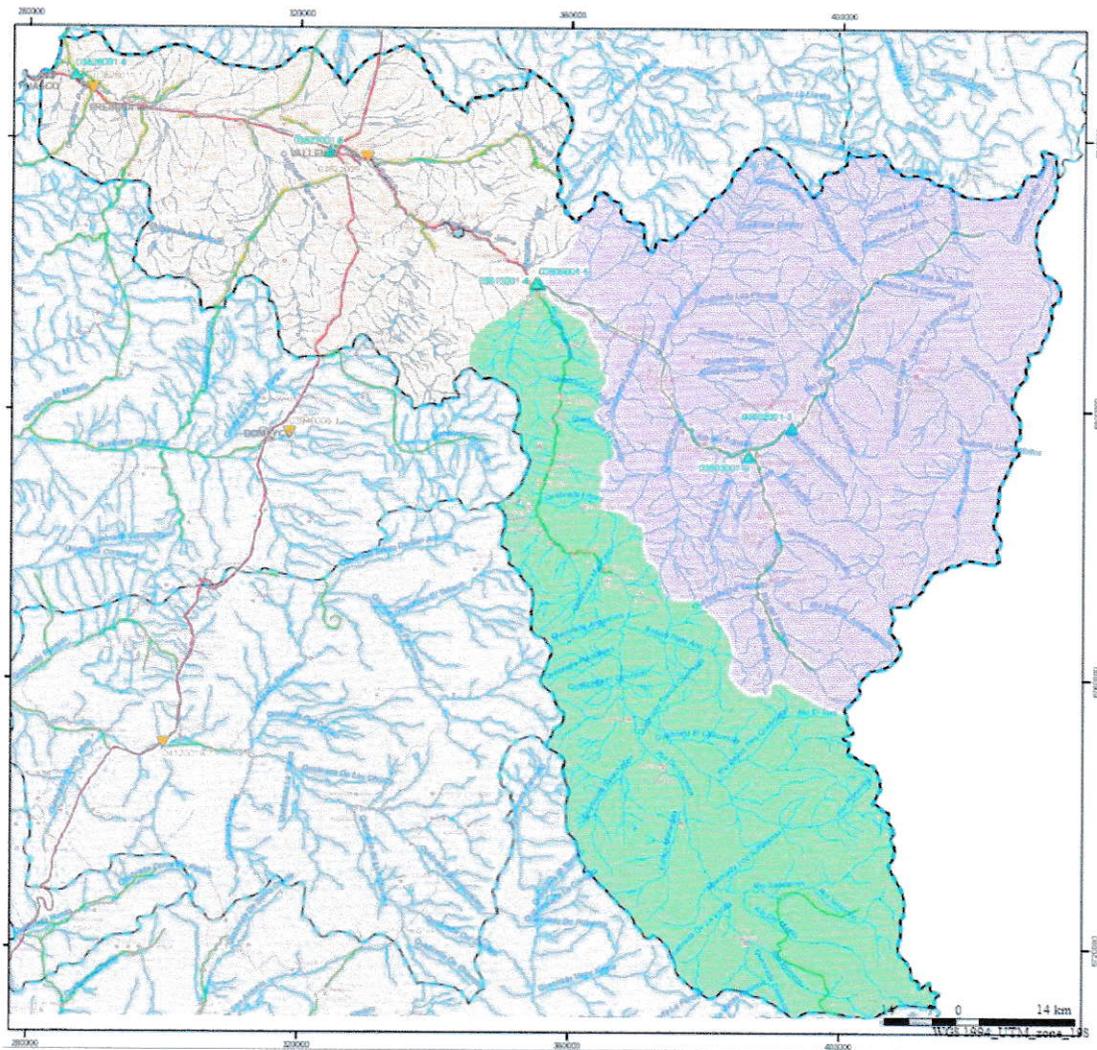
### **3.2 Información General Cuenca del río Huasco.**

Para cumplir el segundo objetivo específico “Recopilar información general de la cuenca seleccionada, estudios previos de calidad de aguas, e identificar presiones y usos del recurso hídrico”, a continuación se muestra la información recopilada de la Cuenca del río Huasco.

La Cuenca hidrográfica del río Huasco cuenta con una superficie total de 9.814 km<sup>2</sup>, involucra las comunas de Alto del Carmen, Vallenar, Freirina y Huasco, y se compone de 3 subcuencas: río Tránsito, río del Carmen y río Huasco.

La cuenca está estructurada hidrológicamente por el río Huasco, en el cual desembocan el río del Tránsito y río del Carmen. El río del Carmen se forma por la contribución del río Potrerillo que confluye con el río Mantacilla. El río del Tránsito se forma de la confluencia de los ríos Conay y Chollay (Infraeco, 2014).

La cuenca del río Huasco cuenta con 6 estaciones de monitoreo de calidad de aguas superficiales distribuidas en las distintas subcuencas. En la Figura 4, se muestra el mapa general de la cuenca, con sus respectivas subcuencas y estaciones de calidad de aguas.



**Figura 4. Mapa Cuenca del río Huasco**

### **3.2.1 Clima**

El régimen del río Huasco es nivopluvial, observándose que sus crecidas de mayor magnitud se presentan en los meses estivales y esporádicamente en los meses de invierno, cuando ocurre algún evento pluviométrico importante en las partes altas de la cuenca (Knight Piésold - DGA, 2013). En los meses de verano, el aumento de temperatura genera un aporte de derretimiento de los glaciares y de las capas de nieves acumuladas durante el invierno; mientras que durante el invierno las precipitaciones en la cordillera abastecen directamente la cuenca. (UICN, 2012)

### **3.2.2 Características del suelo.**

Todos los cauces se ubican sobre formaciones geológicas constituidas por gravas, arenas y limos. En el sector preandino de la cuenca, los suelos corresponden a suelos xerosoles cálcicos y litosuelos. Los suelos del Valles del Huasco y sus afluentes en el curso medio son derivados de materiales aluviales sin salinidad o muy ligera. En general son suelos francoarenosos, color pardo, con acumulaciones salinas variables profundas en los horizontes de la superficie (B y C). La gran mayoría de los suelos presentan perfiles pedregosos y muy pobres en materia orgánica. En la zona del Valle del río Huasco cercana a la desembocadura presenta suelos derivados de sedimentos marinos, donde se presenta alta concentración de sales. Los suelos son ricos en calcio y moderados a bajos en materia orgánica, los rendimientos altos y la calidad de los productos buena. De Freirina a la costa, los suelos muestran serios problemas de salinidad agravado por la mala calidad de agua para riego, a pesar de ello los suelos presentan aptitud para plantaciones de olivos. De Vallenar al este los suelos presentan

aptitud frutal; y entre Vallenar y Freirina los suelos presentan aptitud para sembrado de alfalfa, cebada y linaza (Cade-Idepe - DGA, 2004).

### **3.2.3 Usos y presiones del recurso hídrico.**

El uso del recurso hídrico es esencial para cumplir funciones humanas (uso de agua para consumo, riego y recreación) y ecológicas (uso de agua para vida acuática). (Infraeco, 2014). Respecto a los usos de agua para consumo humano, en los Anexos (Sección VI.3) se presenta las captaciones de agua para este fin en la cuenca del río Huasco. La Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) fiscaliza las empresas concesionarias que prestan servicios de agua potable y alcantarillado. Según el informe de Coberturas de Servicios Sanitarios (SISS, 2013), el porcentaje de población urbana que tiene cobertura de agua potable, corresponde a un 98,9% en Freirina, 99,7% en Huasco y un 100% en Vallenar.

Respecto al uso de agua para riego, los ríos debe satisfacer la necesidad de regar el área agrícola el cual corresponde a 286,86 km<sup>2</sup>.

Según el estudio “Análisis hidrológico cuenca del río Huasco, Región de Atacama” (Martínez, 2012) las demandas de agua corresponden a las actividades y/o proyectos expuestos en la Tabla 13.

**Tabla 13. Demandas de agua en la cuenca del río Huasco**

<b>Fuente de Consumo</b>	<b>Volumen (hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Recurso</b>	<b>%</b>
Agricultura	92,35	Superficial	63,0
Vegetación natural	33,94	Superficial	23,1
Industria: Proyecto Agroindustrial Valle del Huasco	9,58	Superficial	6,5
Consumo Humano	0,68	Subterránea	0,5
Minería: Planta Pellets Huasco	3,66	Subterránea	2,5
Minería: Proyecto Pascua-Lama	1,33	Superficial	0,9
Energía: Hidroeléctrica	----		
Energía: Guacolda.Huasco	----		
Evaporación lago Embase Santa Juana	5,11	Superficial	3,5
<b>TOTAL</b>	<b>146,65</b>		<b>100</b>

(Martínez, 2012.)

Algunas actividades humanas requieren uso del agua y al mismo tiempo generan una presión sobre ella. Las presiones al recurso hídrico, se pueden producir de forma directa a través de las descargas autorizadas en los cursos y cuerpos de aguas, las cuales están reguladas por el DS90/ 2000 y DS46/2002; de forma indirecta, por proyectos o pasivos sin descargas puntuales; o presiones por regulación de cauce.

La SISS también controla y fiscaliza los residuos líquidos generados por establecimientos industriales y vertidos de las plantas de tratamientos de aguas servidas. En la comuna de Freirina la cobertura de aguas servidas alcanza un 87,9%, en Huasco un 92,7% y en Vallenar un 99,3% (SISS, 2013).

En los Anexos (Sección VI.4) se muestran los proyectos que generan presiones directas o indirectas al recurso hídrico de la cuenca del río Huasco. Por otra parte, los rellenos sanitarios también generan presiones indirectas, y en la subcuenca del Huasco se ubica el vertedero de Freirina, vertedero de Huasco y vertedero de Vallenar.

### **3.2.4 Estudios previos de calidad de aguas**

El estudio “Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional, Red de Calidad de Aguas”, del año 1983, muestra que en la hoya del río Huasco el grado de salinidad del agua iba en aumento aguas abajo, y esto se debía a la actividad agrícola y la evapotranspiración a lo largo del curso. Los parámetros As y B se encontraron en bajas concentraciones, destacando en el río Huasco en Freirina con concentraciones de 0,024 mg/L y 1,25 mg/L, respectivamente. Por lo tanto según los antecedentes las aguas de esta hoya eran aptas para riego.

El informe “Diagnóstico y clasificación de cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad”, del año 2004, concluyó que la cuenca de río Huasco presentó buena calidad natural del agua, donde exceden la clase de excepción el Cr, Fe, B, Mn, Mo, Al,  $\text{SO}_4^{2-}$ , y CE. La parte media y baja de la cuenca posee gran actividad minera sumado a lixiviaciones naturales de la franja metalogénica han ocasionado la presencia de Cu, Fe, Mo y Mn. El río Conay presentó la mejor calidad natural del agua y el río Huasco en la cuenca de Huasco Bajo presenta la calidad más desmejorada

### 3.3 Parámetros a estudiar en la Cuenca del río Huasco

Para cumplir con el tercer objetivo específico “Evaluar y seleccionar los parámetros relevantes a analizar en la cuenca hidrográfica de estudio”, a continuación, en la Tabla 14 se muestran los parámetros que son incorporados en las aguas superficiales por la agricultura, luego los parámetros con efecto positivo y negativo para los cultivos, los parámetros considerados en calidad de agua para riego según la NCh.1.333 Of.78 y los parámetros medidos por la DGA en el período 2003 – 2013. Finalmente se listan los parámetros considerados relevantes a estudiar en la cuenca del río Huasco.

**Tabla 14. Parámetros a estudiar en la cuenca del río Huasco, período 2003-2013.**

Parámetros aportados por la agricultura (i)	Parámetros de interés por su efecto en las plantas (ii)	Parámetros nutrientes de plantas (iii)	Parámetros Calidad de agua para riego (iv)	Parámetros medidos por la DGA, durante período 2003-2013	Parámetros de interés a estudiar en cuenca del río Huasco
Carbono orgánico total	Aluminio	Boro	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Cobre	Arsénico	Calcio	Arsénico	Arsénico	Arsénico
DBO <sub>5</sub> o DQO	Boro	Cloruro	Bario	Boro	Boro
Fósforo total	Cloruro	Cobre	Berilio	Cadmio	Cadmio
Halógenos orgánicos absorbibles	Cobalto	Fósforo	Boro	Calcio	Calcio
Nitrógeno total	Cobre	Hierro	Cadmio	Cloruro	Cloruro
Pesticidas	Conductividad específica	Magnesio	Cianuro	Cobalto	Cobalto
Sólidos sedimentables	Dureza	Manganeso	Cloro	Cobre	Cobre
Sólidos suspendidos	Hierro	Molibdeno	Cobalto	Conductividad específica	Conductividad
Sulfato	Manganeso	Níquel	Cobre	Cromo	Cromo

Parámetros aportados por la agricultura (i)	Parámetros de interés por su efecto en las plantas (ii)	Parámetros nutrientes de plantas (iii)	Parámetros Calidad de agua para riego (iv)	Parámetros medidos por la DGA, durante período 2003-2013	Parámetros de interés a estudiar en cuenca del río Huasco
Sulfuro	Mercurio	Nitrógeno	Coliformes fecales	Fosfato	Fosfato
Zinc	Molibdeno	Potasio	Conductividad específica	Hierro	Hierro
	Plomo	Sulfato	Cromo	Magnesio	Magnesio
	RAS		Fluoruro	Manganeso	Manganeso
	Sodio		Hierro	Mercurio	Mercurio
	Sólidos disueltos totales		Litio	Molibdeno	Molibdeno
	Sólidos suspendidos		Manganeso	Níquel	Níquel
	Sulfato		Mercurio	Nitratos	Nitratos
	Zinc		Níquel	Nitrógeno de Nitrato + Nitrito	Nitrógeno de Nitrato + Nitrito
			Pesticidas	Oxígeno disuelto	pH
			pH	pH	Plata
			Plata	Plata	Plomo
			Plomo	Plomo	Potasio
			RAS	Potasio	RAS
			Selenio	RAS	Selenio
			Sodio porcentual	Selenio	Sodio
			Sólidos disueltos totales	Sodio	Sulfato
			Sulfato	Sulfato	Temperatura
			Temperatura	Temperatura	Zinc
			Vanadio	Zinc	
			Zinc		

(i) FAO, 2002; González, 2007; AMPHOS<sup>21</sup>, 2014; Corine Land Cover, 2000

(ii) SAG, 2005.

(iii) MMA España, 2009

(iv) NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.

### **3.4 Análisis de datos**

#### **3.4.1 Filtro de parámetros por estadística**

El resumen de número de datos atípicos (lower outliers y upper outliers), determinados en los registros de cada parámetro durante el período de estudio, se encuentran en los Anexos (Sección VI.5), donde se dispone la información correspondiente a cada estación de calidad de aguas.

El resumen de analíticas por estaciones de calidad de aguas, ya sea media de cada parámetro, coeficiente de variación (CV), porcentaje de datos bajo el LD, y grupo al cual fue clasificado (Grupo 1 y Grupo 2), se dispone en los Anexos (Sección VI.6), donde se encuentra la información correspondiente a cada estación de calidad de aguas.

En la Tabla 15 se muestra el resumen de los grupos al que fue clasificado cada parámetro en cada estación de monitoreo. Según esta clasificación los parámetros post-seleccionados para analizar, pertenecientes al Grupo 2, fueron 18: Aluminio, Arsénico, Calcio, Cloruro, Cobre, Conductividad específica, Fosfato, Hierro, Magnesio, Manganeso, Nitrógeno (Nitrato y Nitrito + Nitrato), pH, Potasio, RAS, Sodio, Sulfato, Temperatura y Zinc.

**Tabla 15. Clasificación parámetros en Grupo 1 y Grupo 2**

Estación	Río Conay	Río Chollay	Río Tránsito	Río Carmen	Río Huasco en Panamericana	Río Huasco en Huasco bajo
Parámetros						
Aluminio	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Arsénico	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Boro	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 2
Cadmio	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1
Calcio (2003-2010)	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Calcio (2010-2013)	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Cloruro	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Cobalto	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1
Cobre	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 2
Conductividad	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Cromo	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1
Fósforo	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Hierro	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Magnesio (2003-2010)	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Magnesio (2010-2013)	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Manganeso	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Mercurio	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1
Molibdeno	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1
Níquel	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1
Nitrato	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Nitrito + Nitrato	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
pH	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Plata	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1
Plomo	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1
Potasio (2003-2010)	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Potasio (2010-2013)	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
RAS	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Selenio	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1
Sodio (2003-2010)	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Sodio (2010-2013)	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Sulfato	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Temperatura	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Zinc	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2

### **3.4.2 Análisis general de la evolución de calidad de aguas.**

Para cumplir con el cuarto objetivo específico “Analizar la evolución histórica de los parámetros de calidad de aguas en la cuenca”, a continuación, desde la Figura 5 a Figura 8, se muestran los gráficos de las variables (promedio anuales de concentración o registros de parámetros) en función del tiempo, con el fin de visualizar de forma general como fue la evolución de la calidad de las aguas durante el período 2003-2013 y verificar que promedio anual de cada parámetro está en el rango que indica la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.

La Figura 5 muestra la evolución de las medias anuales en los registros de Conductividad específica, pH, Temperatura y RAS.

En el análisis visual de la serie temporal de estos parámetros se observa que la conductividad específica presenta una serie temporal no estacionaria, levemente creciente en el tiempo en las estaciones situadas en la parte alta y tramo medio de la cuenca (estaciones río Conay, río Chollay, río Tránsito y río Carmen), donde el valor promedio registrado en el año 2003 corresponde a 461  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; y en el año 2013 un promedio de 769  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En la estación Huasco en Panamericana se observa una ligera diferencia con las otras estaciones, al presentar una serie temporal más creciente con un promedio de 698  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el año 2003, a un promedio de 1.712  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el año 2013. En la estación Huasco en Huasco bajo se observa una gran diferencia con las otras estaciones al presentar una serie temporal creciente con un promedio de 1.279  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el año 2003 a un promedio de 3.620  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el año 2013.

Se observa que en las estaciones río Tránsito, río Carmen, río Huasco en Panamericana y río Huasco en Huasco bajo, se superó el valor límite de conductividad según la NCh.1.333 Of.78 durante el período de estudio.

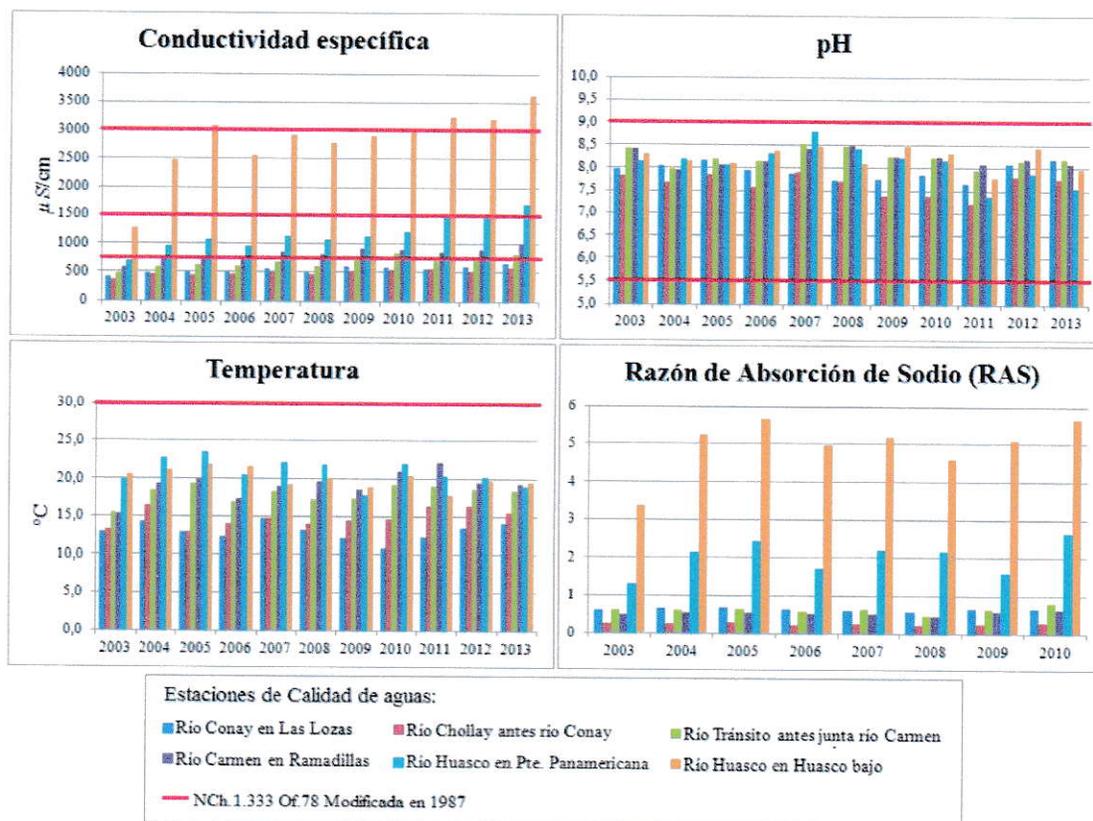
Respecto a los registros de pH, se observa una serie temporal estacionaria, donde en promedio se obtuvo mediciones cercanas a 8,0 (valores promedios entre 7,5-8,5). Las medias anuales estuvieron dentro del rango de pH que indica la NCh.1.333 Of.78, la cual corresponde a valores entre 5,5-9.

En los registros de temperatura se observa que si bien existe variabilidad según la ubicación de las estaciones de calidad, la serie temporal es constante y no se supera el límite de la normativa. Durante el período de estudio las estaciones de la parte alta de la cuenca (estaciones río Conay y río Chollay) promedian los 13,9 °C, las estaciones del tramo medio (estaciones río Tránsito y río Carmen) promedian 18,6 °C y las estaciones de la parte baja (río Huasco en Panamerica y Huasco bajo) promedian los 20,5 °C. Con respecto a la normativa, si bien la NCh.1.333 Of.78., en su apartado de “Requisitos para agua de riego” no establece un valor límite, en este caso se optó por indicar el límite que establece esta misma normativa en el apartado de “Requisitos de agua con contacto directo”, lo cual corresponde a 30 °C.

Para el caso de cálculo de RAS se observa que las estaciones de la parte alta y tramo medio de la cuenca, presentan una serie temporal estacionaria con un valor promedio de 0,5 durante el periodo de estudio. La estación Huasco en Panamericana presenta un leve aumento en el valor de RAS, con un promedio de 1,3 en el año 2003 a un valor promedio 2,6 en el año 2013, mientras que en Huasco bajo la serie temporal es

más creciente con valores promedio de 3,4 en el año 2003 a un valor promedio de 5,7 en el año 2013.

La NCh.1.333 no especifica un límite máximo pues establece que la Autoridad competente debe establecer un valor para cada caso, pero según la FAO, 1985 (Tabla 16), menciona que valores menores a 3 no presentan peligro en el agua para riego, valores entre 3-9 debe tener un grado de restricción moderado en agua de riego, mientras que aguas con valores de RAS sobre 9, no deberían ser usadas en riego.



**Figura 5. Evolución medias anuales de los registros de Conductividad, pH, Temperatura y RAS en aguas superficiales de la Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.**

**Tabla 16. Clasificación de las aguas según salinidad (CE) y Relación de adsorción de Sodio (RAS) del agua de riego.**

Problema potencial	Grado de restricción de uso		
	Nulo	Ligero-moderado	Elevado
Salinidad (CE) $\mu\text{S/cm}$	< 700	700-3000	> 3000
Sodicidad (RAS)	< 3	3-9	> 9

(FAO, 1985.)

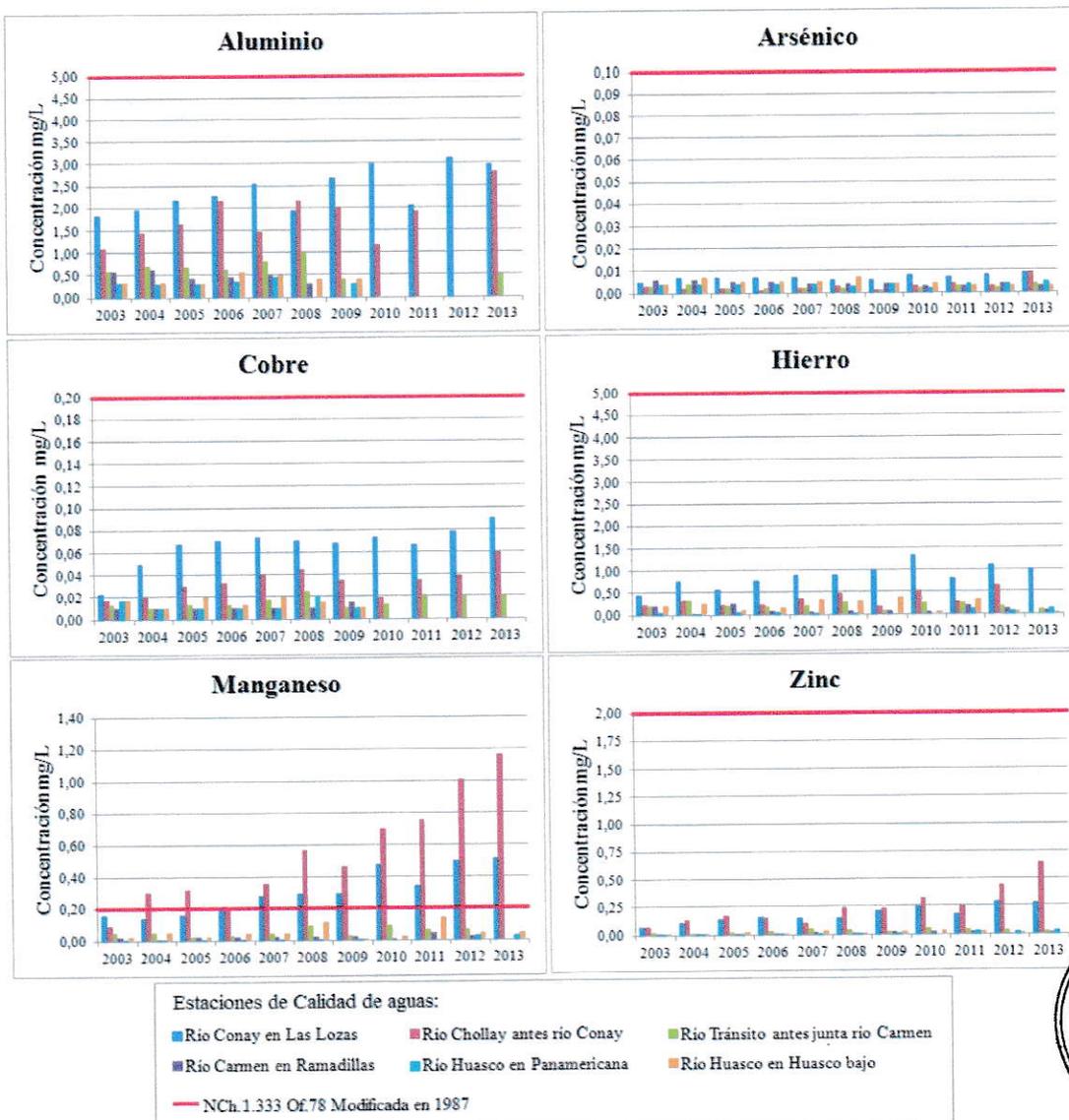
La Figura 6 muestra la evolución de las medias anuales de Aluminio, Arsénico, Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc.

Se observa que las medias anuales de concentraciones de Al, As, Cu, Fe y Zn, son muy bajas y están muy por debajo del límite que menciona la NCh.1.333 Of.78, mientras que las concentraciones medias de Mn, superan la normativa en casi la totalidad de los años de estudio, en las estaciones río Conay y río Chollay.

En las estaciones de la parte alta de la cuenca (estación río Conay y estación río Chollay) presentan una serie temporal creciente en la mayoría de los parámetros medidos. En la estación río Conay en Las Lozas se registraron los mayores promedios de concentración de Al, Cu y Fe; y en la estación río Chollay antes junta río Conay se registraron las mayores medias de concentración de Mn y Zn.

En las estaciones del tramo medio y bajo de la cuenca (estaciones río Tránsito, río Carmen, río Huasco en Panamericana y río Huasco en Huasco bajo) se observa una serie temporal estacionaria para todos los parámetros.

Los años que no tienen valores asociados se deben a que los valores medidos están bajo el límite de detección o bien fueron eliminados por ser datos atípicos (outliers).



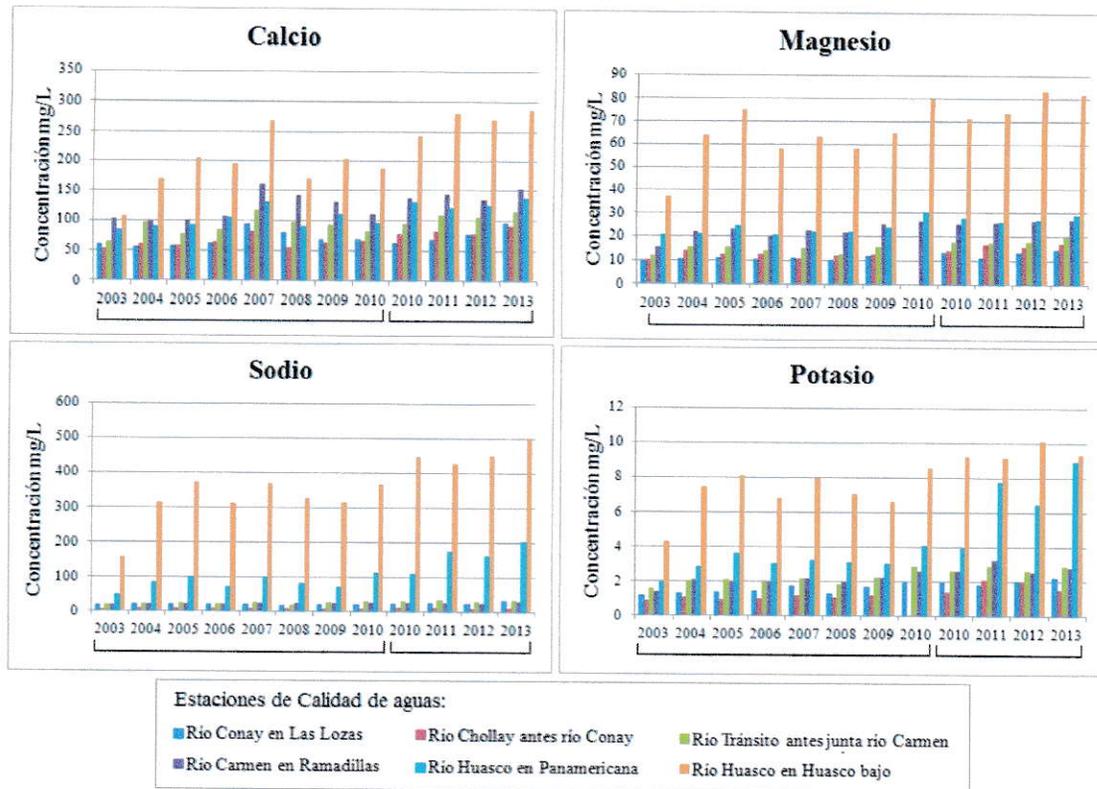
**Figura 6. Evolución medias anuales de la concentración de Aluminio, Arsénico, Cobre, Hierro, Manganeseo y Zinc en aguas superficiales de la Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.**

La Figura 7 muestra la evolución de los registros de Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio medidos en la cuenca, destacándose que a partir del segundo trimestre de 2010 se comienzan a utilizar otra metodología para su determinación por lo que en los gráficos están diferenciados los datos.

Estos parámetros no están presentes en la NCh.1.333 Of.78, a excepción del Sodio que se encuentra normado como Sodio porcentual (35%Na).

En los gráficos se observa que en las estaciones de la parte alta de la cuenca (estaciones río Conay y río Chollay), las concentraciones medias anuales de Ca, Mg, y K son más bajas que en otras estaciones. Luego en las estaciones del tramo medio de la cuenca (estaciones río Tránsito y río Carmen) las concentraciones medias anuales de estos parámetros aumentan. Finalmente en las estaciones de la parte baja de la cuenca (estaciones río Huasco en Panamericana y río Huasco en Huasco bajo) las concentraciones son aún mayores.

En la estación río Huasco en Huasco bajo, los registros de concentraciones medias anuales de Ca, Mg, Na y K son sobresalientes en comparación a las otras estaciones de calidad de aguas; y la serie temporal va en crecimiento durante el período de estudio. En la estación río Huasco en Panamericana también se observa un evidente crecimiento en las medias anuales en concentraciones de Na y K.



**Figura 7. Evolución medias anuales concentración de Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio en aguas superficiales de la Cuenca del río Huasco, período 2003-2013.**

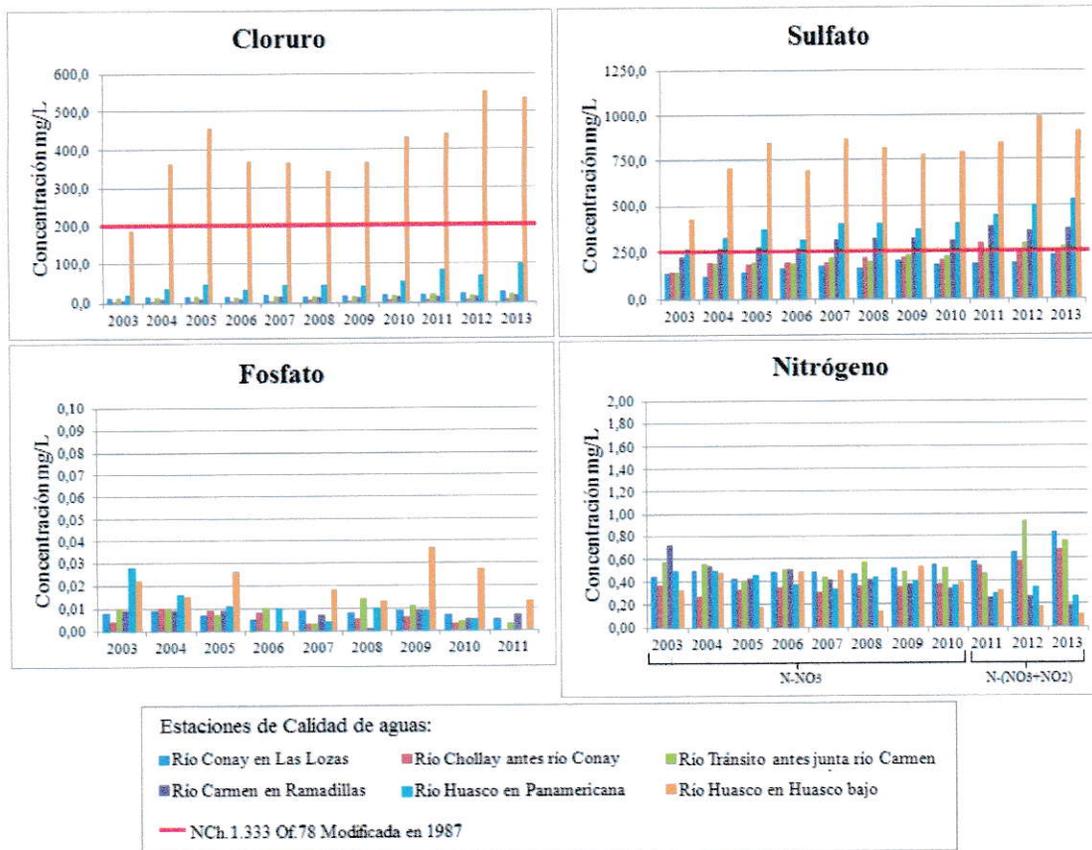
En la Figura 8 se muestra la evolución de las medias de concentración de Cloruro, Sulfato, Fosfato, y Nitrógeno.

En la estación río Huasco en Huasco bajo, las concentraciones medias de Cloruro y Sulfato son predominantes en comparación a las otras estaciones de calidad de aguas. Por otra parte, la serie temporal de estos parámetros va en crecimiento durante los años de estudio.

Las concentraciones medias de Cloruro sobrepasan el límite de la NCh.1.333 Of.78 (200 mg/L) en la estación río Huasco en Huasco bajo, mientras que las concentraciones medias de Sulfato sobrepasan el límite de la normativa (250 mg/L) en las estaciones río Carmen, río Huasco en Panamericana y río Huasco en Huasco bajo.

La serie temporal de Fosfato es variable en el tiempo, tiene bajas concentraciones media de Fosfato, y en ocasiones se observan máximos en la estación Huasco en Huasco bajo.

La serie temporal de Nitrógeno es constante entre los años 2003-2010. En los años 2012 y 2013 muestra un leve crecimiento de las concentraciones medias en las estaciones río Conay, río Chollay y río Tránsito; y en descenso de las concentraciones medias en las estaciones río Carmen, río Huasco en Panamericana y río Huasco en Huasco bajo.



**Figura 8. Evolución medias anuales concentración de Fosfato, Sulfato, Cloruro y Nitrógeno en aguas superficiales de la Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.**

### **3.4.3 Análisis en detalle de la evolución de calidad de aguas.**

A continuación, se muestra en detalle la evolución de la calidad de las aguas durante el período 2003-2013, a través del análisis de los parámetros, según el registro medido en cada estación del año.

Desde la Figura 9 a la Figura 26, se muestran y analizan los gráficos de las variables (valores registrados de parámetros) en función del tiempo, para cada estación de calidad de aguas.

Así mismo se analizan los resultados de correlación de Pearson ( $r$ ) para cada parámetro y cada estación de monitoreo de calidad de aguas (Anexos sección VI.7) y el Análisis de Varianza para establecer diferencias significativas entre los años 2003-2013 (Anexos sección VI.8).

#### **3.4.3.1 Conductividad específica.**

En los registros de conductividad (Figura 9) se observa que las estaciones que están en la parte alta de la cuenca (estaciones río Conay y río Chollay), registran valores de conductividad menores a  $750 \mu S/cm$ , esto según la NCh.1.333 Of.78, indica que el agua no presentó efectos perjudiciales para su uso en riego (Tabla 17).

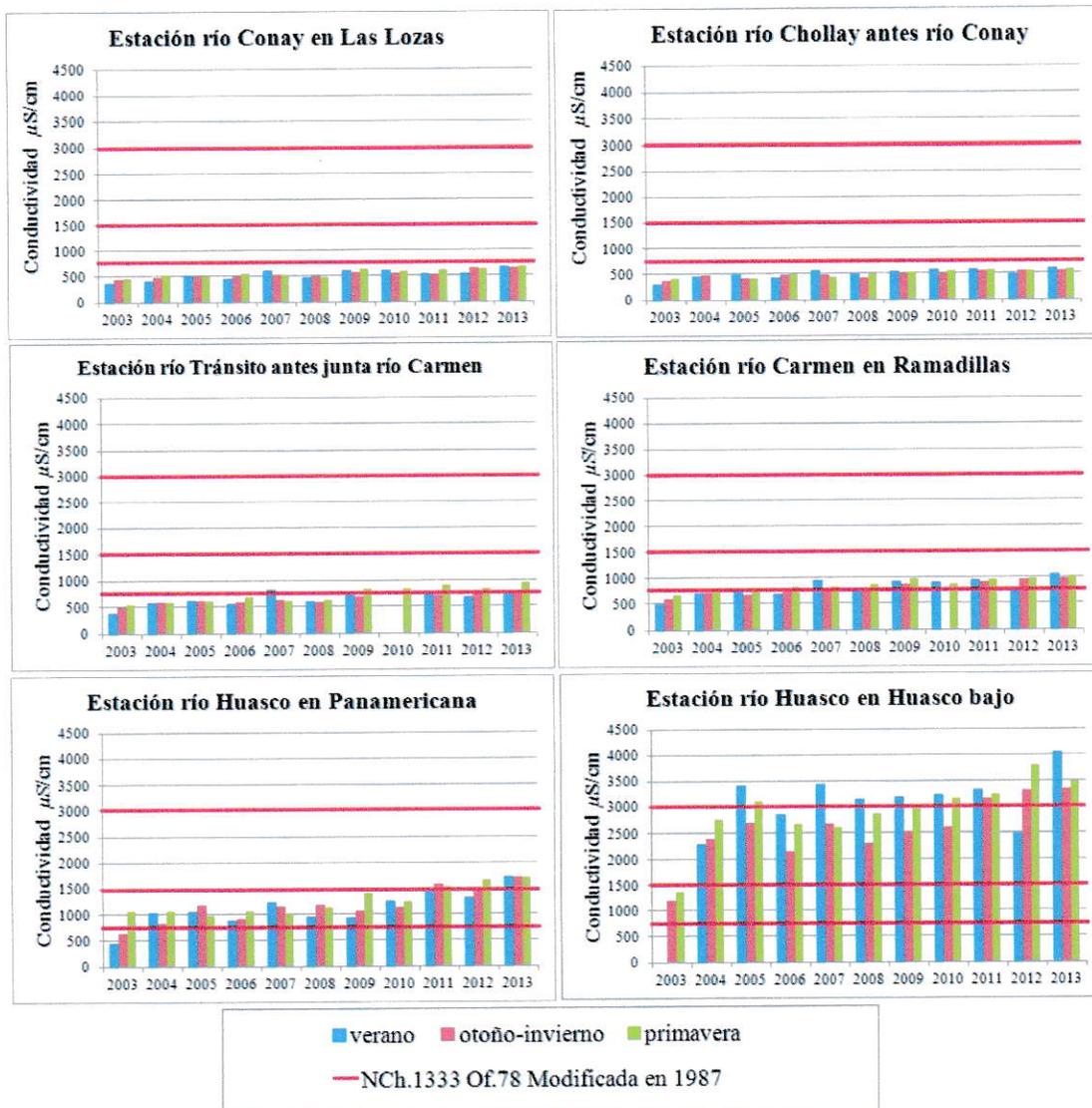
En el tramo medio de la cuenca (estaciones río Tránsito y río Carmen) se aprecia que a partir de año 2007 los registros de conductividad comenzaron a sobrepasar el límite de  $750 \mu S/cm$ , en distintas estaciones del año, lo cual indica que el agua pudo tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles.

En la parte baja de la cuenca (estaciones río Huasco en Panamericana y río Huasco en Huasco bajo) se observaron los valores más altos de conductividad y un incremento hacia los últimos años. Entre los años 2003 y 2011 en la estación río Huasco en Panamericana, los registros estuvieron en el rango de 750-1500  $\mu S/cm$ ; y entre los años 2012-2013 los registros aumentaron sobre los 1500  $\mu S/cm$ , lo cual pudo tener efectos adversos en muchos cultivos. En la estación río Huasco en Huasco bajo, durante el período 2004-2013, los registros estuvieron entre 2300-4000  $\mu S/cm$ , lo que indica que esta agua sólo debió ser utilizada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.

Los resultados de correlación de Pearson muestran que en las estaciones río Conay y río Huasco en Panamericana, existe una relación positiva muy alta ( $r > 0,8$ ) entre los registros de conductividad durante el paso de los años, en todas las estaciones del año. Las estaciones río Chollay, río Tránsito y río Carmen presentan relación alta ( $r = 0,6-0,8$ ) en la temporada de verano y relación muy alta en otoño-invierno y primavera. La estación río Huasco en Huasco bajo presenta una relación baja ( $r = 0,2-0,4$ ) en verano y relación alta en otoño-invierno y primavera. Por lo que se deduce que en esta última estación, durante la temporada de verano hubo más variaciones en las mediciones de conductividad durante el período de estudio.

Los resultados de ANOVA indican un valor crítico de  $F = 2,3$  y un valor  $p < 0,05$  en todas las estaciones de calidad de aguas. La estación río Conay presentó un valor de  $F = 10,9$ , la estación río Chollay  $F = 7,9$ , la estación río Tránsito  $F = 10,8$ , la estación río Carmen  $F = 10,8$ , la estación río Huasco en Panamericana  $F = 12,6$  y la estación río

Huasco en Huasco bajo F=5,7. Por lo tanto, en cada estación hay medias anuales de conductividad diferentes durante el período de estudio.



**Figura 9. Conductividad específica registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.**

**Tabla 17. Clasificación aguas de riego de acuerdo a condiciones de salinidad.**

<b>Clasificación</b>	<b>Conductividad específica, c, <math>\mu S/cm</math> a 25°C</b>	<b>Sólidos disueltos totales, s, mg/L a 105°C</b>
Agua con la cual generalmente no se observan efectos perjudiciales.	$c \leq 750$	$s \leq 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles.	$750 < c \leq 1500$	$500 < s \leq 1000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos	$150 < c \leq 3000$	$1000 < s \leq 2000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos	$3000 < c \leq 7500$	$2000 < s \leq 5000$

(NCh.1333.Of78, modificada en 1987)

### 3.4.3.2 pH

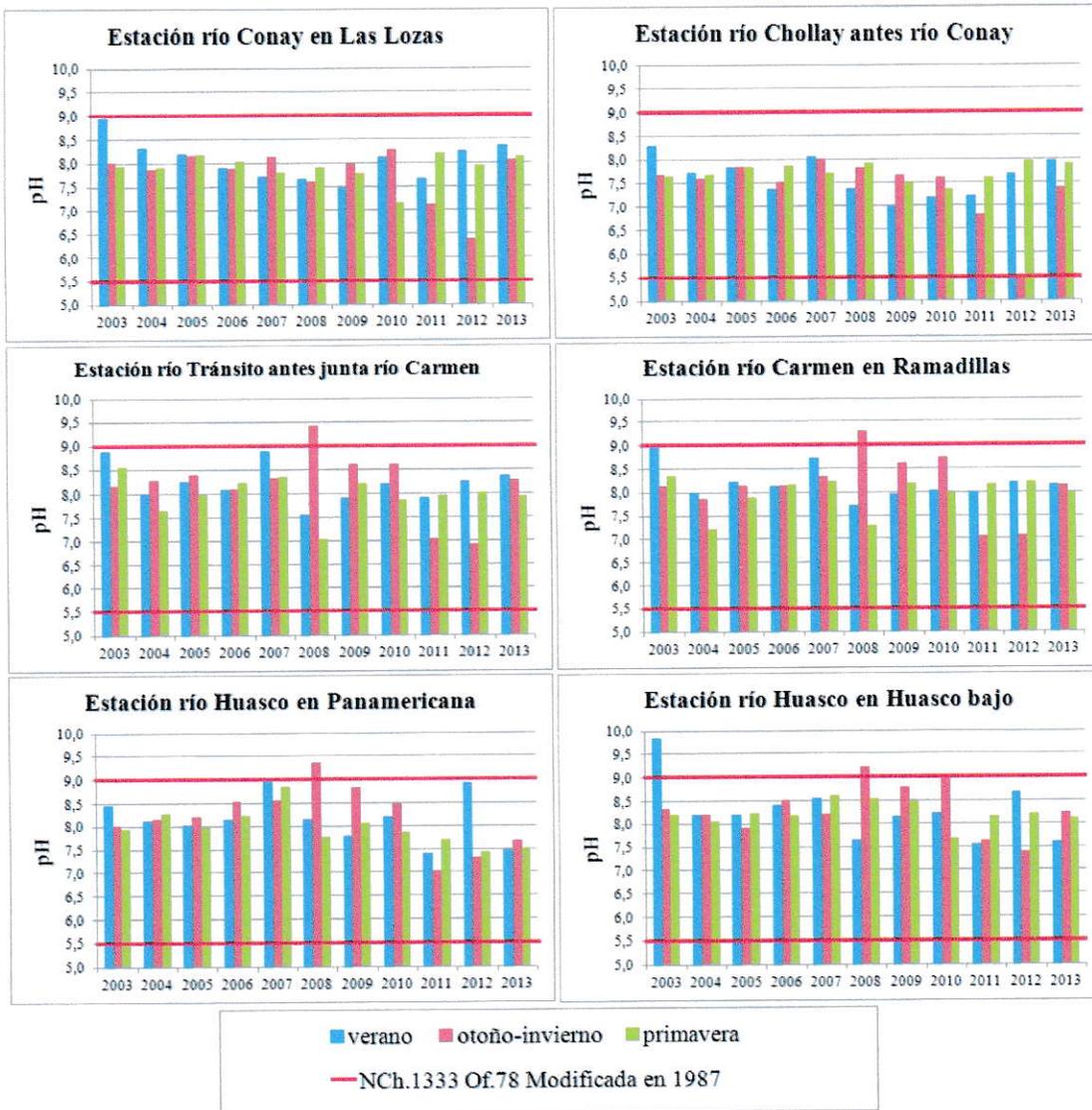
La Figura 10 muestra todos los registros de pH por estación del año, incluyendo aquellos datos determinados como outliers.

Se observa que el pH registrado presenta en un comportamiento similar de cada temporada, en todas las estaciones de monitoreo. Por ejemplo, en la temporada de verano, el año 2003 todas las estaciones de calidad de aguas presentaron mayores registros de pH. Luego, en las estaciones río Tránsito, río Carmen, río Huasco en Panamericana y Huasco en Huasco bajo, se observan 3 máximos en la temporada de verano de los años 2007, 2010 y 2012.

La temporada otoño-invierno registra 3 máximos en los años 2008, 2009 y 2010, en las estaciones río Tránsito, río Carmen, río Huasco en Panamericana y río Huasco en Huasco bajo. También se observa un alza de pH en el año 2008, que supera la NCh.1.333 Of.78 (pH 5,5 - 9) y en el año 2010 el registro medido está justo en el límite de la norma en la estación Huasco en Huasco bajo. Luego en los años 2011 y 2012 se observa una baja en el pH, que incluso en la estación río Chollay registró un valor de pH=5,46. Estos datos, según los cálculos realizados corresponden a valores atípicos (outliers).

Los resultados de Pearson muestran que los valores de significancia en todos los casos son  $>0,05$  lo que indicaría que no existe correlación entre las mediciones de pH a través de los años.

Los resultados de ANOVA indican un valor crítico de  $F= 2,3$  y un valor  $p>0,05$  en la mayoría de las estaciones de monitoreo, a excepción de la estación río Huasco en Panamericana con un valor  $p=0,04$ . Por lo tanto sólo en esa estación existen diferencias en las medias de pH durante los años 2003-2013, y en las otras estaciones no tienen diferencias significativas en los promedios anuales de pH registrados entre los años 2003-2013.



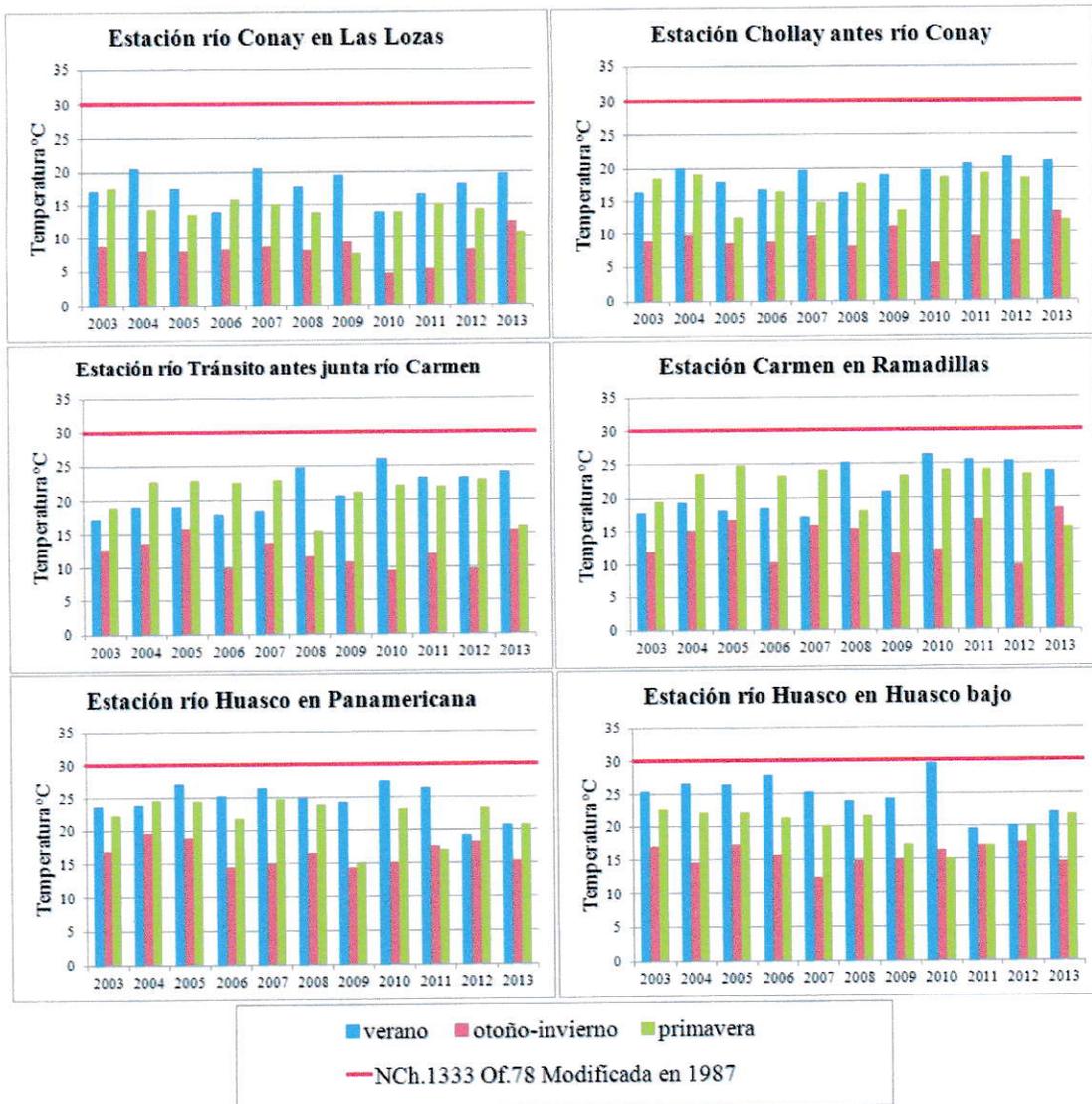
**Figura 10. pH registrado en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.**

### 3.4.3.3 Temperatura

En los registros de temperatura del agua (Figura 11), se observa que todos los valores varían de forma normal según la estación del año y no superan la normativa. Los valores más altos corresponden a la estación de verano y primavera, y los registros más bajos corresponden a la temporada de otoño-invierno.

Los resultados de correlaciones de Pearson muestran que hubo correlación sólo en la temporada de verano de las estaciones río Chollay ( $r=0,685$ ), río Tránsito ( $r=0,786$ ) y río Carmen ( $r=0,797$ ), las cuales presentaron relación positiva alta entre los registros de temperatura a través de los años. Mientras que en las otras estaciones del año y otras estaciones de calidad de aguas no hubo correlación entre los registros de temperatura con los años porque la significancia fue  $> 0,05$ .

Los resultados de ANOVA indican un valor crítico de  $F= 2,3$  y un valor  $p>0,05$  en todas las estaciones de calidad de aguas. La estación río Conay presentó un valor de  $F=0,13$ , la estación río Chollay  $F=0,15$ , la estación río Tránsito  $F=0,13$ , la estación río Carmen  $F=0,34$ , la estación río Huasco en Panamericana  $F=0,4$  y la estación río Huasco en Huasco bajo  $F=0,18$ . Por lo tanto en ninguna estación de monitoreo existe diferencias significativas en los promedios anuales de temperatura registrados en el período de estudio.



**Figura 11. Temperatura registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987. .**

#### **3.4.3.4 Razón adsorción de sodio (RAS)**

En la Figura 12, se observa que los valores de RAS se registran hasta el año 2010. En las estaciones de la parte alta y tramo medio de la cuenca valores son menores a 1 y en la zona baja de la cuenca los valores aumentan cercanos a 6 en período primavera-verano.

Los resultados de la correlaciones de Pearson muestran que según el valor de significancia, todos son valores  $>0,05$  por lo que no habría correlación.

Los resultados de ANOVA indican un valor crítico entre  $F= 2,8$  y  $F=3,1$  en las diferentes estaciones; y un valor  $p>0,05$  en todas las estaciones de calidad de aguas. La estación río Conay presentó un valor de  $F=0,7$ , la estación río Chollay  $F=0,3$ , la estación río Tránsito  $F=0,7$ , la estación río Carmen  $F=1,3$ , la estación río Huasco en Panamericana  $F=0,7$  y la estación río Huasco en Huasco bajo  $F=1$ . Por lo tanto en ninguna estación de monitoreo existe diferencias significativas en los promedios anuales de RAS registrados en el período 2003-2013.

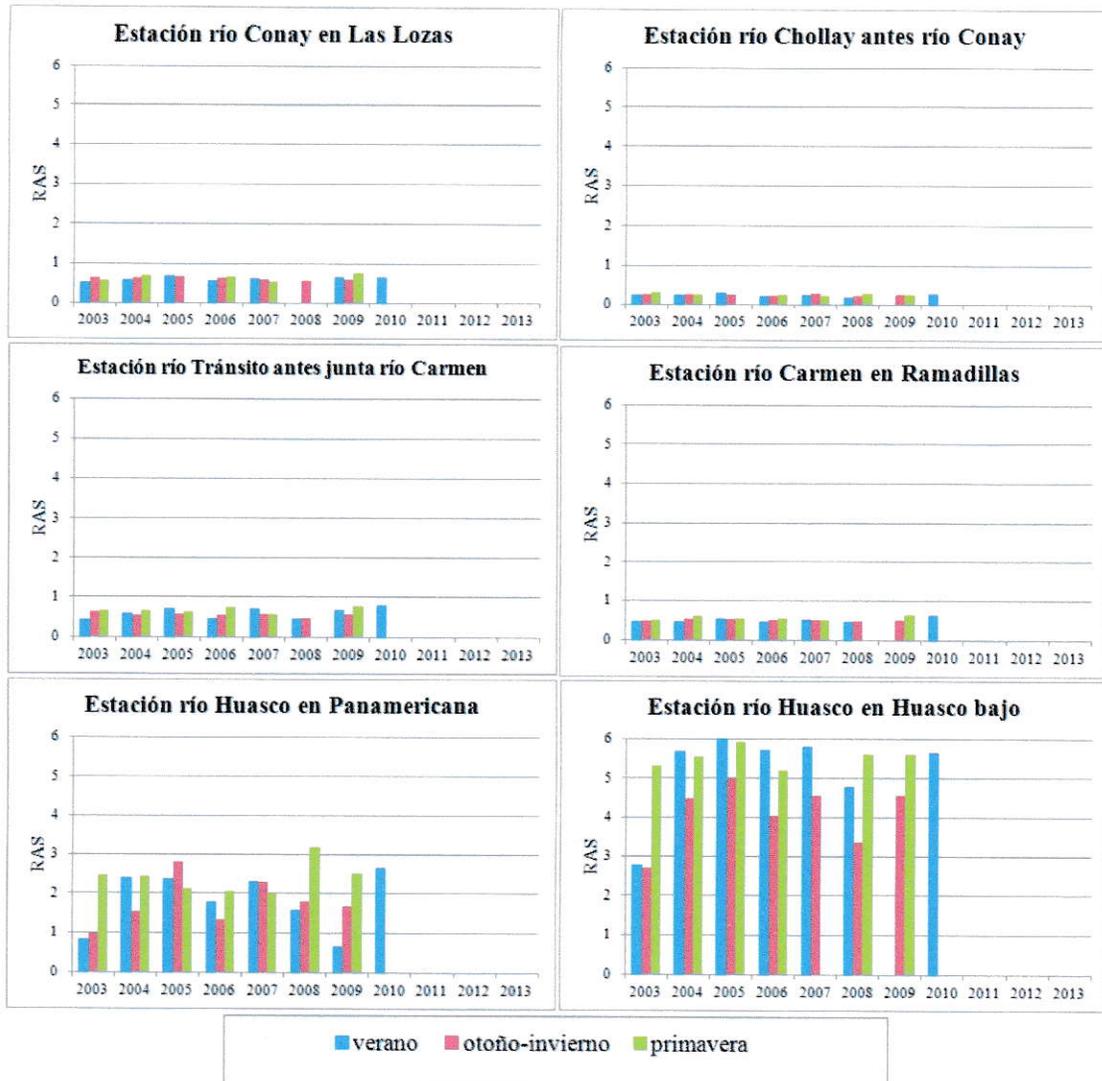


Figura 12. RAS en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013.

### 3.4.3.5 Aluminio

En la Figura 13, la concentración de Aluminio en todas las estaciones de monitoreo fue menor a límite de la norma (5mg/L). Los valores más altos, cercanos a 4 mg/L, se registraron en las estaciones de monitoreo ubicadas en la parte alta de la cuenca (estación río Conay y río Chollay), lugar donde se aprecia una alta variabilidad de los datos durante las distintas estaciones del año. Las estaciones del tramo medio y parte baja de la cuenca presentan valores bajo el límite de detección desde los años 2008 o 2009 en algunos casos. Por otra parte se detectaron 14 valores outliers en el registro total de concentración de Aluminio, que fueron eliminados para realizar el análisis.

Los resultados de correlación de Pearson muestran que sólo existe relación positiva alta en la temporada de verano de la estación río Conay ( $r=0,754$ ). En las otras estaciones del año y estaciones de calidad de aguas, no existe correlación porque la significancia es  $>0,05$  en todos los demás casos.

Los resultados de ANOVA indican un valor crítico entre  $F= 2,4$  y  $F=5$  en las diferentes estaciones; y un valor  $p>0,05$  en todas las estaciones de calidad de aguas. La estación río Conay presentó un valor de  $F=0,6$ , la estación río Chollay  $F=0,54$  la estación río Tránsito  $F=0,72$ , la estación río Carmen  $F=0,35$ , la estación río Huasco en Panamericana  $F=0,17$  y la estación río Huasco en Huasco bajo  $F=0,5$ . Por lo tanto, todas las estaciones de monitoreo presentan promedios anuales de concentración de Aluminio sin diferencia significativa, durante los años 2003-2013.



**Figura 13. Concentración de Aluminio registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.**

#### 3.4.3.6 Arsénico

Los registros de concentración de arsénico (Figura 14) fueron bajo el límite de la normativa (0,1 mg/L) en todas las estaciones de monitoreo de calidad de aguas, durante el período de estudio. En el caso que no hay datos asociado a un año se debe a que estuvieron bajo el límite de detección o bien correspondían a valores outliers. Por ejemplo, la estación río Chollay registró 4 valores menores al límite de detección en la temporada de primavera y 3 datos outliers durante el período de estudio. En total se encontraron 6 valores <LD y 14 datos outliers en los registros de todas las estaciones.

Los resultados de correlación de Pearson muestra que en la temporada de verano la relación de concentración de arsénico a través del tiempo fue positiva y alta en las estaciones río Conay ( $r=0,652$ ), río Chollay ( $r=0,698$ ) y río Tránsito ( $r=0,713$ ); la relación fue negativa alta en la estación río Carmen ( $r=-0,724$ ); en la estación río Huasco en Panamericana no hubo correlación; y en la estación río Huasco en Huasco bajo la relación fue negativa muy alta ( $r=-0,863$ ). En la temporada otoño-invierno no hubo correlación en las estaciones río Conay y río Chollay; en las demás estaciones hubo relación negativa muy alta en estación río Carmen ( $r=-0,894$ ) y relación negativa alta en estaciones río Tránsito ( $r=-0,694$ ), río Huasco en Panamericana ( $r=-0,699$ ) y río Huasco en Huasco bajo ( $r=-0,731$ ). En primavera sólo hubo correlación en la estación río Carmen, donde la relación fue negativa alta ( $r=-0,796$ ).

Los resultados de ANOVA indican un valor un valor  $p>0,05$  en 3 estaciones de calidad de aguas (río Conay, río Tránsito y río Huasco en Panamericana). Por lo tanto en las estaciones río Chollay, río Carmen y río Huasco en Huasco bajo existe diferencias

significativas en los promedios anuales de concentración de arsénico, registrados durante el período de estudio.



**Figura 14. Concentración de Arsénico registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.**

### 3.4.3.7 Cobre

Según la Figura 15, las concentraciones de cobre en el período de estudio no superaron la normativa (0,2 mg/L). Los valores más cercanos al límite corresponden a 2 registros en primavera, en los años 2007 y 2010, en la estación río Conay. Las estaciones río Carmen, río Huasco en Panamericana y río Huasco en Huasco bajo presentaron pocos datos de continuidad en los gráficos, ya que la mayoría de sus registros fueron <LD. En estas estaciones de monitoreo hay 55 datos <LD y 3 valores outliers.

Los resultados de correlación de Pearson muestran que en la temporada de verano sólo existe correlación en la estación río Conay, la cual es una relación positiva muy alta ( $r=0,826$ ). En la temporada de otoño-invierno sólo existe correlación en la estación río Chollay, la que presenta relación positiva muy alta ( $r=0,821$ ). En la temporada de primavera existe relación positiva alta en estación río Chollay ( $r=0,757$ ) y relación positiva muy alta en estación río Tránsito ( $r=0,854$ ). En la estación río Carmen y río Huasco en Panamericana hubieron registros de concentración de Cobre constantes en el tiempo, por lo que no fue posible calcular correlación.

Los resultados de ANOVA indican un valor  $p < 0,05$  en 2 estaciones de calidad de aguas (río Chollay y río Tránsito). El valor de F crítico de la estación río Chollay es 2,7 y el valor F del Análisis de varianza es 3,6. El valor F crítico de la estación río Tránsito es 2,3 y el valor F del Análisis de varianza es 2,9. Por lo tanto estas estaciones presentan diferencias significativas las medias anuales de la concentración de cobre durante los años 2003-2013.



**Figura 15. Concentración de Cobre registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.**

### 3.4.3.8 Hierro

En la Figura 16, las concentraciones de Hierro están muy por debajo de la normativa (5 mg/L). Los valores más altos, cercanos a 1,5 mg/L, corresponden a la estación río Conay, donde los mayores registros ocurren en la temporada otoño-invierno. Las estaciones del tramo medio y bajo de la cuenca, en la temporada de primavera, registran la menor cantidad de datos, porque la muchos de ellos están bajo el límite de detección (20 datos <LD) y otros corresponden a outliers (11 datos outliers).

Los resultados de Pearson muestran que en la temporada de verano hubo correlación positiva en las estaciones río Conay ( $r=0,667$ ) y río Huasco en Panamericana ( $r=0,825$ ), siendo la relación de fuerza alta y muy alta, respectivamente. La temporada otoño-invierno muestra relación positiva alta en las estaciones río Conay ( $r=0,644$ ) y río Chollay ( $r=0,702$ ). Las demás estaciones presentan significancia  $>0,05$ , por lo cual no existe correlación.

Los resultados de ANOVA indican un valor crítico entre  $F= 2,3$  y  $F=2,6$  en las diferentes estaciones; y un valor  $p>0,05$  en la mayoría de las estaciones de calidad de aguas a excepción de la estación río Huasco en Panamericana con  $p=0,04$ . La estación río Conay presentó un valor de  $F=1,2$ , la estación río Chollay  $F=0,8$  la estación río Tránsito  $F=0,3$ , la estación río Carmen  $F=1,6$ , la estación río Huasco en Panamericana  $F=2,8$  y la estación río Huasco en Huasco bajo  $F=1$ . Por lo tanto, sólo en la estación río Huasco en Huasco bajo existe diferencias significativas en las medias anuales de concentración de hierro, registrados en el período de estudio.



**Figura 16. Concentración de Hierro registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.**

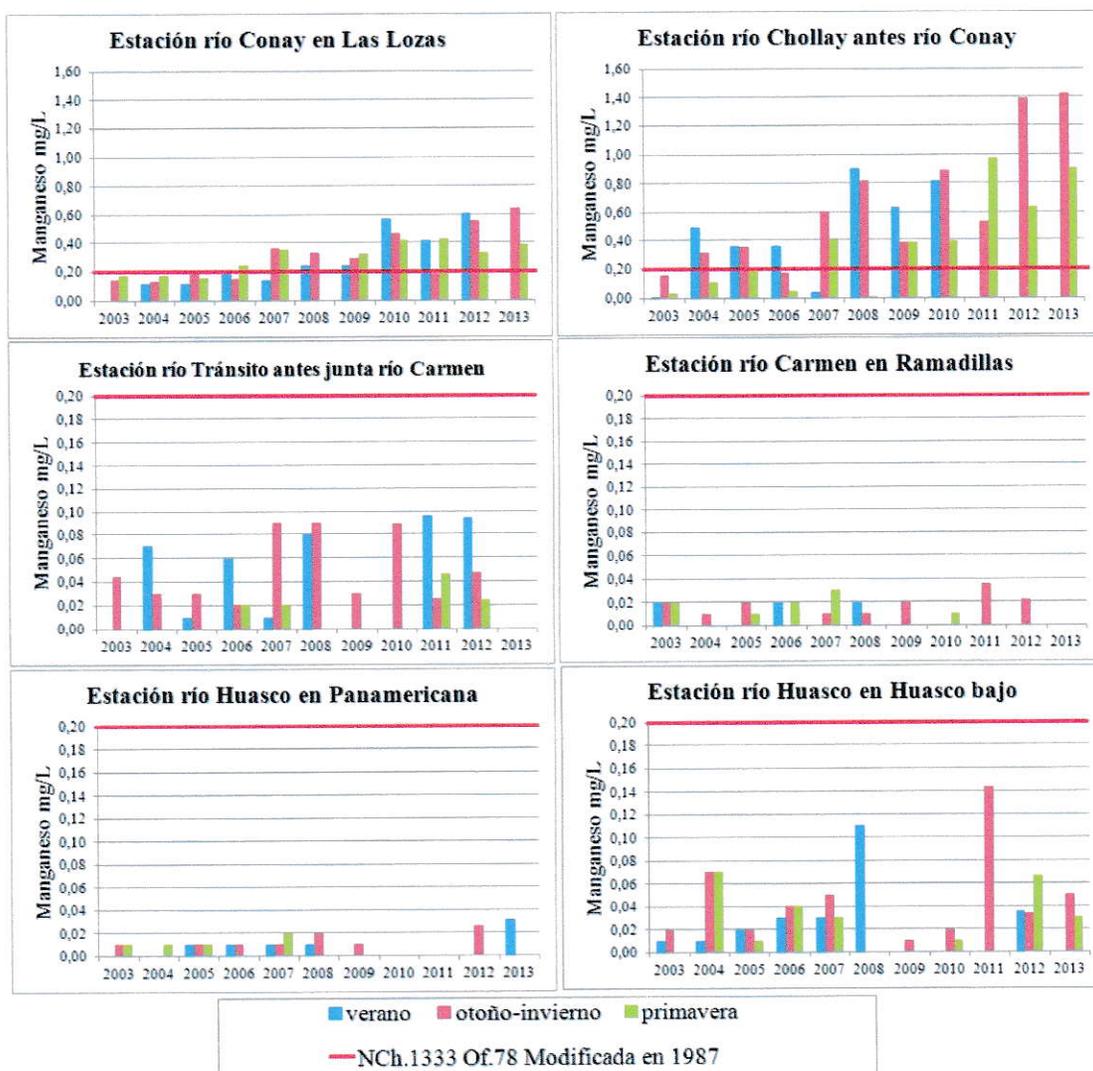
### 3.4.3.9 Manganeso

En la Figura 17, la concentración de Manganeso está por sobre la norma (0,2 mg/L) en las estaciones de la parte alta de la cuenca. En la estación río Conay los valores sobre el límite de la norma se registran a partir del año 2007 en la temporada otoño-invierno y primavera, y le sigue los valores registrados en la temporada de verano comienzan a crecer y superar la normativa desde el año 2008 en adelante. En la estación río Chollay los registros comienzan a superar la norma de forma variable entre los años 2004 -2008. Luego a partir del año 2009 en todas las estaciones del año se sobrepasa la norma y los valores son crecientes al paso del tiempo, destacándose la temporada otoño invierno que registra un valor de 1,4 mg/L y temporada primavera con un valor de 0,9 mg/L, en el año 2013. Respecto a las otras estaciones de calidad de aguas, ningún valor registrado sobrepasa la normativa, existen 45 datos <LD y 13 datos outliers.

Los resultados de Pearson muestran que en la temporada de verano hubo correlación positiva muy alta en las estaciones río Conay ( $r=0,887$ ) y río Huasco en Panamericana ( $r=0,933$ ). La temporada otoño-invierno muestra relación positiva muy alta en las estaciones río Conay ( $r=0,803$ ) y río Chollay ( $r=0,840$ ) y relación positiva alta en río Huasco en Panamericana ( $r=0,769$ ). En la temporada de primavera existe relación positiva muy alta en las estaciones río Conay ( $r=0,862$ ) y río Chollay ( $r=0,834$ ). Las demás estaciones presentan significancia  $>0,05$ , por lo cual no existe correlación.

Los resultados de ANOVA indican un valor  $p<0,05$  en 3 estaciones de calidad de aguas (río Conay, río Chollay y río Huasco en Huasco bajo). El valor de F crítico de la estación río Conay es 2,4 y el valor F del Análisis de varianza es 5,7. El valor F crítico

de la estación río Chollay es 2,3 y el valor F del Análisis de varianza es 3,8. El valor F crítico de la estación río Huasco en Huasco bajo es 2,7 y el valor F del Análisis de varianza es 7,3. Por lo tanto estas estaciones presentan diferencias significativas los promedios anuales de la concentración de manganeso durante los años 2003-2013.



**Figura 17. Concentración de Manganeso registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.**

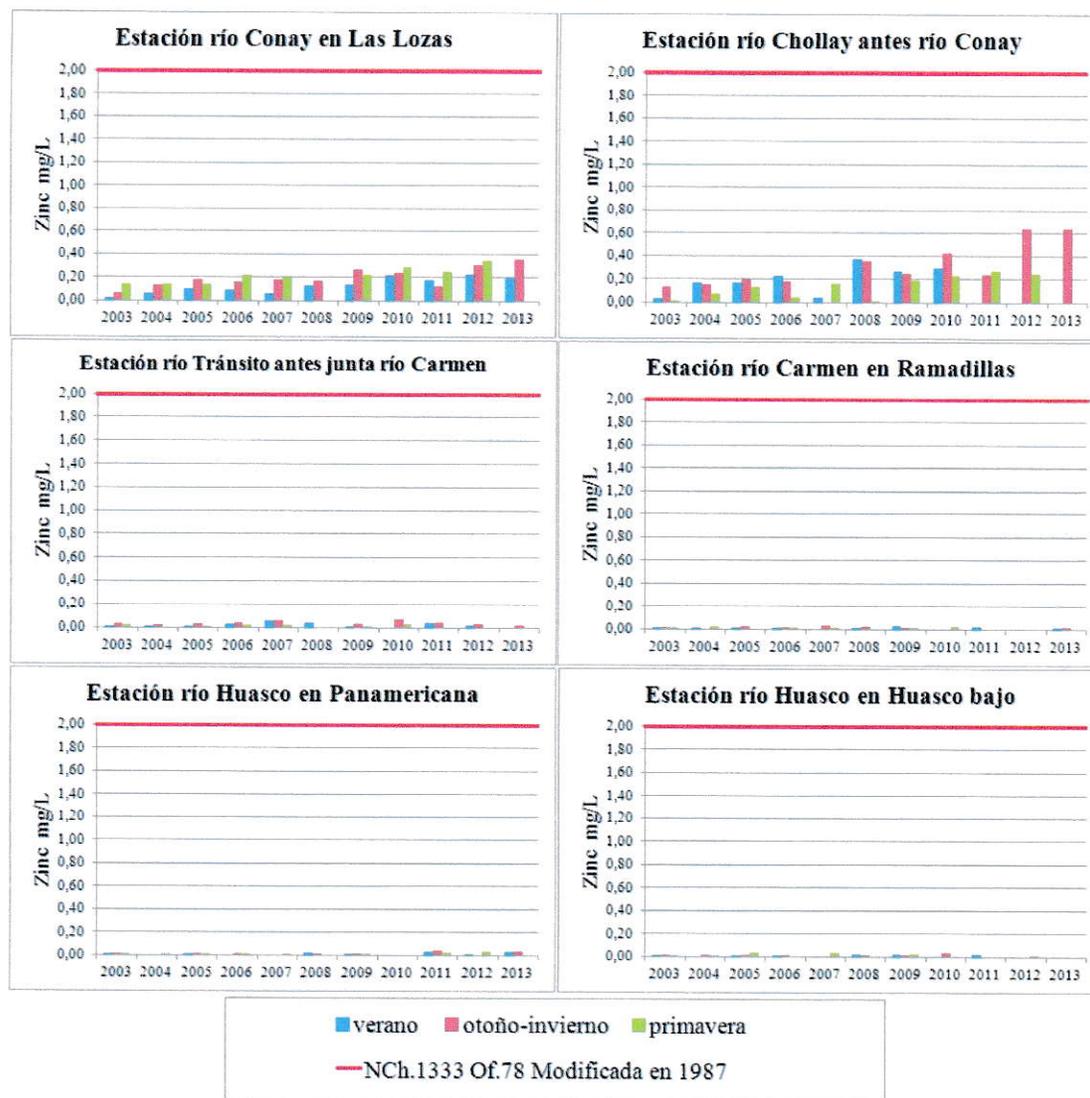
### 3.4.3.10 Zinc

La concentración de Zinc (Figura 18) registrada en las distintas estaciones del año, no supera el límite de la norma (2 mg/L) en ninguna estación de monitoreo de calidad de aguas. Las gráficas que presentan mejor continuidad en los datos corresponden a las estaciones de la parte alta de la cuenca, lo cual indica que la mayoría de sus registros es mayor al límite de detección. Las estaciones del tramo medio de la cuenca poseen más datos <LD en la temporada de primavera. Las estaciones de la parte baja de la cuenca presentan pocos datos continuos, la mayoría de los datos corresponde a 0,01 mg/L. del total de datos de las estaciones del tramo medio y baja de la cuenca, 35 datos son <LD y 7 datos corresponden a outliers.

Los resultados de Pearson muestran que en la temporada de verano hubo correlación positiva muy alta en las estaciones río Conay ( $r=0,929$ ) y río Huasco en Huasco bajo ( $r=0,882$ ). La temporada otoño-invierno muestra relación positiva alta en la estación río Conay ( $r=0,780$ ) y relación muy alta en la estación río Chollay ( $r=0,844$ ). En la temporada de primavera existe relación positiva muy alta en las estaciones río Conay ( $r=0,924$ ) y río Huasco en Panamericana ( $r=0,826$ ) y una relación apositiva alta en estación río Chollay ( $r=0,799$ ). Las demás estaciones presentan significancia  $>0,05$ , por lo cual no existe correlación.

Los resultados de ANOVA indican un valor  $p<0,05$  en 3 estaciones de calidad de aguas (río Conay, río Chollay y río Huasco en Panamericana). El valor de F crítico de la estación río Conay es 2,3 y el valor F del Análisis de varianza es 4. El valor F crítico de la estación río Chollay es 2,4 y el valor F del Análisis de varianza es 3,6. El valor F

crítico de la estación río Huasco en Panamericana es 2,9 y el valor F del Análisis de varianza es 6. Por lo tanto estas estaciones presentan diferencias significativas las medias anuales de la concentración de zinc en el período de estudio.



**Figura 18. Concentración de Zinc registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.**

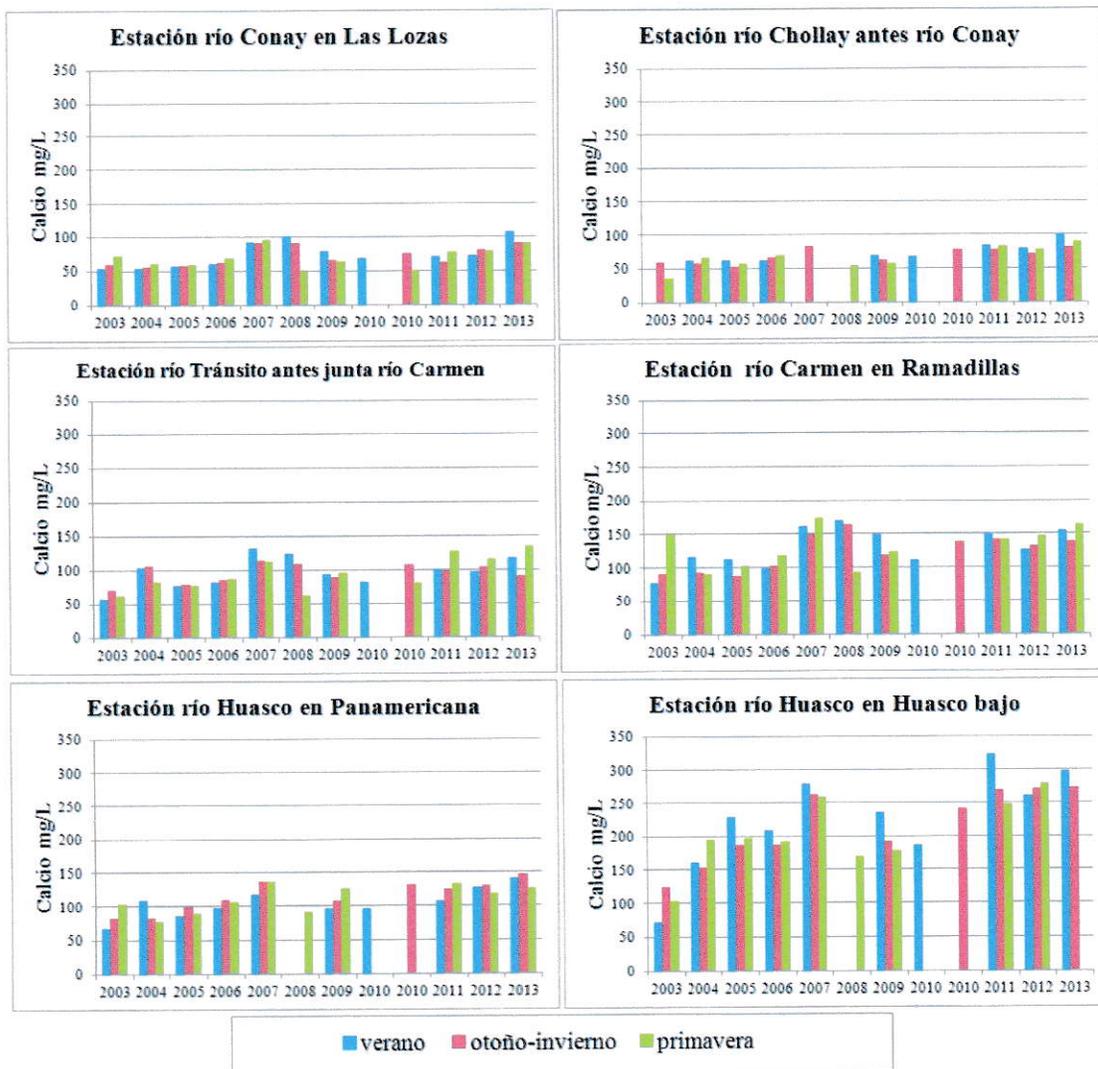
### 3.4.3.11 Calcio

En la Figura 19, se aprecia que todas las estaciones del año presentan un comportamiento similar en todas las estaciones de monitoreo. Por ejemplo hasta el año 2007 se registra un aumento de la concentración de calcio todas las temporadas del año. Luego en la temporada de primavera del año 2008 se registró una disminución abrupta en la concentración en toda la cuenca, mientras que la concentración registrada en la temporada otoño-invierno y verano seguía en aumento. Los mayores valores de concentración de calcio en la cuenca se registraron en la estación Huasco en Huasco bajo, llegando a medir 324 mg/L de calcio total el año 2011.

Los resultados de Pearson muestran que en la temporada de verano hubo correlación positiva muy alta en la estación río Chollay ( $r=0,856$ ) y relación positiva alta en las estaciones río Conay ( $r=0,613$ ) y río Huasco en Huasco bajo ( $r=0,748$ ). La temporada otoño-invierno muestra relación positiva alta en las estaciones río Chollay ( $r=0,722$ ) y río Carmen ( $r=0,683$ ) y relación positiva muy alta en las estaciones río Huasco en Panamericana ( $r=0,802$ ) y Huasco en Huasco bajo ( $r=0,877$ ). En la temporada de primavera existe relación positiva alta en las estaciones río Chollay ( $r=0,787$ ), río Tránsito ( $r=0,743$ ) y río Huasco en Huasco bajo ( $r=0,705$ ). Las demás estaciones presentan significancia  $>0,05$ , por lo cual no existe correlación.

Los resultados de ANOVA de calcio indican que entre los años 2003-2010 la mayoría de las estaciones tiene un valor  $p<0,05$  por lo que presentaría medias anuales de concentración de calcio similares, a excepción de la estación río Chollay ( $p=0,125$ ).

Entre los años 2010-2013 indican un valor  $p < 0,05$  sólo en la estación río Conay, (con  $F_{crit}=4,3$  y  $F_{obt.}=5,9$ ), lo cual muestra que en esta estación existen diferencias significativas en los promedios de concentraciones.



**Figura 19. Concentración de Calcio registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013.**

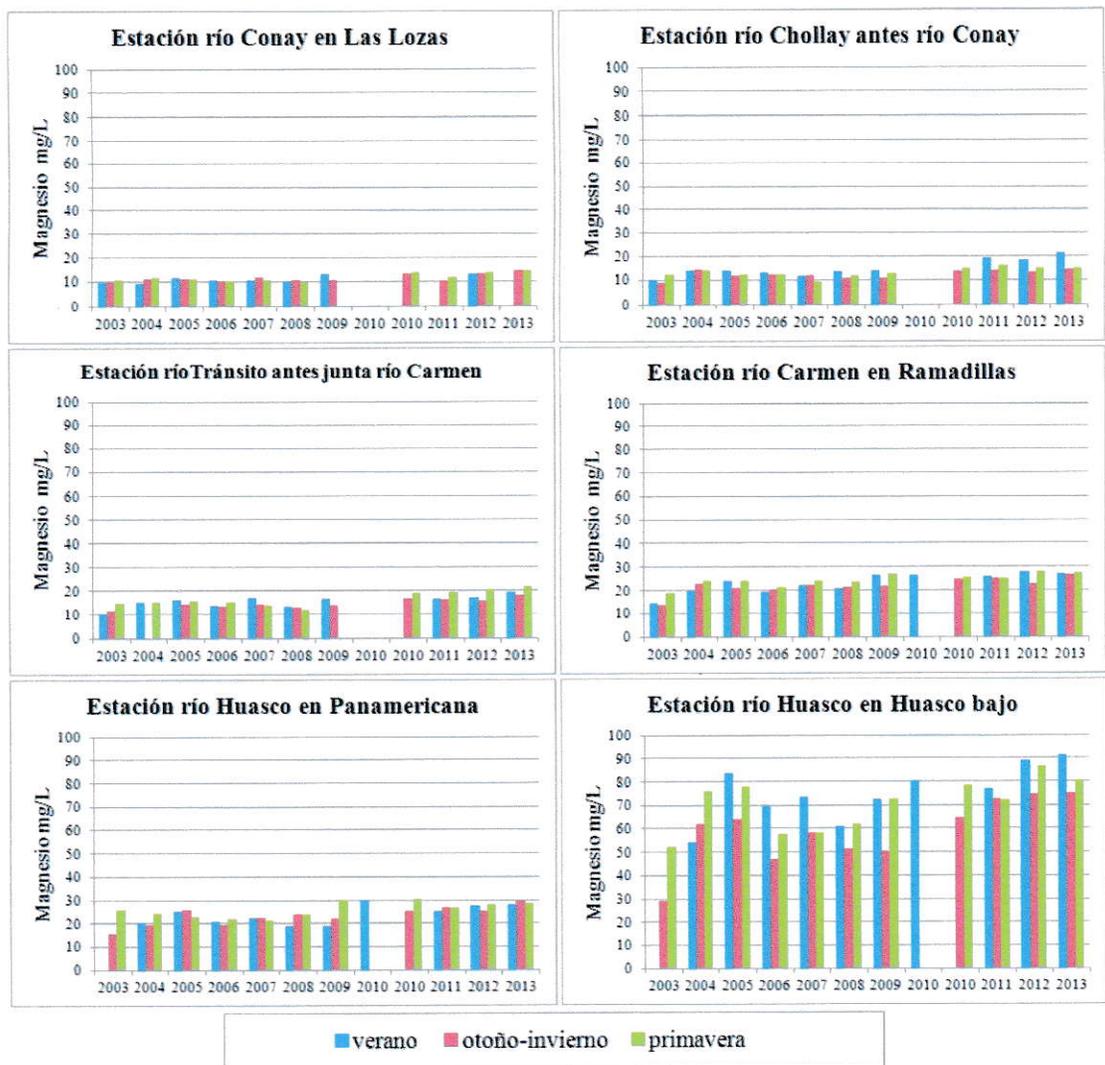
### 3.4.3.12 Magnesio

Los registros de Magnesio (Figura 20), muestran que las concentraciones son similares en cada estación del año, sólo en la estación río Huasco en Panamericana se observan diferencias en la temporada primavera con respecto a las otras estaciones del año. En el año 2010, se eliminaron los datos outliers de la temporada de verano en las estaciones río Conay, río Chollay y río Tránsito. En total se encontraron 11 datos outliers en todos los registros de la cuenca y sólo 1 dato fue <LD. Las mayores concentraciones se midieron en la estación río Huasco en Huasco bajo, donde el máximo valor se registró en la temporada de verano (91 mg/L de magnesio total).

Los resultados de Pearson muestran que en la temporada de verano las estaciones con correlación muy alta fueron: río Conay ( $r=0,823$ ), río Chollay ( $r=0,871$ ) y río Carmen ( $r=0,856$ ); y las estaciones con relación alta fueron: río Tránsito ( $r=0,725$ ) y río Huasco en Huasco bajo ( $r=0,694$ ). La estación río Huasco en Panamericana presentó un valor  $r=0,532$  y  $\text{sig.}=0,14$ , lo que indica que no hubo correlación. La temporada otoño-invierno muestra relación positiva alta en las estaciones río Chollay ( $r=0,666$ ), río Carmen ( $r=0,767$ ), río Huasco en Panamericana ( $r=0,758$ ) y río Huasco en Huasco bajo ( $r=0,722$ ); y relación positiva muy alta en la estación río Tránsito ( $r=0,849$ ). En la temporada de primavera existe relación positiva alta en las estaciones río Conay ( $r=0,735$ ), río Chollay ( $r=0,603$ ), río Tránsito ( $r=0,768$ ) y río Carmen ( $r=0,8$ ). La estación río Huasco en Panamericana presentó un valor de correlación  $r=0,621$  y  $\text{sig.}=0,055$ ; y la estación río Huasco en Huasco bajo presentó un valor  $r=0,600$  y

sig.=0,051, lo cual da cuenta que si bien la correlación es alta, el valor de significancia dice que no es completamente confiable establecer tal correlación.

Los resultados de ANOVA de Magnesio entre los años 2003-2010, indican un valor  $p < 0,05$  en 2 estaciones de calidad de aguas (río Carmen y río Huasco en Huasco bajo). El valor de F crítico en estas estaciones es 2,8 y los valores de F del análisis de varianza es 6,5 en estación río Carmen y 3,5 en estación río Huasco en Huasco bajo. Por lo tanto, estas estaciones presentan diferencias significativas los promedios anuales de la concentración. Los resultados de ANOVA durante los años 2010-2013,1 indican un valor  $p < 0,05$  sólo en la estación río Conay, con un valor crítico de F de 5,4 y un valor de F entregado en análisis de varianza de 13,1, lo cual muestra que en esta estación existen diferencias significativas en los promedios de concentraciones.



**Figura 20. Concentración de Magnesio registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013.**

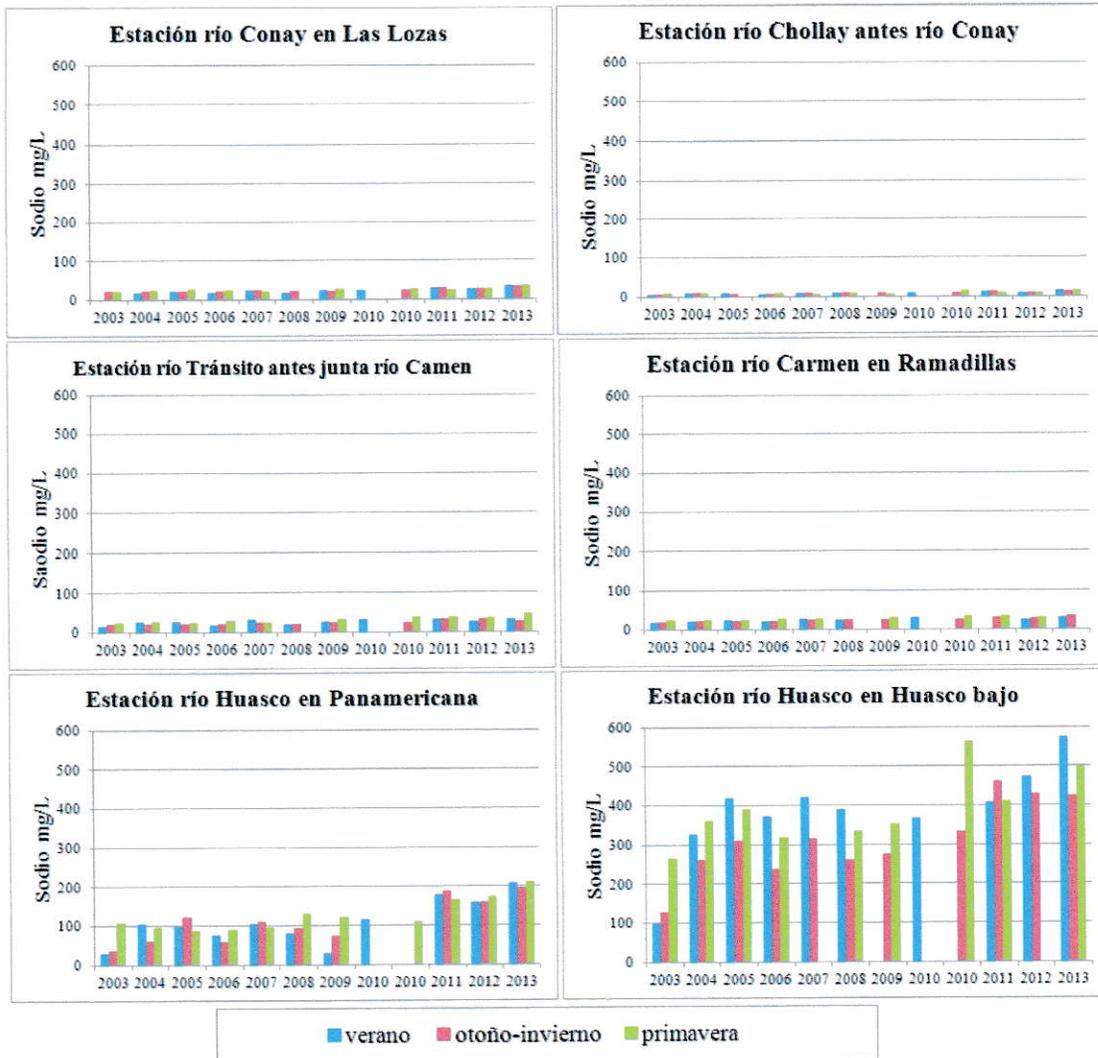
### 3.4.3.13 Sodio

La Figura 21, muestra que las concentraciones fueron similares en las temporadas del año de cada estación de monitoreo, a excepción de la estación Huasco en Huasco bajo que durante los años 2010-2013 registra un aumento en las concentraciones de la temporada de verano y una disminución en la temporada otoño-invierno. Las mayores concentraciones de Sodio se registraron en las estaciones de la parte baja de la cuenca, registrándose un valor de 207 mg/L en la estación río Huasco en Panamericana y 573 mg/L en la estación río Huasco en Huasco bajo, durante la temporada de verano del año 2013. En el total de registros se encontraron 10 datos outliers y todos los datos sobre el límite de detección.

Los resultados de correlación de Pearson muestran que existe relación positiva alta ( $r=0,6-0,8$ ) y muy alta ( $r=0,8-1$ ) en la mayoría de las estaciones del año, y mayoría de estaciones de calidad de aguas, a excepción de la temporada primavera de estación río Chollay ( $r=0,532$  y  $\text{sig.}=0,113$ ) y temporada de verano en la estación río tránsito ( $r=0,601$  y  $\text{sig.}=0,051$ ).

Los resultados de ANOVA entre los años 2003-20110, indican un valor  $p<0,05$  sólo en la estación río Huasco en Huasco bajo. El valor de F crítico en esta estación es 2,8 y el valor de F del análisis de varianza es 3,9, lo cual muestra que presenta diferencias significativas los promedios anuales de la concentración. Los resultados de ANOVA entre los años 2010-2013, indican un valor  $p<0,05$  en las estaciones río Conay y río Huasco en Panamericana, con un valor crítico de F de 4,3 y 4,8, respectivamente. El valor de F entregado en análisis de varianza de 9,1 en estación río Conay y 25,7 en

estación río Huasco, lo cual muestra que en estas estación existen diferencias significativas en los promedios de concentraciones.



**Figura 21. Concentración de Sodio registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013.**

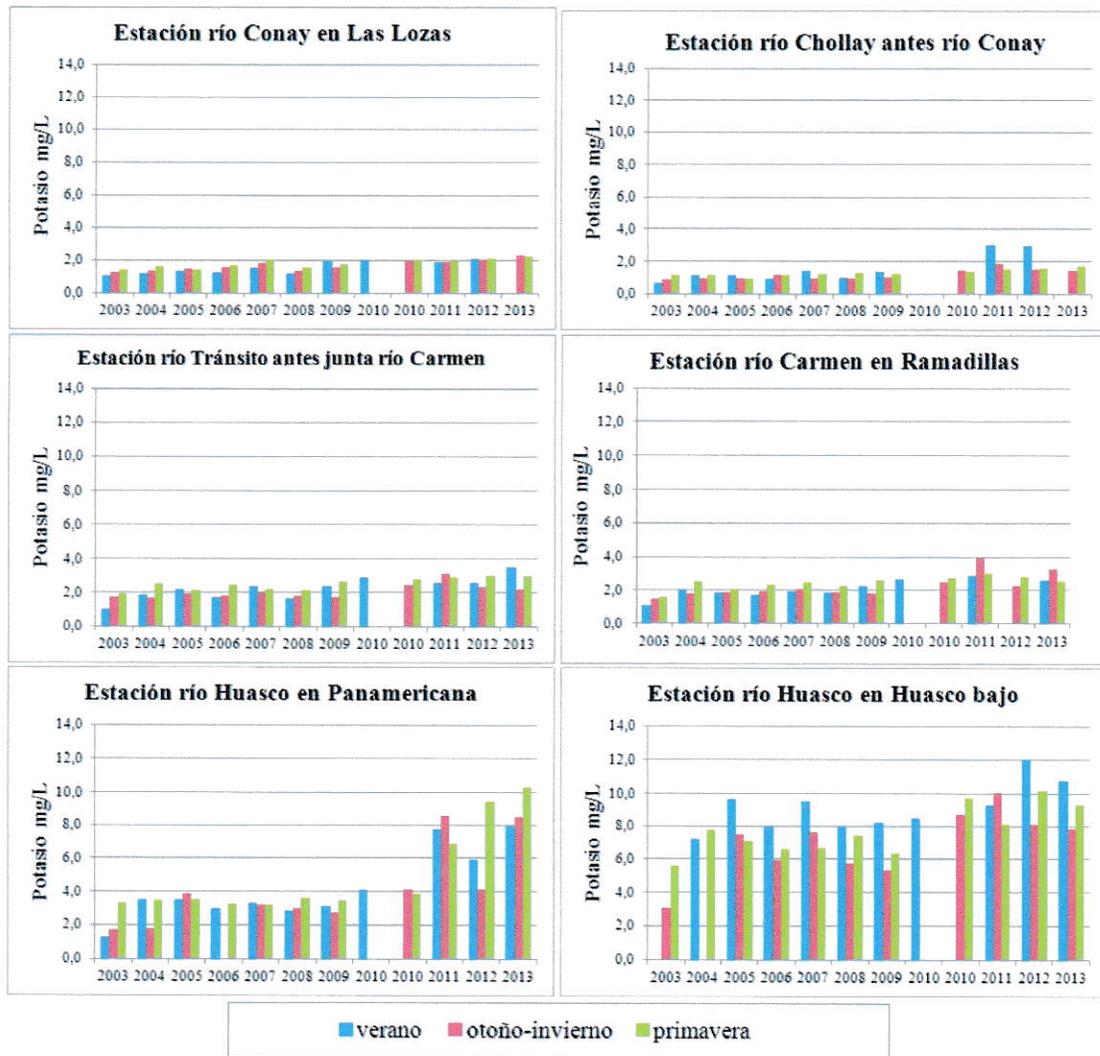
#### 3.4.3.14 Potasio

En la mayoría de las estaciones de calidad de aguas, las concentraciones de Potasio (Figura 22) registradas durante el período 2003-2009 muestran una similitud en las estaciones del año, a excepción de la estación río Tránsito, que muestra algunas diferencias en la temporada de primavera, respecto a las otras temporadas. A partir del año 2010, se aprecia que existe distinto comportamiento en cada estación del año. Por ejemplo la estación río Chollay presenta un alza significativa en la temporada de verano 2011 y 2012 que sobresale del promedio de los años anteriores. Situación similar ocurre en la estación río Carmen en la temporada otoño-invierno del año 2011 y 2013, en que la concentración registrada tiene un comportamiento diferente. En general las concentraciones de potasio en agua son bajas y lo mayores valores se registraron en la estación río Huasco en Huasco bajo con un máximo de 12 mg/L en la temporada de verano. Se encontraron 7 datos outliers y todos los registros estuvieron sobre el límite de detección.

Los resultados de correlaciones de Pearson muestran que en todas las estaciones de calidad de aguas y en todas las estaciones del año hubo correlaciones positivas altas ( $r=0,6-0,8$ ) y muy altas ( $r=0,8-1$ ). La temporada otoño-invierno, presenta los valores de  $r$  con menor fuerza, en comparaciones a las otras temporadas, esto deber ser porque presenta más variaciones de concentración de potasio a los largo de los años.

Los resultados de ANOVA entre los años 2003-2010 indican un valor  $p<0,05$  en 2 estaciones de calidad de aguas (río Conay y río Carmen). El valor de  $F$  crítico en estas estaciones es 2,7 y los valores de  $F$  del análisis de varianza es 4,1 en estación río Conay

y 3,6 en estación río Carmen. Por lo tanto, estas estaciones presentan diferencias significativas los promedios anuales de la concentración. Los resultados de ANOVA entre los años 2010-2013, indican un valor  $p < 0,05$  sólo en la estación río Conay, con  $F_{crit.} = 4,8$  y  $F_{obt.} = 26,4$ , lo cual muestra que en esta estación existen diferencias significativas en los promedios de concentraciones.



**Figura 22. Concentración de Potasio registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013.**

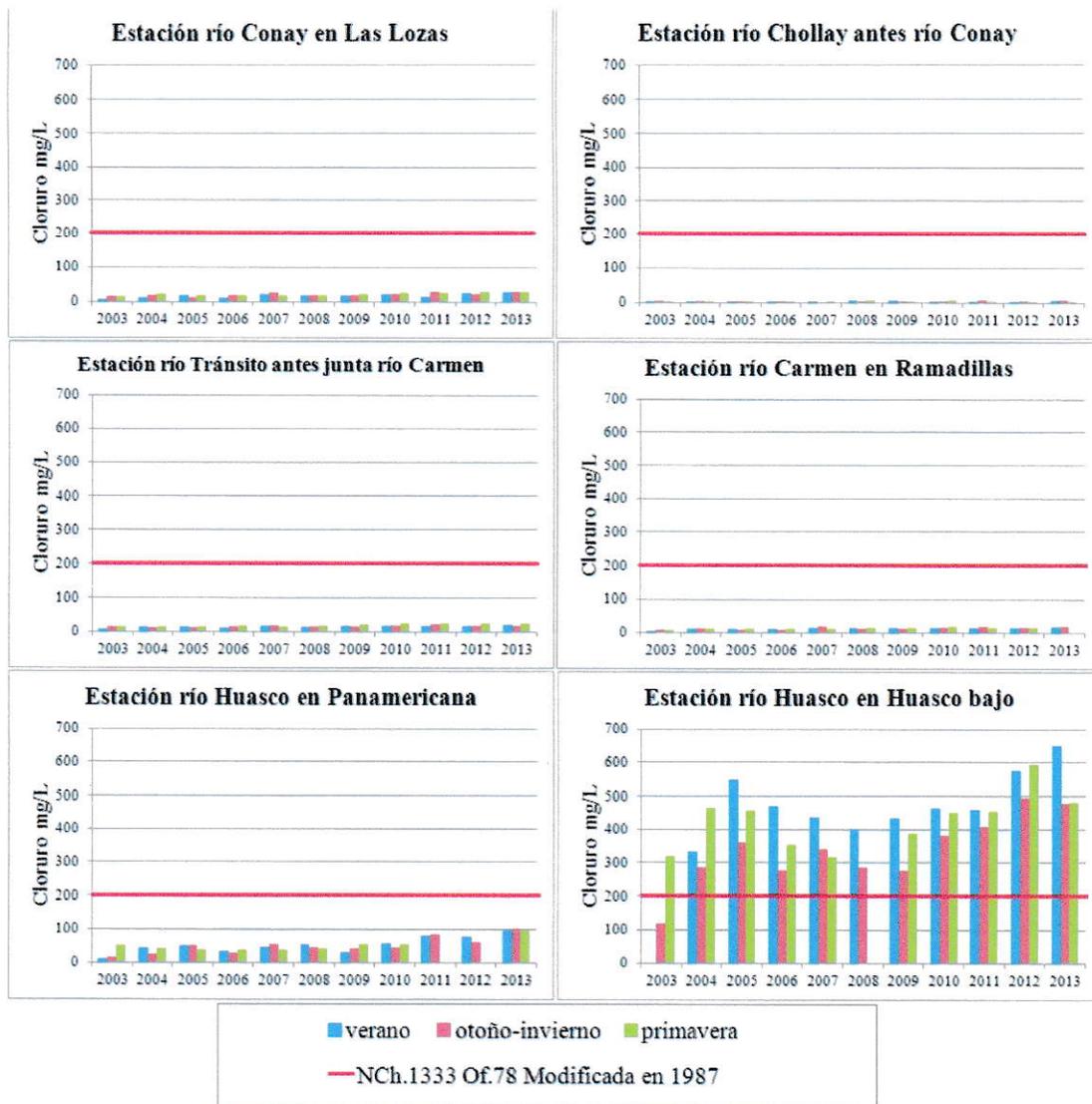
### 3.4.3.15 Cloruro

En la Figura 23, se observa que la mayoría de las estaciones presentan niveles bajo de Cloruro, muy lejanos al límite que establece la NCh.1.333 Of.78 (200 mg/L), a excepción en la estación río Huasco en Huasco bajo, donde se sobrepasa la normativa a partir de la primavera del año 2003 con valores sobre los 300 mg/L, llegando a registrar valores de 650 mg/L en la temporada de verano de 2013. Esta estación de calidad de aguas, en la temporada de verano y primavera, se registraron los valores más altos.

Los resultados de correlación de Pearson muestran que existe relación positiva alta ( $r=0,6-0,8$ ) y muy alta ( $r=0,8-1$ ) en la mayoría de las estaciones del año, y mayoría de estaciones de calidad de aguas, a excepción de la temporada primavera de estación río Chollay ( $r=0,044$  y  $\text{sig.}=0,898$ ) y en la estación río Huasco en Huasco bajo temporada de verano ( $r=0,619$  y  $\text{sig.}=0,056$ ) y primavera ( $r=0,59$  y  $\text{sig.}=0,073$ ).

Los resultados de ANOVA indican un valor crítico de  $F= 2,3$  y un valor  $p<0,05$  en la mayoría de las estaciones de calidad de aguas a excepción de la estación río Chollay con  $p=0,059$ . La estación río Conay presentó un valor de  $F=4,2$ , la estación río Chollay  $F=2,2$  la estación río Tránsito  $F=3,5$ , la estación río Carmen  $F=10,3$ , la estación río Huasco en Panamericana  $F=14,8$  y la estación río Huasco en Huasco bajo  $F=4,54$ . Por lo tanto, sólo en la estación río Chollay las medias anuales de concentración de cloruro son similares entre si y en las otras estaciones de monitoreo se observan diferencias significativas, durante los años 2003-2013.





**Figura 23. Concentración de Cloruro registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013, y valor límite (línea en rojo) que menciona la NCh.1.333 Of.78, modificada en 1987.**

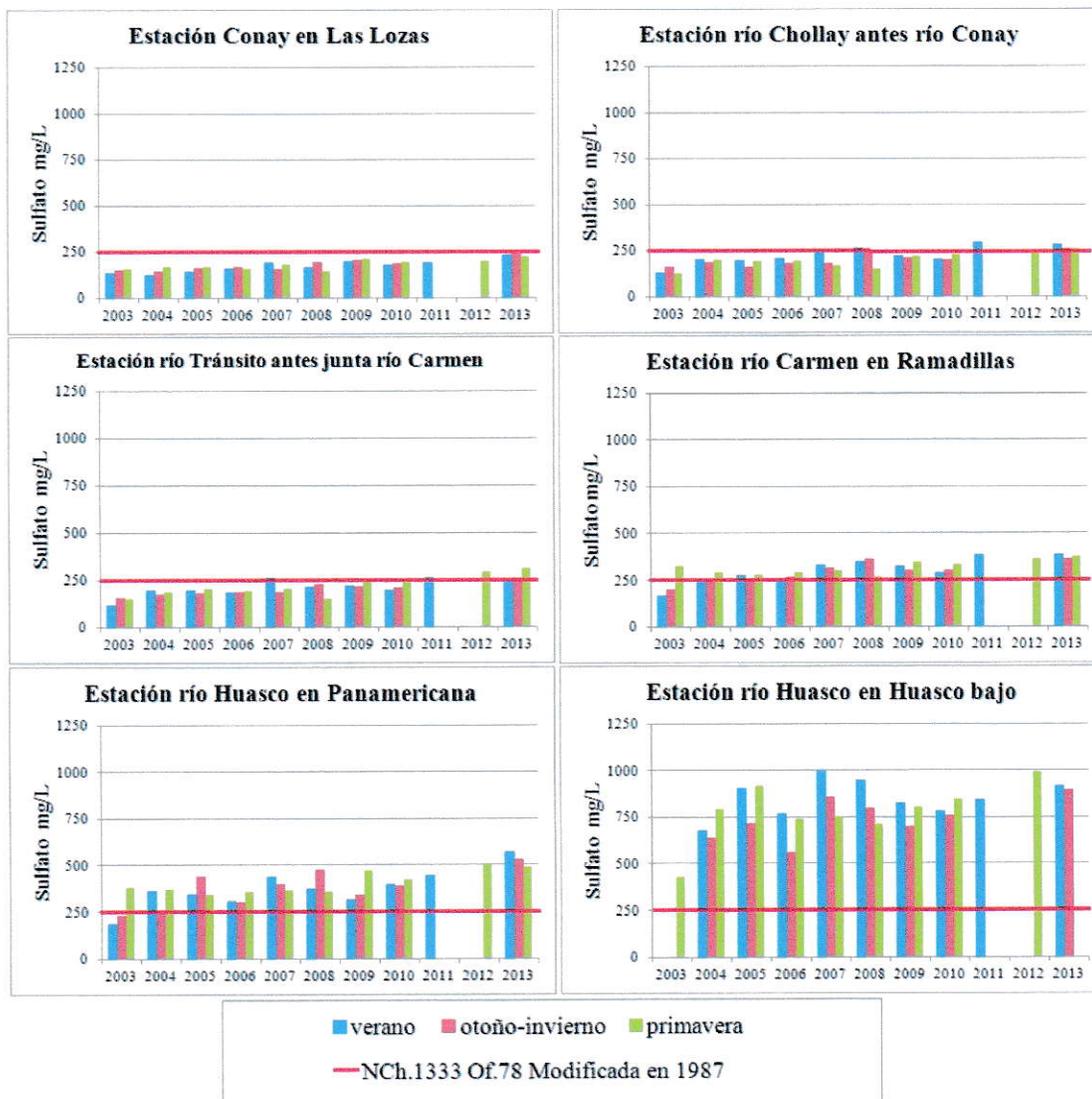
### 3.4.3.16 Sulfato

La Figura 24, muestra que en la estación río Conay las concentraciones de Sulfato no sobrepasan la normativa (250 mg/L), pero en el registro del año 2013 está cercano a alcanzar el valor límite. En las estaciones río Chollay y río Tránsito se sobrepasa la normativa en algunas oportunidades durante la temporada de verano y primavera; y las mediciones del año 2013, todas sobrepasan la norma. En las estaciones río Carmen y río Huasco en Panamericana los registros superan el límite normado a partir del año 2004, llegando a mediciones de 385 mg/L y 574 mg/L durante la temporada de verano del año 2013. La estación río Huasco en Huasco bajo supera la norma durante todo el período de estudio, llegando a valores de 923 mg/l en verano de 2013. En el total de registro se encontraron 5 datos outliers y todos sobre el límite de detección. Los datos faltantes en los años 2011 y 2012 se deben a que en esos años sólo se midió en 1 oportunidad.

Los resultados de correlación de Pearson muestran que sólo en la estación río Huasco en Huasco bajo no existe correlación entre la concentración del sulfato a través del tiempo, ya que la temporada de otoño-invierno tuvo un valor  $r=0,653$  y  $\text{sig.}=0,079$  y la temporada de primavera  $r=0,638$  y  $\text{sig.}=0,065$ . El valor de significancia fue  $>0,05$ , lo cual no permite asegurar que exista correlación. Las otras estaciones de calidad de aguas presentaron correlación positiva alta y muy alta en todas las temporadas del año.

Los resultados de ANOVA indican un valor crítico entre  $F=2,4$  y  $F=2,5$  y un valor  $p<0,05$  en todas las estaciones de calidad de aguas. La estación río Conay presentó un valor de  $F=11$ , la estación río Chollay  $F=5,5$ , la estación río Tránsito  $F=6,5$ , la

estación río Carmen F=4,6, la estación río Huasco en Panamericana F=4,1 y la estación río Huasco en Huasco bajo F=3,1. Por lo tanto, todas las estaciones presentan diferencia significativas entre los promedios anuales de concentración de sulfato durante el período de estudio.



**Figura 24. Concentración de Sulfato registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013.**

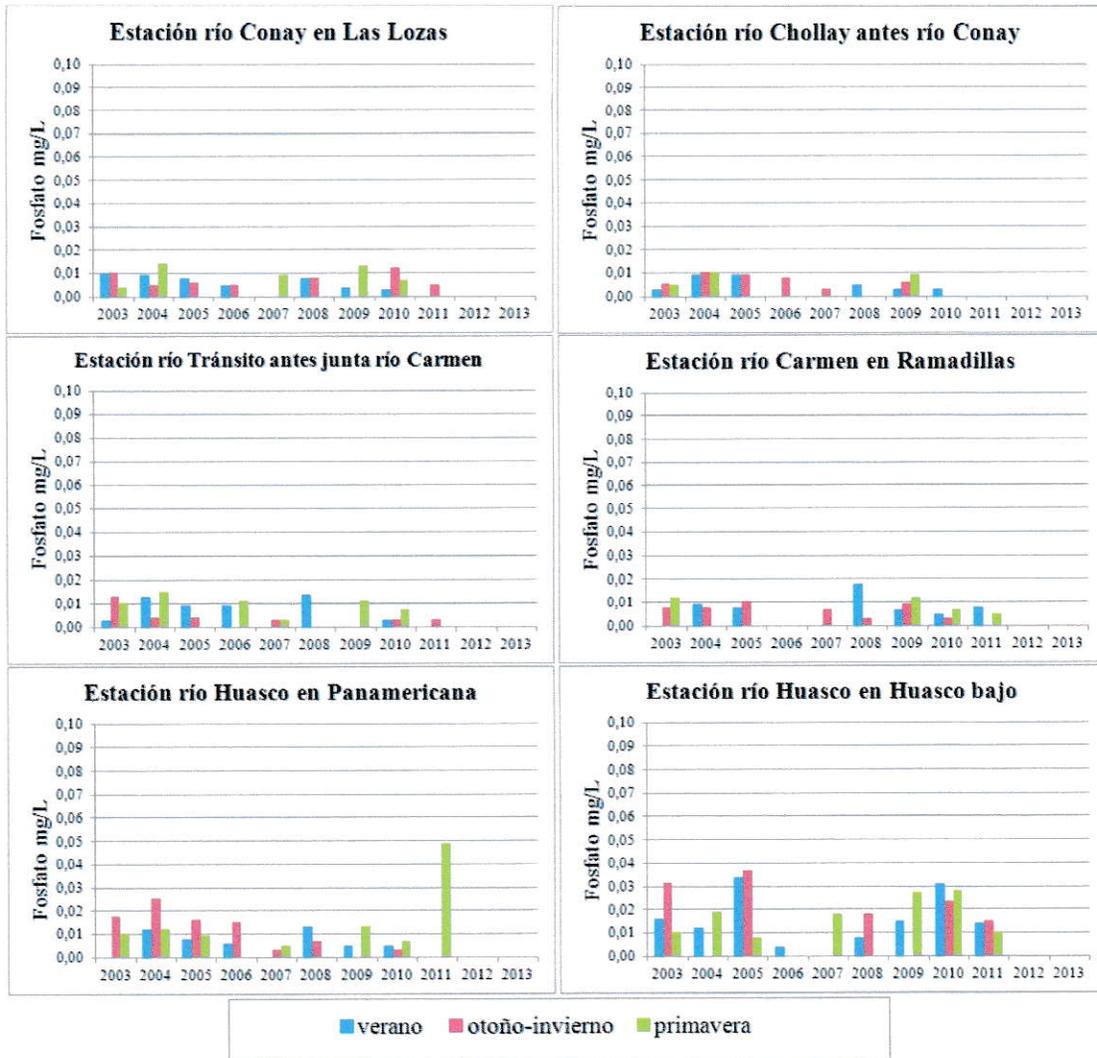
### 3.4.3.17 Fosfato

Las concentraciones de Fosfato (Figura 25) se registran hasta el año 2011 con un total de 30 datos <LD y con 23 valores outliers. La NCh.1.333, no menciona un límite máximo permitido en aguas para riego, pero es importante conocer las concentraciones, ya que si bien este es un micronutriente requerido por las plantas, el sobreconsumo en el uso agrícola podría generar elevadas concentraciones de fosfato causando eutrofización de ríos o lagos. En este caso se aprecia que a nivel de cuenca ocurre un comportamiento parecido, la temporada de primavera mantiene oscilaciones constantes donde no existe un gran aumento en las concentraciones comparando el inicio y final del período. En la temporada de verano se observa que en las estaciones de la parte alta de la cuenca la concentración no presenta grandes variaciones, pero en las estaciones del tramo medio y parte baja si hay variaciones en la concentración durante el período de estudio.

Los resultados de correlación de Pearson muestra que en la mayoría de las estaciones de calidad y temporadas del año no existe correlación entre la concentración de fosfato y el tiempo, a excepción de la estación río Conay que presenta relación negativa muy alta en la temporada de verano ( $r=-0,849$ ) y la estación río Huasco en Panamericana con relación negativa muy alta en la temporada otoño-invierno ( $r=-0,859$ ).

Los resultados de ANOVA indican un valor crítico entre  $F=2,8$  y  $F=3,5$  y un valor  $p>0,05$  en todas las estaciones de calidad de aguas. La estación río Conay presentó un valor de  $F=0,3$ , la estación río Chollay  $F=2,7$ , la estación río Tránsito  $F=1,4$ , la estación río Carmen  $F=0,3$ , la estación río Huasco en Panamericana  $F=1,6$  y la estación

río Huasco en Huasco bajo F=1. Por lo tanto, todas las estaciones tienen medias anuales de concentración de fosfato similar entre si durante el período de estudio.



**Figura 25. Concentración de Fosfato registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013.**

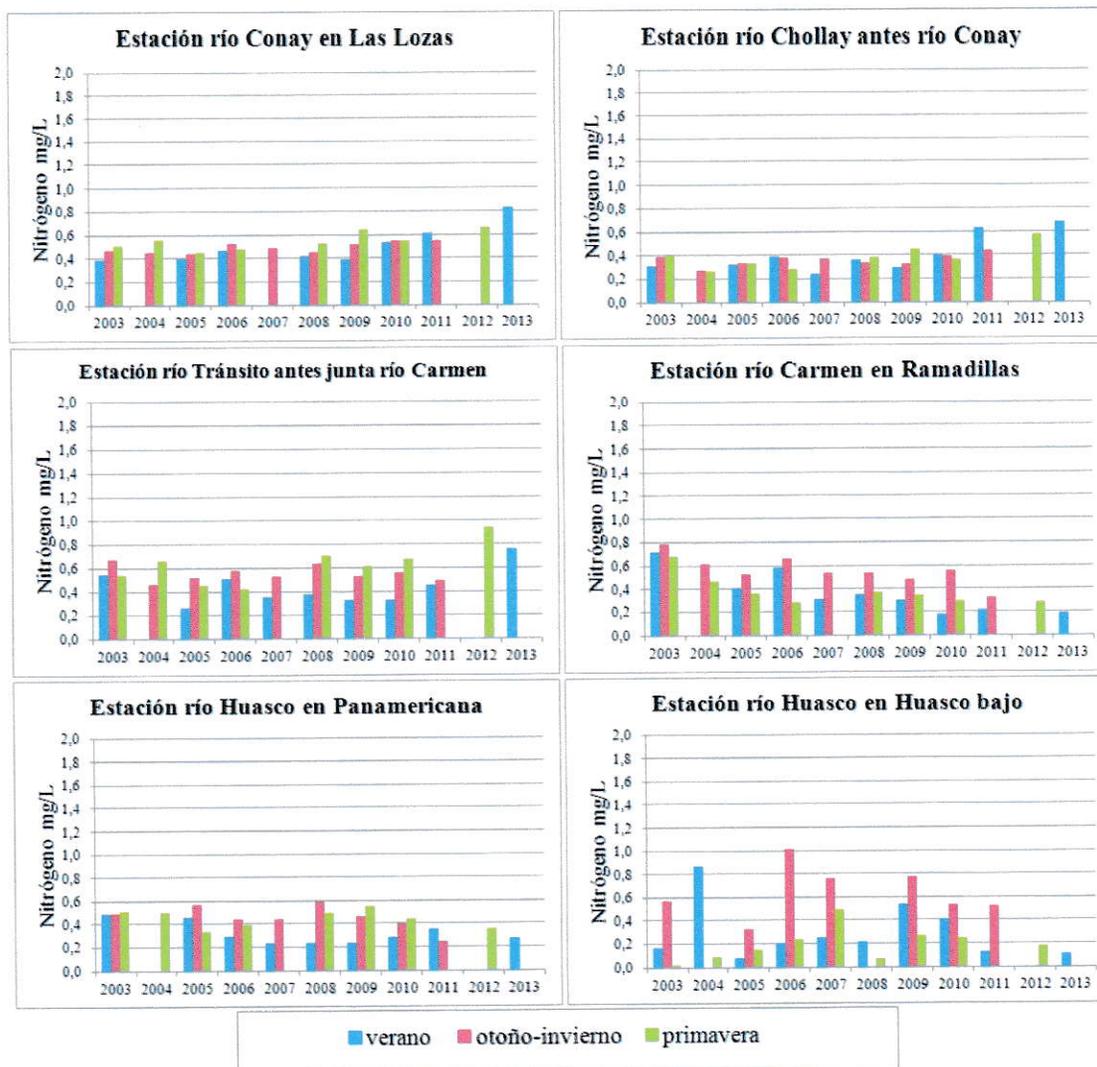
### 3.4.3.18 Nitrógeno

El Nitrógeno no es mencionado en la NCh.1.333, sin embargo, al igual que el Fosfato, es de interés conocer su concentración en las aguas, por su efecto en la eutrofización. En este caso la concentración de Nitrógeno (Figura 26) muestra un comportamiento constante en el tiempo hasta el año 2010 donde se mide Nitrógeno de Nitrato ( $\text{N-NO}_3$ ). A partir del año 2011, se realizaron menos mediciones anuales, por lo que no es posible observar diferencias entre las distintas temporadas de los años 2012 y 2013. En el total de los registros se encontraron 16 datos outliers y todos los valores sobre el límite de detección.

Los resultados de correlaciones de Pearson muestran que las estaciones río Conay y río Chollay presentan correlaciones positivas altas en la temporada de verano ( $r=0,762$  y  $r=0,748$ , respectivamente). Mientras que la estación río Carmen presenta relación negativa muy alta en verano ( $r=-0,866$ ) y relación negativa alta en otoño-invierno ( $r=-0,705$ ) y primavera ( $r=-0,733$ ). Las demás estaciones de calidad muestran valores de significancia  $>0,05$  en las distintas temporadas, por lo que no habría correlación.

Los resultados de ANOVA de  $\text{N-NO}_3$  indican un valor  $p>0,05$  en todas las estaciones de calidad de aguas. El valor de F crítico en estas estaciones es 2,8 y los valores de F del análisis de varianza es 0,9 en estación río Conay, 1,2 en estación río Chollay, 0,6 en río Tránsito, 2,4 en estación río Carmen, 0,6 en río Huasco en Panamericana y 0,7 en río Huasco en Huasco bajo. Por lo tanto, estas estaciones presentan diferencias significativas los promedios anuales de la concentración de nitrato,

durante los años 2003-2010. Los resultados de ANOVA de N-(NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>) indican un valor p>0,05 en todas las estaciones, lo cual muestra que las medias anuales de concentración de nitrato + nitrito son similares entre si durante los años 2011-2013.



**Figura 26. Concentración de Nitrógeno registrada en estaciones del año. Cuenca del río Huasco, período 2003-2013.**

#### **3.4.4 Comparación de la calidad de aguas en las distintas estaciones de monitoreo**

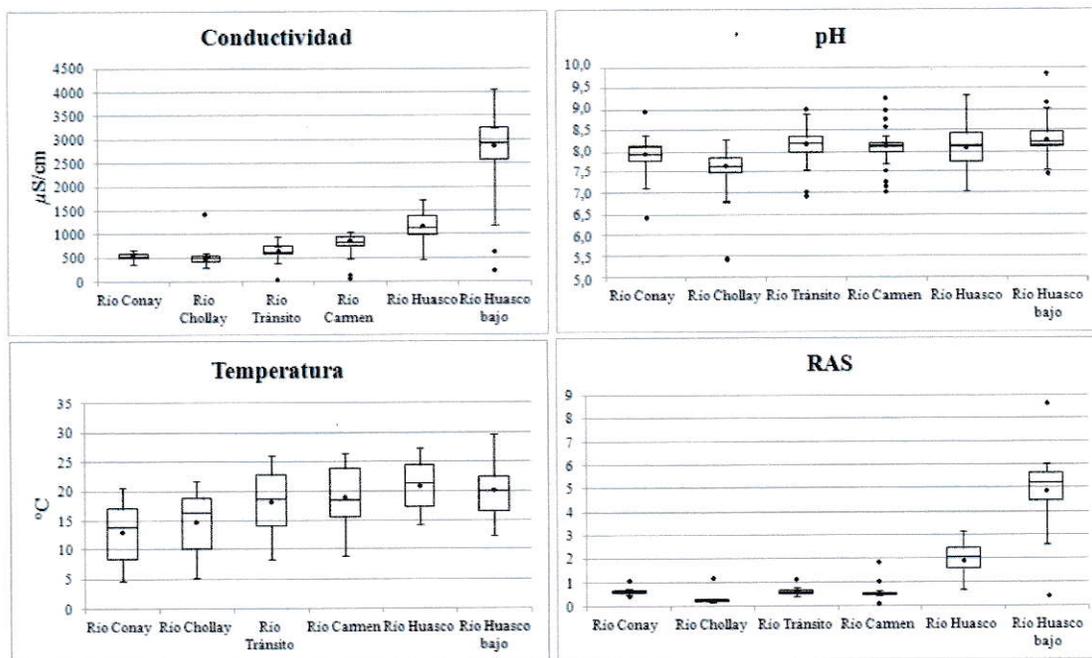
Desde la Figura 27 a la Figura 31 se muestran los Diagramas de cajas y bigotes, en el cual se puede apreciar de otra forma visual, la diferencia entre los registros de parámetros según cada estación de monitoreo de calidad de aguas. Por otra parte, el Análisis de Varianza (Anexos sección VI.9), permite conocer si hubo diferencias significativas entre los registros de cada estación de calidad de aguas durante el periodo de estudio.

La Figura 27 muestra los diagramas de cajas y bigotes para Conductividad, pH, RAS y Temperatura.

En el diagrama de cajas de Conductividad y RAS se aprecia que las estaciones río Huasco en Panamericana y río Huasco en Huasco bajo presentan una diferencia notable en comparación a las otras estaciones al registrar los valores más altos. Los resultados de ANOVA para estos parámetros indican que existe diferencia significativa entre las medias de los registros medidos durante el período 2003-2013. Sin embargo en el caso de RAS, no existen diferencias significativas entre las medias de las estaciones río Conay y río Tránsito.

En los diagramas de caja de pH y temperatura no se observa una diferencia tan marcada entre las estaciones, pero el ANOVA indica que si hay diferencias significativas de las medias de los registros entre las estaciones de monitoreo. El resultado de ANOVA de pH muestra que las estaciones río Tránsito, río Carmen, río Huasco en Panamericana y Huasco en Huasco bajo no tienen diferencias en los promedios calculados durante el período de estudio, pero si existen diferencias en las

estaciones río Conay y río Chollay. El resultado ANOVA de temperatura muestra que no existen diferencias en las medias de las estaciones río Conay y río Chollay, y tampoco existen diferencias significativas entre las estaciones río Carmen, río Huasco en Panamericana y Huasco en Huasco bajo.



**Figura 27. Diagrama cajas y bigotes: Registro de Conductividad, pH, RAS y Temperatura en aguas superficiales cuenca del río Huasco, período 2003 – 2013.**

La Figura 28 muestra los diagramas de cajas y bigotes para Aluminio, Arsénico, Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc. Los diagramas de cajas de Aluminio, Cobre y Hierro presentan el mismo comportamiento, los mayores registros se observan en la estación río Conay, seguida de la estación río Chollay.

Los resultados de ANOVA de estos parámetros indican que en todos los casos existen diferencias significativas entre las medias de sus registros. En el caso del Aluminio, las estaciones río Tránsito y río Carmen no presentan diferencias en sus medias, al igual que las estaciones río Huasco en Panamericana y Huasco en Huasco bajo.

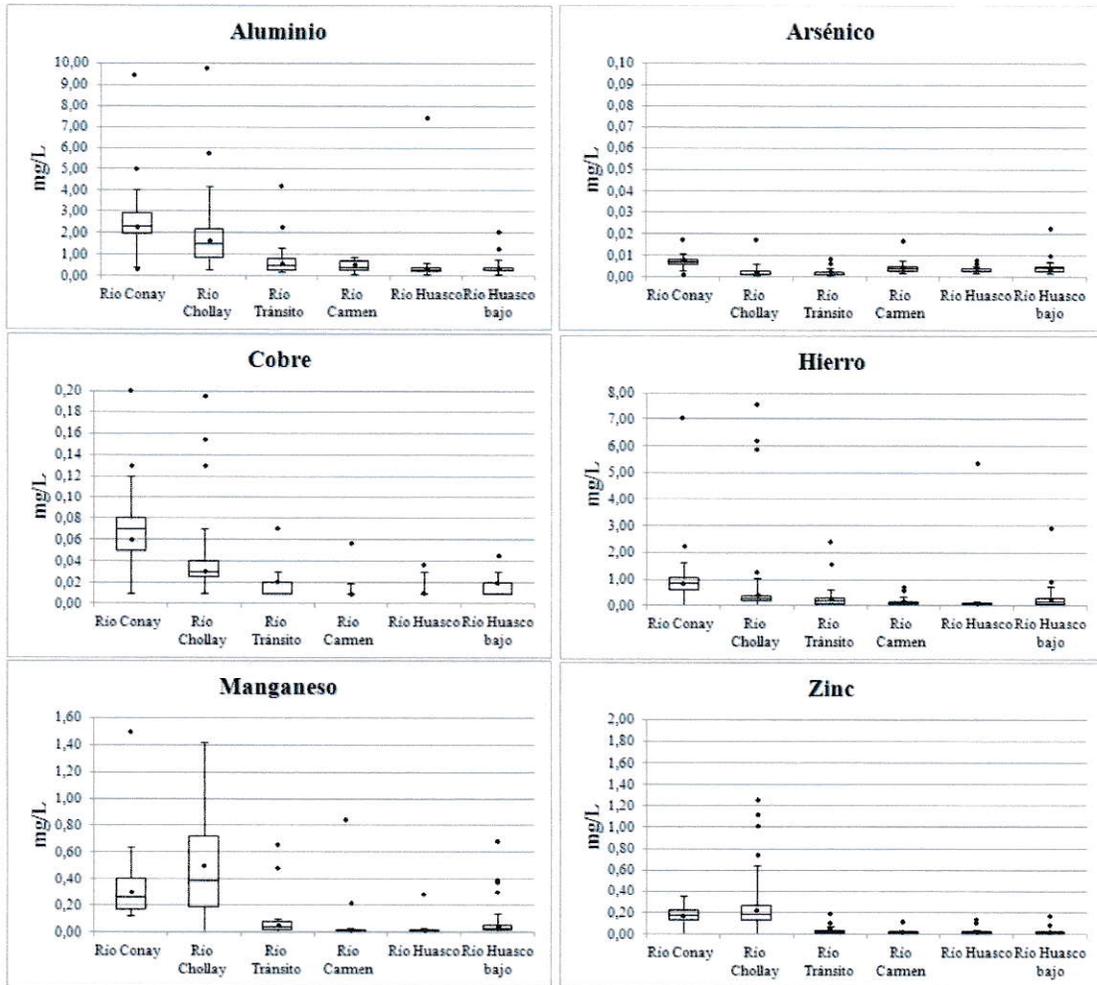
En el caso del Cobre las estaciones río Tránsito y río Huasco en Huasco bajo presentan promedios similares en sus registros, de la misma forma que las estaciones río Carmen y Huasco en Panamericana.

En el caso del Hierro, las estaciones río Tránsito y río Huasco en Huasco bajo también presentan medias similares en sus registros.

Los diagramas de caja del Manganeso y Zinc presentan comportamiento muy parecido, se aprecian mayores concentraciones en la estación río Chollay seguida de la estación río Conay, mientras que en las demás estaciones las concentraciones son menores. Respecto a los resultados de ANOVA, en ambos casos existe diferencia significativa en las medias de sus registros.

En el diagrama de caja del Manganeso se observa que las mayores concentraciones se registraron en la estación río Chollay.

En el caso de Zinc, no existe diferencia significativa en los promedios de las concentraciones entre las estaciones río Carmen, río Huasco en Panamericana y Huasco en Huasco bajo.

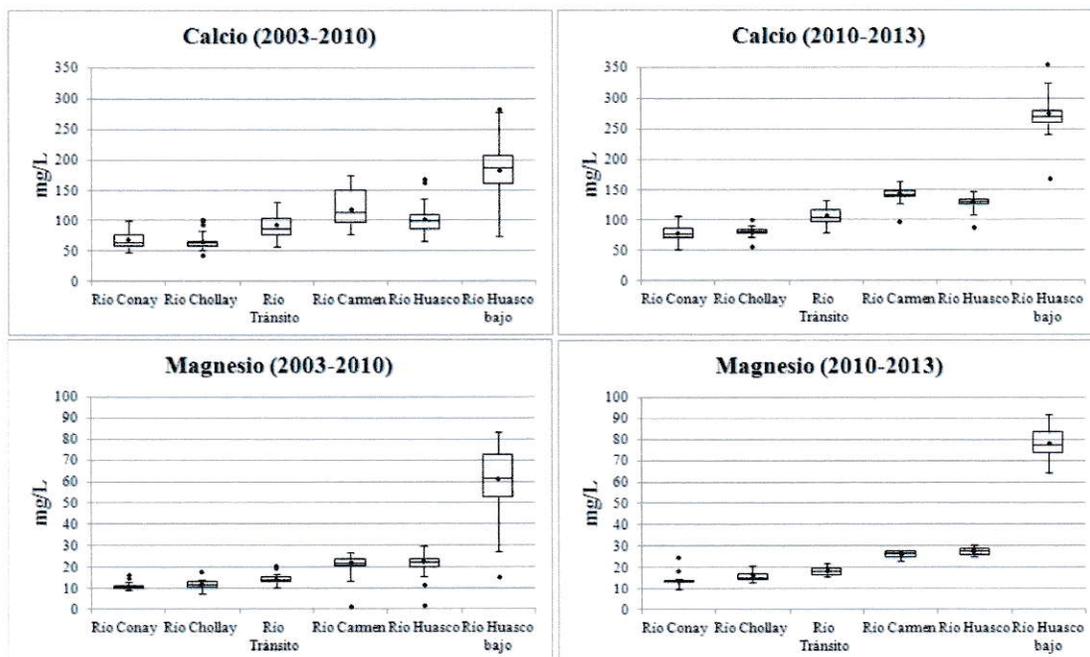


**Figura 28. Diagrama cajas y bigotes: Registro de Aluminio, Arsénico, Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc en aguas superficiales cuenca del río Huasco, período 2003 – 2013.**

La Figura 29 muestra los diagramas de cajas y bigotes para Calcio y Magnesio, en los cuales las mayores concentraciones se registran en la estación río Huasco en Huasco bajo. Los resultados de ANOVA indican que en ambos casos las medias de los registros presentan diferencias significativas entre las estaciones de monitoreo.

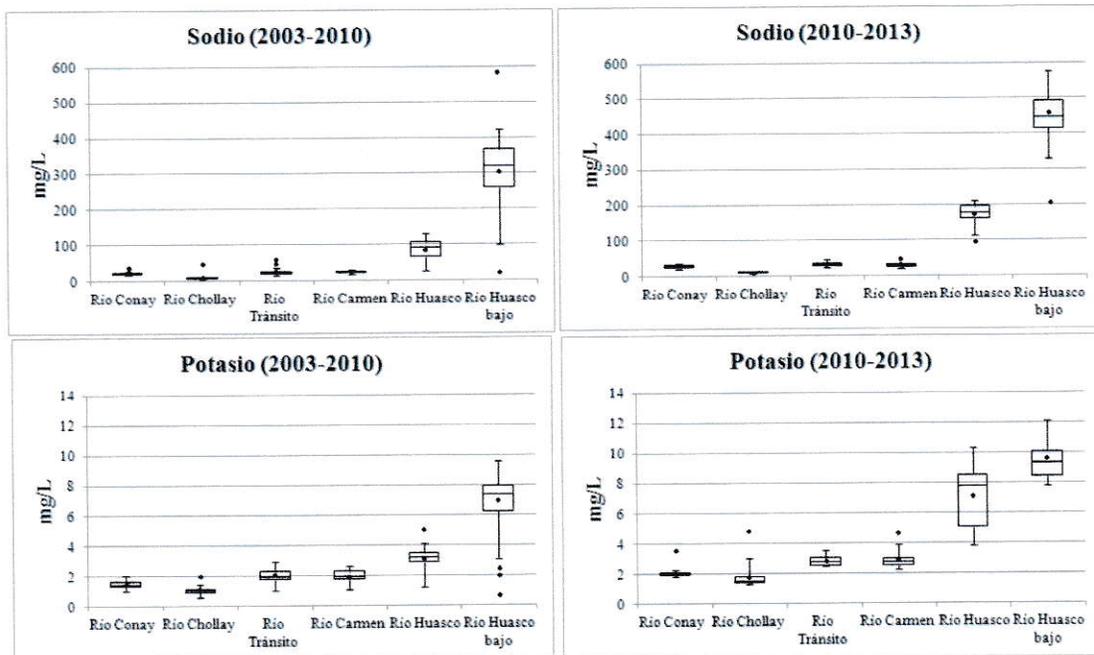
El ANOVA de Calcio medido entre 2003-2010 y Calcio medido a partir del segundo trimestre de 2010-2013, muestra que en las estaciones río Conay y río Chollay existe similar promedio en sus concentraciones.

El ANOVA de magnesio medido entre 2003-2010 y magnesio medido a partir del segundo trimestre de 2010-2013, muestra que existe similitud en las medias de las estaciones río Carmen y río Huasco en Panamericana.



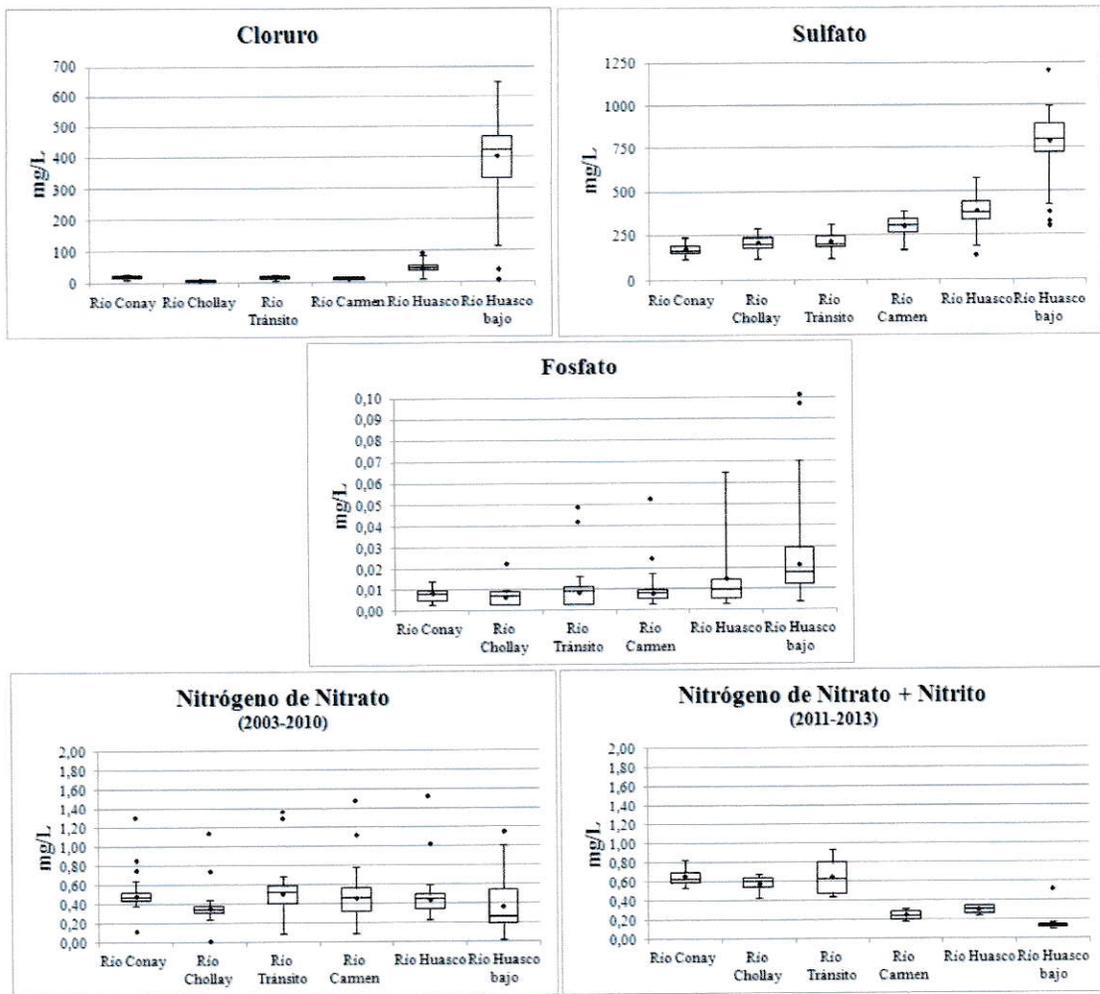
**Figura 29. Diagrama cajas y bigotes: Registro de Calcio y Magnesio en aguas superficiales cuenca del río Huasco, período 2003 – 2013.**

La Figura 30 muestra los diagramas de cajas y bigotes para Potasio y Sodio. En estos diagramas también se aprecia que la estación río Huasco en Huasco bajo presenta las mayores concentraciones. Los resultados de ANOVA indican que en ambos casos los promedios de los registros son diferentes entre las estaciones de calidad de aguas. Sin embargo, el ANOVA de Potasio disuelto y Potasio total indica que no existe diferencias significativas en las medias de los registros en las estaciones río Tránsito y río Carmen; y el ANOVA de Sodio disuelto y Sodio total también muestra que, entre estas estaciones de monitoreo, las medias de los registros son similares.



**Figura 30. Diagrama cajas y bigotes: Registro de Potasio y Sodio en aguas superficiales cuenca del río Huasco, período 2003 – 2013.**

La Figura 31 muestra los diagramas de cajas y bigotes para Cloruro, Fosfato, Nitrógeno y Sulfato. En los diagramas de cajas de Cloruro, Fosfato y Sulfato se observa que las mayores concentraciones se registran en la estación río Huasco en Huasco bajo, mientras que en los diagramas de caja del Nitrógeno, las concentraciones varían entre una estación y otra. Los resultados de ANOVA indican que en todos los casos existen diferencias significativas entre los promedios de los registros durante el período de estudio. Sin embargo en el caso de Fosfato, las estaciones río Conay, río Chollay, río Tránsito y río Carmen presentan similares promedios en sus concentraciones. En el caso de Sulfato, el ANOVA indica que no hubo diferencias significativas en las medias de las estaciones río Chollay y río Tránsito. El ANOVA de Nitrato y de Nitrógeno de Nitrato + Nitrito, muestra que las estaciones río Conay y río Tránsito presentaron promedios similares en los registros durante el período de estudio.



**Figura 31. Diagrama cajas y bigotes: Registro de Cloruro, Sulfato, Fosfato y Nitrógeno en aguas superficiales cuenca del río Huasco, período 2003 – 2013.**

#### IV CONCLUSIONES

- Se logró recopilar antecedentes de las cuencas hidrográficas del Norte Chico, y en base a factores relevantes y disponibilidad de información, la cuenca más apropiada para ser estudiada fue la Cuenca del río Huasco, ya que según los criterios de selección establecidos (Criterio 1: Superficie agrícola, Criterio 2: Representatividad de estaciones de calidad por subcuencas, y Criterio 3: Registros asociados a estación de calidad de aguas), esta cuenca tuvo el mayor puntaje final.
- Se logró recopilar información general de la cuenca seleccionada, identificando que las actividades que generan usos y presiones sobre el recurso hídrico en la Cuenca del río Huasco fueron: consumo humano (captaciones de agua potable), actividades agrícolas, Compañías Míneras y Empresas eléctricas, vertederos y plantas de tratamientos de aguas servidas.
- Se logró evaluar y seleccionar los parámetros relevantes a analizar en la cuenca hidrográfica de estudio los cuales fueron Al, As, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Zn, Cloruro, Sulfato, Fosfato Nitrógeno, Conductividad, pH, Temperatura y RAS)
- Se logró analizar la evolución histórica de los parámetros de calidad de aguas en la cuenca de río Huasco, y respecto a esto se puede concluir que muchos de los parámetros estudiados muestran un incremento en las concentraciones (o registros) medidos durante el período de estudio, lo cual indicaría que la calidad de las aguas está siendo afectada.

- Los parámetros que registraron correlación positiva de la concentración (o registros) en el tiempo en todas las estaciones de calidad de aguas fueron: Conductividad específica, Calcio, Magnesio, Potasio, Cloruro.
- En las estaciones río Conay y río Chollay, los parámetros que presentaron un incremento de las concentraciones en el tiempo fueron: Al, As, Cu, Fe, Mn, Zn, Na, Nitrógeno y Sulfato.
- En la estación río Tránsito, los parámetros que presentaron un incremento de las concentraciones en el tiempo fueron: As, Cu, Na.
- En la estación río Carmen, los parámetros que presentaron un incremento de las concentraciones en el tiempo fueron: Na y Sulfato.
- En la estación río Huasco en Panamericana, los parámetros que presentaron un incremento de las concentraciones en el tiempo fueron: Fe, Mn, Zn, Na, Sulfato y Fosfato.
- En la estación río Huasco en Huasco bajo, los parámetros que presentaron un incremento de las concentraciones en el tiempo fueron: Zn y Sulfato
- De acuerdo a la NCh.1.333 Of. 78, modificada en 1987, “Requisitos de Calidad de Agua para riego”, los parámetros que superaron el valor límite de la normativa fueron Conductividad, pH, Mn, Cloruro y Sulfato.

## V REFERENCIAS

- American Water Works Association, (2002). *Calidad y tratamiento del agua: Manual de suministros de agua comunitaria*. 5° Ed. Madrid: McGraw Hill, pág. 206-217.
- AMPHOS<sup>21</sup>, (2014). *Generación de información base para la evaluación de normas de calidad ambiental y emisión: Revisión y actualización sobre tecnologías y costos de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos*. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile.
- Antonioletti, (1972). *Características climáticas del Norte Chico*. Instituto de Investigación de Recursos Naturales (IREN), Santiago de Chile.
- Ayers & Westcot, 1985. La calidad del agua para la agricultura. Food and Agriculture Organization.en: <http://www.fao.org/DOCRp/003/T0234e/T0234e00.htm>
- Banco Mundial, (2011). *Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos*. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Región para América Latina y el Caribe.
- BF Ingenieros civiles, (1984). *Análisis crítico de la red pluviométrica nacional: red de calidad de aguas*. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de aguas.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN)<sub>a</sub>, (s.f.). *Chile, nuestro país: Tercera Región*. Sistema integrado de información territorial (SIIT). en: <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region3.htm>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN)<sub>b</sub>, (s.f.). *Chile, nuestro país: Cuarta Región*. Sistema integrado de información territorial (SIIT).en: <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region4.htm>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN)<sub>c</sub>, (s.f.). *Chile, nuestro país: Clima y Vegetación*. Sistema integrado de información territorial (SIIT). en: <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/clima.htm>

Cade-Idepe, (2004). *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad*. Dirección General de Aguas. Santiago, Chile.

Código de aguas. Publicada en 1981, modificada en 2013. en: <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=5605>

Comisión Nacional de Riego, (2013). *Manual del Regante, 2013*. Ministerio de Agricultura, Chile.

Ferrando, (2002). *Cuenca del Río Limarí, Chile Semiárido: Aspectos de la Oferta y Demanda de Agua*. Revista de Geografía Norte Grande N°30, pág. 23 a 44.

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], (2002). *Agricultura Mundial: hacia los años 2015/2030*. ISBN 92-5-304761-5.

González, (2007). *Contaminación difusa de las aguas*. Revista Tierra Adentro N°77, noviembre-diciembre, pág. 21 a 25. INIA.

Grisales, (2010). *Sistemas no convencionales de tratamiento de aguas superficiales para comunidades de desplazados en estado de emergencia (caso Villa-Clarín)*. Título de Grado, Universidad Nueva Granada, Bogotá D.C

Infraeco, (2014). *Análisis crítico de la Red de Calidad de aguas superficiales y subterráneas de la DGA*. Dirección General de Aguas. Santiago, Chile.

Instituto Nacional de Estadísticas, (2014). *Medio Ambiente, Informe anual 2012*. en [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/estadisticas\\_medio\\_ambiente/2012/informe-anual-medio-ambiente-2012.pdf](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_medio_ambiente/2012/informe-anual-medio-ambiente-2012.pdf).

Knight Piésold, (2013). *Análisis Integrado de Gestión en Cuenca del río Huasco. Región de Atacama*. Dirección General de Aguas. Santiago, Chile

Martínez, (2012). *Análisis hidrológico Cuenca del río Huasco, Región Atacama*.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, (2009). *Guía Práctica para la fertilización racional de los cultivos en España*.

Menares, (2008). *Calidad de agua: marco teóricos, jurídico, institucional y tecnológico para la prevención y mitigación de la contaminación de las aguas de riego*. Informe de práctica profesional, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente. (2012). *Informe del Estado del Medio Ambiente 2011*. en: [http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016\\_InformeEstadoMedioAmbiente\\_Completo\\_2011.pdf](http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_InformeEstadoMedioAmbiente_Completo_2011.pdf)

Norma Chilena 1333.Of78, modificada en 1987. en: [http://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh1333-1978\\_Mod-1987.pdf](http://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh1333-1978_Mod-1987.pdf)

Servicio Agrícola y Ganadero, (2005). *Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego*. Preparado por División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales, (2012). *Evaluación Inicial de Caudales Ecológicos/Ambientales en la Cuenca del río Huasco-Chile*. Quito, Ecuador

## **VI ANEXOS**

**ANEXO VI.1.a FACTORES NATURALES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL AGUA**

<b>FACTOR</b>	<b>PARÁMETROS AFECTADOS</b>	<b>MECANISMOS DE MODIFICACIÓN DE DE LA CALIDAD</b>
Edafología	Inorgánicos	La textura del suelo da cuenta de la infiltración del agua dentro del ciclo hidrológico. Así mismo la composición del suelo indica la propensión a la ocurrencia de escorrentías o cargas de lavado.
Hidrogeología	Inorgánicos y metales	Recarga del cuerpo superficial por napas. Aumenta la concentración de metales e inorgánicos. Normalmente es el portador de todos los fertilizantes nitrogenados, nitritos y pesticidas utilizados en la agricultura y silvicultura. Los lugares de surgencia de los acuíferos con el río serán puntos de cambios en la calidad del agua superficial.
Hidrotermalismo	Inorgánicos y metales	Surgencia de aguas de origen hidrotermales de procedencia hidrotermales son ricas en inorgánicos y metales disueltos.
Volcanismo	Inorgánicos y metales	Adicionan compuestos químicos desde el magma a través de lavas andesíticas y basálticas. En aquellos lugares donde existan abundancia del volcanes se puede afirmar que habrá presencia de sulfatos y compuestos sulfurados que son productores potenciales de aguas ácidas.
Geomorfología	Inorgánicos, oxígeno disuelto y materia orgánica	Orografía, pendiente y relieve. La orografía determina la cantidad de nieve que es capaz de almacenar la cuenca. La pendiente define la cantidad de energía a disipar y el relieve la morfología fluvial del cauce por el cual debe circular o la formación de masa de agua.
Climatología	Todos	Ciclo hidrológico da cuenta del ingreso del agua al sistema hídrico de la cuenca. Los agentes más importantes son, las precipitaciones – nivales y pluviales- y la temperatura que da cuenta de la capacidad de evaporación de la cuenca.
Geología	Inorgánicos y metales	La lixiviación y meteorización de cuerpos mineralizados. Su efecto se ve acrecentado por fenómenos de solifluxiones.
Cobertura vegetal	Orgánicos	Las áreas donde existen cubiertas vegetales bien establecidas se aumenta la filtración, disminuye la escorrentía y por tanto las cargas de lavado y existe una mayor evapotranspiración.

(DGA, 2004)

**ANEXO VI.1.b FACTORES HUMANOS QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL AGUA**

<b>FACTOR</b>	<b>PARÁMETROS AFECTADOS</b>	<b>MECANISMOS DE MODIFICACIÓN DE DE LA CALIDAD</b>
Extracciones	Todos	Dilución: Alteran la calidad al dejar un caudal pasante menor y por tanto con menor capacidad de dilución de contaminantes que se agregan en un segmento inferior.
Embalses	Todos	Concentran contaminantes como nutrientes y sólidos suspendidos y sedimentables. Disminuye la cantidad de oxígeno aguas bajo del embalse.
Minería	Metales, pH, inorgánicos, fisicoquímicos	El movimiento de menas mineralizadas o las operaciones unitarias son grandes generadoras de Riles con altas concentraciones de metales e inorgánicos.
Industrias	Metales, DBO <sub>5</sub> , inorgánicos, fisicoquímicos	Descarga de efluentes líquidos ricos en compuestos orgánicos, metales disueltos y sólidos suspendidos en los cursos de agua. Se presentan como fuentes puntuales en forma de Riles.
Agricultura	Plaguicidas y nutrientes	Adición de plaguicidas y fertilizantes a los cultivos que posteriormente drenan a los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Se presenta como fuentes difusas.
Ganadería	Microbiológicas, DBO <sub>5</sub>	Aporte por fecas y purines. La presencia de ganado incrementa la cantidad de materia orgánica, coliformes y nutrientes.
Silvicultura	Plaguicidas, fisicoquímicos y orgánicos	Idem a la agricultura, pero en menor magnitud. La presencia de plantaciones de árboles disminuye la escorrentía.
Urbanístico	Microbiológica, fisicoquímicos y metales	Aporte de aguas servidas, las cuales aportan principalmente: coliformes, DBO <sub>5</sub> , aceites y grasas, sólidos suspendidos y nutrientes, disminuyen el oxígeno disuelto.

(DGA, 2004)

ANEXO VI.2. REGISTRO DE MONITOREO EN ESTACIONES DE CALIDAD DE AGUAS PERÍODO 2003-2013

Cuenca	Subcuenca	Código Estación	Estación de Calidad	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Ptos.	
Río Copiapó	Río Jorquera	03404001-K	Río Jorquera en vertedero	si	5,5											
	Río Pulido	03414001-4	Río Pulido en Vertedero	si	5,5											
	Río Manflas	03421001-2	Río Manflas en Vertedero	si	5,5											
	R. Copiapó Medio	03430001-1	Río Copiapó en By Pass Lautaro	si	5,5											
		03431001-7	Río Copiapó en La Puerta	si	5,5											
		03434002-1	Canal malpaso después bocatoma	no	si	si	si	si	0							
	R. Copiapó Bajo	03434004-8	Río Copiapó en Mal paso	si	no	no	no	4								
		03450003-7	Río Copiapó en Puente Bodega	si	no	0										
		03451001-6	Río Copiapó en Puente Piedra	si	si	si	no	0								
Río Huasco	Río Transito	03802001-3	Río Conay en Las Lozas	si	5,5											
		03803001-9	Río Chollay antes Río Conay	si	5,5											
		03806001-5	Río Transito antes Junta Río Carmen	si	5,5											
	Río del	03815001-4	Río Carmen en Ramadilla	si	5,5											
	Río Huasco	03823001-8	Río Huasco en Puente Panamericana	si	5,5											
		03826001-4	Río Huasco en Huasco Bajo	si	5,5											
Río Elqui	Río Turbio	04301001-8	Río La Laguna antes Jta. Río Toro	si	5,5											
		04302001-3	Río Toro antes Río La laguna	si	5,5											
		04302003-K	2 D-Drenes (Dren G) Tranque El	si	5,5											
		04302004-8	Río Vacas Heladas antes Jta. Río	si	5,5											
		04302005-6	Río Malo antes Jta. Río Vacas	si	5,5											
		04302007-2	Río Malo después Tranque Relaves	si	5,5											
		04302011-0	Baños del Toro	si	5,5											
		04303001-9	Río Turbio después Río Toro y Río La	si	5,5											
		04304002-2	Río Incahuaz antes Río Turbio	si	5,5											
		04306001-5	Río Turbio en Huanta	si	5,5											
04308001-6	Río Turbio en Varillar	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	5,5		



**ANEXO VI.3: CAPTACIONES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO**

Subcuenca	Tipo fuente	Obra	UTM Norte	UTM Este
Río Huasco	DRENES	Captación Los Chorros	6837545,0	314189,0
Río Huasco	DRENES	Dren Potrerillos DP01	6833480,0	332620,0
Río Huasco	SONDAJES	Sondaje Quinta Zlatar QZ01	6836758,4	329781,1
Río Huasco	SONDAJES	Sondaje Santa Ines SI01	6836812,0	329618,0
Río Huasco	SONDAJES	Sondaje Santa Ines SI02	6836778,0	329651,0
Río Huasco	SONDAJES	Sondaje Santa Ines SI03	6836839,0	329680,0
Río Huasco	SONDAJES	Sondaje Prat PR-02	6836807,6	329564,9
Río Huasco	SONDAJES	Sondaje Torino TO01	6836687,8	329589,4
Río Huasco	SONDAJES	Sondaje Torino TO02	6836686,2	329559,4
Río Huasco	SONDAJES	Sondaje Torino TO04	6836636,3	329444,3

(Infraeco 2014)

**ANEXO VI.4 PROYECTOS QUE GENERAN PRESIONES AL RECURSO HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO HUASCO**

Subcuenca	Fuente	Empresa	Faena / Proyecto
Río del Carmen	SEIA	CIA. MINERA BARRICK CHILE LTDA.	Estudio Integral Tranques Relaves Pastos Largos
Río del Carmen	SEIA	CIA. MINERA BARRICK CHILE LTDA.	Proyecto Minero Tambo
Río del Carmen	Cat. Relaves	C.M. El Indio	El Indio / El Indio
Río Huasco	SEIA	Compañía Explotadora de Minas CEMIN	Proyecto Minero Dos Amigos
Río Huasco	SEIA	Empresa Eléctrica Guacolda S.A.	Central Termoelectrica Guacolda y Vertedero
Río Huasco	SEIA	Cementos de Chile S.A.	Explotación Minera y Producción de Clinker y Cemento
Río Huasco	SEIA	Compañía Minera del Pacifico S.A.	Ampliación y Habilitación Terminal Marítimo Las Losas Huasco III Región
Río Huasco	SEIA	Empresa Eléctrica Guacolda S.A.	Usos de Mezclas de Carbón y Petcoke en Central Termoelectrica Guacolda
Río Huasco	SEIA	Empresa Eléctrica Guacolda S.A.	Central Guacolda Unidad
Río Huasco	SEIA	Empresa Eléctrica Guacolda S.A.	Incremento Emisiones Central Térmica Guacolda S.A.
Río Huasco	SEIA	Empresa Eléctrica Guacolda S.A.	Unidad 5 Central Térmica Guacolda S.A.
Río Huasco	Cat. Relaves	Cia Mra. Pacifico	Planta PELLETS / S/I
Río Huasco	Cat. Relaves	Minera Domeyko	Planta Domeyko / S/I
Río Huasco	Cat. Relaves	S/A	Pablo / Pablo
Río Huasco	Cat. Relaves	Sergio Contador	Pajonales / Pajonales
Río Tránsito	SEIA	Compañía Minera Nevada - Compañía Minera	Pascua Lama
Río Tránsito	SEIA	Compañía Minera Nevada SpA	Modificaciones Proyecto Pascua Lama

(Infraeco 2014)

**ANEXO VI.5.a RESUMEN OUTLIERS POR ESTACIONES**

Parámetros	ESTACIÓN RÍO CONAY EN LAS LOZAS			ESTACIÓN RÍO CHOLLAY ANTES RÍO CONAY		
	Nº de Análisis	Lower outliers	Upper outliers	Nº de Análisis	Lower outliers	Upper outliers
Aluminio	32	1	3	31	0	4
Arsénico	34	1	1	34	0	3
Boro	34	1	1	34	1	0
Cadmio	33	1	0	33	1	0
Calcio (2003-2010)	23	0	0	22	1	4
Calcio (2010-2013)	11	0	0	11	1	1
Cloruro	34	0	0	34	0	1
Cobalto	34	0	0	34	0	2
Cobre	34	0	2	34	0	3
Conductividad	34	0	0	34	0	1
Cromo	29	0	3	29	0	4
Fósforo	29	0	2	28	0	3
Hierro	34	0	2	34	0	4
Magnesio (2003-2010)	23	0	2	23	0	1
Magnesio (2010-2013)	11	0	2	11	0	0
Manganeso	34	0	1	34	0	3
Mercurio	32	0	2	33	0	1
Molibdeno	33	0	0	33	0	0
Níquel	32	0	0	32	0	3
Nitrato	25	1	4	25	1	2
Nitrito + Nitrato	4	0	0	4	0	0
pH	34	1	1	34	1	0
Plata	34	0	0	34	0	0
Plomo	31	0	0	31	0	0
Potasio (2003-2010)	23	0	0	23	0	1
Potasio (2010-2013)	11	0	1	11	0	1
RAS	22	1	1	22	0	1
Selenio	34	0	1	34	0	1
Sodio (2003-2010)	23	1	1	23	0	2
Sodio (2010-2013)	11	0	0	11	0	0
Sulfato	30	0	0	30	0	0
Temperatura	24	0	0	34	0	0
Zinc	33	0	0	33	0	4

**ANEXO VI.5.b RESUMEN OUTLIERS POR ESTACIONES**

Parámetros	ESTACIÓN RÍO TRÁNSITO ANTES JUNTA RÍO CARMEN			ESTACIÓN RÍO CARMEN EN RAMADILLAS		
	Nº de Análisis	Lower outliers	Upper outliers	Nº de Análisis	Lower outliers	Upper outliers
Aluminio	29	0	1	34	0	1
Arsénico	34	0	2	32	0	3
Boro	34	1	0	34	1	0
Cadmio	33	1	0	33	1	0
Calcio (2003-2010)	23	0	0	23	0	0
Calcio (2010-2013)	11	0	0	11	1	0
Cloruro	34	0	0	34	1	0
Cobalto	34	0	0	34	0	0
Cobre	34	0	1	34	0	1
Conductividad	33	1	0	34	2	0
Cromo	29	0	5	30	0	5
Fósforo	28	0	4	28	0	4
Hierro	34	0	3	34	0	3
Magnesio (2003-2010)	23	0	2	23	1	0
Magnesio (2010-2013)	11	0	0	11	0	0
Manganeso	34	0	2	34	0	4
Mercurio	33	0	2	33	0	2
Molibdeno	33	0	0	33	0	0
Níquel	32	0	3	32	0	3
Nitrato	25	0	2	25	1	3
Nitrito + Nitrato	4	0	0	4	0	0
pH	34	3	1	34	4	5
Plata	34	0	0	34	0	0
Plomo	31	0	0	32	0	0
Potasio (2003-2010)	23	0	0	23	0	0
Potasio (2010-2013)	11	0	0	11	0	1
RAS	23	0	1	22	1	1
Selenio	34	0	1	34	0	1
Sodio (2003-2010)	23	0	0	23	1	1
Sodio (2010-2013)	11	0	0	11	0	0
Sulfato	30	0	0	30	0	0
Temperatura	34	0	0	34	0	0
Zinc	33	0	2	33	0	1

**ANEXO VI.5.c RESUMEN OUTLIERS POR ESTACIONES**

Parámetros	ESTACIÓN RÍO HUASCO EN PUENTE PANAMERICANA			ESTACIÓN RÍO HUASCO EN HUASCO BAJO		
	Nº de Análisis	Lower outliers	Upper outliers	Nº de Análisis	Lower outliers	Upper outliers
Aluminio	34	2	2	34	0	2
Arsénico	31	2	2	31	0	2
Boro	34	1	1	34	0	1
Cadmio	33	1	0	33	1	0
Calcio (2003-2010)	23	0	2	23	0	2
Calcio (2010-2013)	11	1	0	11	1	1
Cloruro	34	0	2	34	2	0
Cobalto	34	0	0	34	0	0
Cobre	34	0	1	34	0	1
Conductividad	34	0	0	34	4	0
Cromo	29	0	4	29	0	5
Fósforo	28	0	4	27	0	5
Hierro	34	0	2	34	0	3
Magnesio (2003-2010)	23	2	0	23	1	0
Magnesio (2010-2013)	11	0	0	11	0	0
Manganeso	34	0	2	34	0	5
Mercurio	32	0	1	31	0	1
Molibdeno	33	0	0	33	0	0
Níquel	32	0	3	32	0	3
Nitrato	24	0	2	24	0	1
Nitrito + Nitrato	4	0	0	3	0	1
pH	34	0	0	34	1	2
Plata	34	0	0	34	0	0
Plomo	31	0	0	31	0	0
Potasio (2003-2010)	23	0	1	23	3	0
Potasio (2010-2013)	11	0	0	11	0	0
RAS	23	0	0	23	1	1
Selenio	34	0	1	34	0	1
Sodio (2003-2010)	23	0	0	23	1	1
Sodio (2010-2013)	11	1	0	11	1	0
Sulfato	30	1	0	30	3	1
Temperatura	34	0	0	34	0	0
Zinc	33	0	2	33	0	2

**ANEXO VI.6.a RESUMEN ANALÍTICAS POR ESTACIONES**

ESTACIÓN	ESTACIÓN				ESTACIÓN			
	RÍO CONAY EN LAS LOZAS				RÍO CHOLLAY ANTES RÍO CONAY			
Parámetro	Media	CV	%datos <LD	Grupo	Media	CV	%datos <LD	Grupo
Aluminio	2,32	0,35	0	Grupo 2	1,60	0,57	3,7	Grupo 2
Arsénico	0,007	0,23	0	Grupo 2	0,002	0,64	19,4	Grupo 2
Boro	1	0	96,9	Grupo 1			100	Grupo 1
Cadmio			100	Grupo 1			100	Grupo 1
Calcio (2003-2010)	68,35	0,22	0	Grupo 2	62,72	8,41	0	Grupo 2
Calcio (2010-2013)	77,58	0,19	0	Grupo 2	80,06	15,61	0	Grupo 2
Cloruro	18,75	0,29	0	Grupo 2	4,43	0,33	0	Grupo 2
Cobalto	0,01	0	94,1	Grupo 1	0,01	0	93,8	Grupo 1
Cobre	0,063	0,43	3,1	Grupo 2	0,033	0,44	22,6	Grupo 2
Conductividad	536,75	0,14	0	Grupo 2	489,18	0,15	0	Grupo 2
Cromo	0,01	0	69,2	Grupo 1	0,01	0	88	Grupo 1
Fósforo	0,008	0,417	26,7	Grupo 2	0,006	2,28	36	Grupo 2
Hierro	0,83	0,53	3,3	Grupo 2	0,33	0,8	0	Grupo 2
Magnesio (2003-2010)	10,57	0,08	0	Grupo 2	11,88	6,58	0	Grupo 2
Magnesio (2010-2013)	13,03	0,11	0	Grupo 2	15,89	6,08	0	Grupo 2
Manganeso	0,30	0,52	9,1	Grupo 2	0,479	0,8	0	Grupo 2
Mercurio	0,001	0	76,7	Grupo 1	0,001	0	84,4	Grupo 1
Molibdeno	0,024	0,23	84,8	Grupo 1	0,036	0	93,9	Grupo 1
Níquel	0,01	0	90,6	Grupo 1	0,017	0,31	79,3	Grupo 1
Nitrato	0,48	0,13	0	Grupo 2	0,39	2,12	0	Grupo 2
Nitrito + Nitrato	0,66	0,19	0	Grupo 2	0,578	5,59	0	Grupo 2
pH	7,93	0,04	0	Grupo 2	7,64	0,04	0	Grupo 2
Plata			100	Grupo 1			100	Grupo 1
Plomo	0,01	0	90,3	Grupo 1	0,015	0,47	93,5	Grupo 1
Potasio (2003-2010)	1,48	0,19	0	Grupo 2	1,05	5,53	0	Grupo 2
Potasio (2010-2013)	2,02	0,07	0	Grupo 2	1,81	2,91	0	Grupo 2
RAS	0,63	0,09	0	Grupo 2	0,23	7,69	0	Grupo 2
Selenio			100	Grupo 1	0,001	0	97	Grupo 1
Sodio (2003-2010)	21,38	0,11	0	Grupo 2	7,82	7,68	0	Grupo 2
Sodio (2010-2013)	28,32	0,15	0	Grupo 2	10,95	4,79	0	Grupo 2
Sulfato	170,68	0,16	0	Grupo 2	202,65	0,21	0	Grupo 2
Temperatura	13,09	0,36	0	Grupo 2	14,71	3,03	0	Grupo 2
Zinc	0,173	0,49	3	Grupo 2	0,21	0,74	0	Grupo 2

**ANEXO VI.6.b RESUMEN ANALÍTICAS POR ESTACIONES**

ESTACIÓN	ESTACIÓN				ESTACIÓN			
	RÍO TRÁNSITO ANTES JUNTA RÍO CARMEN				RÍO CARMEN EN RAMADILLA			
Parámetro	Media	CV	%datos <LD	Grupo	Media	CV	%datos <LD	Grupo
Aluminio	0,57	0,49	28,6	Grupo 2	0,45	0,44	0	Grupo 2
Arsénico	0,002	0,47	0	Grupo 2	0,004	0,32	0	Grupo 2
Boro			100	Grupo 1			100	Grupo 1
Cadmio			100	Grupo 1			100	Grupo 1
Calcio (2003-2010)	88,89	0,22	0,00	Grupo 2	119,46	0,25	0	Grupo 2
Calcio (2010-2013)	106,06	0,15	0,00	Grupo 2	143,24	0,08	0	Grupo 2
Cloruro	16,21	0,25	0	Grupo 2	11,94	0,29	0	Grupo 2
Cobalto	0,01	0	97,1	Grupo 1			100	Grupo 1
Cobre	0,015	0,37	6,1	Grupo 2	0,011	0,24	51,5	Grupo 1
Conductividad	662,70	0,2	0	Grupo 2	830,53	0,16	0	Grupo 2
Cromo	0,01	0	83,3	Grupo 1	0,01	0	88	Grupo 1
Fósforo	0,01	0,58	20,83	Grupo 2	0,01	0,48	25	Grupo 2
Hierro	0,20	0,77	12,9	Grupo 2	0,12	0,89	12,9	Grupo 2
Magnesio (2003-2010)	14,02	0,13	4,76	Grupo 2	21,76	0,16	0	Grupo 2
Magnesio (2010-2013)	18,23	0,11	0,00	Grupo 2	26,03	0,06	0	Grupo 2
Manganeso	0,049	0,65	31,3	Grupo 2	0,019	0,39	46,7	Grupo 2
Mercurio	0,001	0	87,1	Grupo 1	0,001	0	93,5	Grupo 1
Molibdeno	0,02	0,35	84,9	Grupo 1	0,023	0,49	90,9	Grupo 1
Níquel	0,018	0,46	82,8	Grupo 1	0,01	0	93,1	Grupo 1
Nitrato	0,49	0,30	0,00	Grupo 2	0,48	0,13	0	Grupo 2
Nitrito + Nitrato	0,66	0,35	0,00	Grupo 2	0,66	0,19	0	Grupo 2
pH	8,20	0,04	0	Grupo 2	8,10	0,02	0	Grupo 2
Plata			100	Grupo 1			100	Grupo 1
Plomo	0,01	0	87,1	Grupo 1			100	Grupo 1
Potasio (2003-2010)	2,03	0,21	0,00	Grupo 2	1,48	0,19	0	Grupo 2
Potasio (2010-2013)	2,77	0,14	0,00	Grupo 2	2,02	0,07	0	Grupo 2
RAS	0,61	0,18	0,00	Grupo 2	0,63	0,09	0	Grupo 2
Selenio			100	Grupo 1	0,001	0	97	Grupo 1
Sodio (2003-2010)	24,04	0,23	0,00	Grupo 2	21,38	0,11	0	Grupo 2
Sodio (2010-2013)	32,42	0,19	0,00	Grupo 2	28,32	0,15	0	Grupo 2
Sulfato	208,28	0,21	0	Grupo 2	299,97	0,19	0	Grupo 2
Temperatura	17,97	0,28	0,00	Grupo 2	13,09	0,36	0	Grupo 2
Zinc	0,03	0,65	12,9	Grupo 2	0,015	0,45	31,3	Grupo 2

ANEXO VI.6.c RESUMEN ANALÍTICAS POR ESTACIONES

ESTACIÓN	ESTACIÓN				ESTACIÓN			
	RÍO HUASCO EN PUENTE PANAMERICANA				RÍO HUASCO EN HUASCO BAJO			
Parámetro	Media	CV	%datos <LD	Grupo	Media	CV	%datos <LD	Grupo
Aluminio	0,32	0,33	55,6	Grupo 2	0,366	0,4	41,4	Grupo 2
Arsénico	0,004	0,23	0	Grupo 2	0,004	0,34	6,3	Grupo 2
Boro	1	0	84,4	Grupo 1	1,144	0,18	15,2	Grupo 2
Cadmio			100	Grupo 1			100	Grupo 1
Calcio (2003-2010)	100,01	0,19	0	Grupo 2	185,87	0,28	0	Grupo 2
Calcio (2010-2013)	128,90	0,09	0	Grupo 2	274,03	0,09	0	Grupo 2
Cloruro	44,80	0,4	0	Grupo 2	402,62	0,3	0	Grupo 2
Cobalto			100	Grupo 1			100	Grupo 1
Cobre	0,012	0,48	57,6	Grupo 2	0,016	0,54	57,6	Grupo 2
Conductividad	1165,29	0,27	0	Grupo 2	2972,5	0,15	0	Grupo 2
Cromo	0,01	0	68	Grupo 1	0,01	0	79,2	Grupo 1
Fósforo	0,01	1,06	8,3	Grupo 2	0,02	0,66	4,3	Grupo 2
Hierro	0,064	0,64	21,9	Grupo 2	0,2	0,98	16,1	Grupo 2
Magnesio (2003-2010)	22,53	0,16	0	Grupo 2	60,96	0,24	0	Grupo 2
Magnesio (2010-2013)	27,41	0,07	0	Grupo 2	78,24	0,10	0	Grupo 2
Manganeso	0,014	0,5	50	Grupo 2	0,04	0,83	17,2	Grupo 2
Mercurio	0,001	0	83,9	Grupo 1	0,001	0	90	Grupo 1
Molibdeno	0,024	0,37	84,4	Grupo 1	0,025	0,55	81,8	Grupo 1
Níquel	0,015	0,47	93,1	Grupo 1	0,016	0,56	82,8	Grupo 1
Nitrato	0,42	0,26	0	Grupo 2	0,38	0,72	0	Grupo 2
Nitrito + Nitrato	0,30	0,19	0	Grupo 2	0,14	0,27	0	Grupo 2
pH	8,11	0,06	0	Grupo 2	8,218	0,04	0	Grupo 2
Plata			100	Grupo 1			100	Grupo 1
Plomo	0,01	0	93,5	Grupo 1	0,02	1	87,1	Grupo 1
Potasio (2003-2010)	3,01	0,25	0	Grupo 2	7,08	0,21	0	Grupo 2
Potasio (2010-2013)	7,04	0,32	0	Grupo 2	9,46	0,14	0	Grupo 2
RAS	1,94	0,34	0	Grupo 2	4,81	0,23	0	Grupo 2
Selenio	0,001	0	93,9	Grupo 1	0,001	0	93,9	Grupo 1
Sodio (2003-2010)	84,42	0,37	0	Grupo 2	301,34	0,31	0	Grupo 2
Sodio (2010-2013)	175,24	0,17	0	Grupo 2	457,61	0,16	0	Grupo 2
Sulfato	383,58	0,23	0	Grupo 2	792,97	0,17	0	Grupo 2
Temperatura	20,89	0,20	0	Grupo 2	20,02	0,22	0	Grupo 2
Zinc	0,016	0,59	29	Grupo 2	0,016	0,5	38,7	Grupo 2

**ANEXO VI.7 a Correlación de Pearson registro parámetros en el tiempo  
Cuenca del río Huasco, período 2003-2013.**

		Conductividad			pH			
		verano	otoño- invierno	primavera	verano	otoño- invierno	primavera	
Río Conay	Años	r	** 0,803	** 0,889	** 0,866	0,045	-0,216	-0,073
		Sig.	0,003	0	0,001	0,902	0,549	0,832
Río Chollay	Años	r	** 0,776	** 0,844	** 0,920	-0,387	-0,510	0,050
		Sig.	0,005	0,001	0,000	0,240	0,132	0,884
Río Tránsito	Años	r	* 0,695	** 0,931	** 0,923	-0,257	0,281	-0,315
		Sig.	,026	,000	,000	0,445	0,464	0,345
Río Carmen	Años	r	** 0,773	** 0,980	** 0,944	-0,424	0,390	0,127
		Sig.	0,005	0,000	0,000	0,194	0,300	0,710
Río Huasco	Años	r	** 0,819	** 0,900	** 0,888	-0,284	-0,376	-0,601
		Sig.	0,002	0,000	0,000	0,397	0,254	0,051
Río Huasco Baio	Años	r	0,401	** 0,822	** 0,803	-0,311	0,068	-0,147
		Sig.	0,250	0,002	0,003	0,382	0,862	0,666

		RAS			Temperatura			
		verano	otoño- invierno	primavera	verano	otoño- invierno	primavera	
Río Conay	Años	r	0,600	-0,706	0,350	-0,006	0,05	-0,455
		Sig.	0,155	0,076	0,564	0,985	0,883	0,16
Río Chollay	Años	r	-0,04	-0,047	-0,636	* 0,685	0,238	-0,130
		Sig.	0,932	0,921	0,175	0,020	0,481	0,703
Río Tránsito	Años	r	0,486	-0,594	-0,235	** 0,786	-0,250	-0,219
		Sig.	0,222	0,16	0,612	0,004	0,458	0,517
Río Carmen	Años	r	0,635	-0,341	-0,200	** 0,797	0,114	-0,212
		Sig.	0,125	0,454	0,667	0,003	0,739	0,531
Río Huasco	Años	r	0,083	0,252	0,285	-0,398	-0,27	-0,387
		Sig.	0,844	0,586	0,535	0,226	0,423	0,24
Río Huasco Baio	Años	r	0,43	0,289	-0,169	-0,589	0,073	-0,515
		Sig.	0,336	0,529	0,718	0,056	0,831	0,105

		Aluminio			Arsénico			
		verano	otoño- invierno	primavera	verano	otoño- invierno	primavera	
Río Conay	Años	r	* 0,754	0,402	0,535	* 0,652	0,207	0,593
		Sig.	0,012	0,220	0,090	0,041	0,541	0,121
Río Chollay	Años	r	0,258	0,516	0,256	* 0,698	0,107	0,026
		Sig.	0,576	0,127	0,540	0,037	0,768	0,962
Río Tránsito	Años	r	0,223	-0,341	0,785	* 0,713	* -0,694	-0,420
		Sig.	0,671	0,408	0,116	0,021	0,038	0,260
Río Carmen	Años	r	-0,575	0,000	-0,292	* -0,724	** -0,894	** -0,796
		Sig.	0,233	1,000	0,634	0,018	0,000	0,003
Río Huasco	Años	r	-0,059	-0,866	0,416	0,095	* -0,699	0,242
		Sig.	0,941	0,333	0,486	0,780	0,017	0,500
Río Huasco Baio	Años	r	0,076	0,499	0,375	** -0,863	* -0,731	-0,428
		Sig.	0,887	0,392	0,464	0,001	0,011	0,250

\*\* la correlacion es significativa al nivel 0,01 (bilateral)  
\* la correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral)

**ANEXO VI.7. b Correlación de Pearson registro parámetros en el tiempo  
Cuenca del río Huasco, periodo 2003-2013.**

			Cobre			Hierro		
			verano	otoño- invierno	primavera	verano	otoño- invierno	primavera
Río Conay	Años	r	** 0,826	0,142	0,584	* 0,667	* 0,644	0,092
		Sig.	0,003	0,677	0,077	0,035	0,032	0,814
Río Chollay	Años	r	-0,052	** 0,821	* 0,757	0,533	* 0,702	-0,040
		Sig.	0,922	0,004	0,049	0,174	0,024	0,912
Río Tránsito	Años	r	0,569	0,050	** 0,854	0,359	-0,572	0,753
		Sig.	0,086	0,884	0,003	0,343	0,066	0,084
Río Carmen	Años	r	.a	0,605	.a	0,096	-0,194	-0,766
		Sig.	.	0,203	.	0,805	0,567	0,076
Río Huasco	Años	r	0,365	-0,707	.a	* 0,825	0,617	0,227
		Sig.	0,635	0,182	.	0,006	0,077	0,624
Río Huasco Baio	Años	r	-0,047	0,701	-0,845	0,028	-0,153	-0,193
		Sig.	0,940	0,187	0,155	0,938	0,718	0,648

			Manganeso			Zinc		
			verano	otoño- invierno	primavera	verano	otoño- invierno	primavera
Río Conay	Años	r	** 0,887	** 0,803	** 0,862	** 0,929	** 0,780	** 0,924
		Sig.	0,001	0,003	0,001	0,000	0,005	0,000
Río Chollay	Años	r	0,683	* 0,840	* 0,834	0,662	** 0,844	** 0,799
		Sig.	0,062	0,001	0,001	0,074	0,002	0,006
Río Tránsito	Años	r	0,610	0,269	0,453	0,334	0,097	0,274
		Sig.	0,146	0,453	0,547	0,379	0,790	0,599
Río Carmen	Años	r	.a	0,460	-0,208	0,674	-0,443	0,141
		Sig.	.	0,251	0,737	0,067	0,320	0,789
Río Huasco	Años	r	* 0,933	* 0,769	0,878	0,591	0,752	* 0,826
		Sig.	0,020	0,043	0,122	0,162	0,051	0,012
Río Huasco Baio	Años	r	0,504	0,225	-0,013	* 0,882	0,597	-0,020
		Sig.	0,249	0,531	0,977	0,020	0,157	0,970

			Calcio			Magnesio		
			verano	otoño- invierno	primavera	verano	otoño- invierno	primavera
Río Conay	Años	r	* 0,613	0,582	0,292	* 0,823	* 0,666	* 0,735
		Sig.	0,045	0,060	0,383	0,012	0,025	0,015
Río Chollay	Años	r	** 0,856	* 0,722	* 0,787	** 0,871	0,541	* 0,603
		Sig.	0,007	0,018	0,012	0,001	0,085	0,049
Río Tránsito	Años	r	0,432	0,369	* 0,743	* 0,725	** 0,849	** 0,768
		Sig.	0,185	0,264	0,009	0,018	0,002	0,009
Río Carmen	Años	r	0,570	* 0,683	0,416	** 0,856	** 0,767	** 0,800
		Sig.	0,067	0,020	0,231	0,001	0,006	0,003
Río Huasco	Años	r	0,621	** 0,802	0,621	0,532	* 0,758	0,621
		Sig.	0,075	0,009	0,074	0,140	0,011	0,055
Río Huasco Baio	Años	r	* 0,748	** 0,877	* 0,705	* 0,694	* 0,722	0,600
		Sig.	0,013	0,001	0,034	0,026	0,012	0,051

\*\* la correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

\* la correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral)

**ANEXO VI.7. c Correlación de Pearson registro parámetros en el tiempo  
Cuenca del río Huasco, período 2003-2013.**

		Potasio			Sodio			
		verano	otoño- invierno	primavera	verano	otoño- invierno	primavera	
Río Conay	Años	r	** 0,901	** 0,876	** 0,831	** 0,793	** 0,814	* 0,728
		Sig.	0,000	0,000	0,002	0,006	0,002	0,017
Río Chollay	Años	r	** 0,862	** 0,789	** 0,900	** 0,775	* 0,651	0,532
		Sig.	0,003	0,004	0,000	0,008	0,03	0,113
Río Tránsito	Años	r	** 0,843	* 0,663	** 0,829	0,601	* 0,732	** 0,917
		Sig.	0,001	0,026	0,002	0,051	0,01	0
Río Carmen	Años	r	** 0,854	* 0,729	** 0,747	* 0,739	** 0,858	** 0,885
		Sig.	0,002	0,011	0,008	0,023	0,001	0,002
Río Huasco	Años	r	** 0,823	* 0,746	** 0,798	* 0,724	** 0,845	** 0,844
		Sig.	0,002	0,013	0,003	0,012	0,002	0,001
Río Huasco Bajo	Años	r	* 0,671	* 0,677	** 0,750	* 0,758	** 0,853	* 0,717
		Sig.	0,034	0,031	0,008	0,011	0,001	0,03

		Cloruro			Fosfato			
		verano	otoño- invierno	primavera	verano	otoño- invierno	primavera	
Río Conay	Años	r	** 0,736	* 0,704	** 0,864	* -0,849	0,128	0,154
		Sig.	0,01	0,016	0,001	0,016	0,784	0,805
Río Chollay	Años	r	* 0,710	* 0,692	0,044	-0,495	-0,439	0,47
		Sig.	0,014	0,026	0,898	0,318	0,384	0,688
Río Tránsito	Años	r	** 0,822	** 0,768	** 0,908	-0,065	-0,636	-0,438
		Sig.	0,002	0,006	0	0,903	0,175	0,385
Río Carmen	Años	r	** 0,877	** 0,744	** 0,938	-0,156	-0,575	-0,73
		Sig.	0	0,009	0	0,768	0,177	0,27
Río Huasco	Años	r	** 0,828	** 0,836	* 0,764	-0,477	* -0,859	-0,229
		Sig.	0,002	0,001	0,017	0,339	0,013	0,663
Río Huasco Bajo	Años	r	0,619	** 0,830	0,59	0,046	-0,765	0,417
		Sig.	0,056	0,002	0,073	0,914	0,132	0,352

		Nitrógeno			Sulfato			
		verano	otoño- invierno	primavera	verano	otoño- invierno	primavera	
Río Conay	Años	r	* 0,762	0,365	0,528	** 0,899	** 0,907	** 0,785
		Sig.	0,028	0,334	0,178	0	0,001	0,007
Río Chollay	Años	r	* 0,748	0,455	0,693	** 0,797	** 0,840	** 0,798
		Sig.	0,021	0,218	0,057	0,006	0,005	0,006
Río Tránsito	Años	r	0,329	-0,314	0,684	* 0,718	** 0,953	** 0,868
		Sig.	0,387	0,41	0,061	0,019	0	0,001
Río Carmen	Años	r	** -0,866	* -0,705	* -0,773	** 0,858	** 0,843	* 0,684
		Sig.	0,003	0,034	0,025	0,001	0,004	0,029
Río Huasco	Años	r	-0,549	-0,552	-0,145	** 0,798	* 0,740	** 0,825
		Sig.	0,126	0,156	0,731	0,006	0,023	0,003
Río Huasco Bajo	Años	r	-0,32	-0,045	0,414	0,296	0,653	0,638
		Sig.	0,368	0,923	0,268	0,439	0,079	0,065

\*\* la correlacion es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

\* la correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral)

**ANEXO VI.8.a ANOVA entre los años 2003-2013. Cuenca río Huasco**

<b>Parámetro</b>	<b>Estación Calidad de Aguas</b>	<b>Origen de las variaciones</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
<b>Conductividad</b>	Río Conay	Entre grupos	10,9	1,5E-06	2,3
	Río Chollay	Entre grupos	7,9	2,9E-05	2,3
	Río Tránsito	Entre grupos	6,3	2,0E-04	2,3
	Río Carmen	Entre grupos	10,8	3,3E-06	2,3
	Río Huasco	Entre grupos	12,6	4,1E-07	2,3
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	5,7	4,0E-04	2,3
<b>pH</b>	Río Conay	Entre grupos	1,08	0,42	2,3
	Río Chollay	Entre grupos	2,24	0,055	2,3
	Río Tránsito	Entre grupos	0,57	0,82	2,3
	Río Carmen	Entre grupos	0,55	0,84	2,4
	Río Huasco	Entre grupos	2,38	0,04	2,3
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	1,22	0,33	2,3
<b>RAS</b>	Río Conay	Entre grupos	0,69	0,72	3,1
	Río Chollay	Entre grupos	0,30	0,96	3,0
	Río Tránsito	Entre grupos	0,71	0,70	2,9
	Río Carmen	Entre grupos	1,30	0,35	3,1
	Río Huasco	Entre grupos	0,73	0,69	2,8
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	1,04	0,48	3,0
<b>Temperatura</b>	Río Conay	Entre grupos	0,13	1,00	2,3
	Río Chollay	Entre grupos	0,15	1,00	2,3
	Río Tránsito	Entre grupos	0,13	1,00	2,3
	Río Carmen	Entre grupos	0,34	0,96	2,3
	Río Huasco	Entre grupos	0,40	0,93	2,3
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	0,18	1,00	2,3
<b>Aluminio</b>	Río Conay	Entre grupos	0,60	0,79	2,4
	Río Chollay	Entre grupos	0,54	0,84	2,5
	Río Tránsito	Entre grupos	0,72	0,69	3,1
	Río Carmen	Entre grupos	0,35	0,87	3,5
	Río Huasco	Entre grupos	0,17	0,97	5,0
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	0,50	0,80	3,2
<b>Arsénico</b>	Río Conay	Entre grupos	1,9	0,11	2,4
	Río Chollay	Entre grupos	3,5	0,015	2,5
	Río Tránsito	Entre grupos	0,9	0,58	2,4
	Río Carmen	Entre grupos	3,9	0,004	2,3
	Río Huasco	Entre grupos	1,3	0,30	2,3
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	4,3	0,003	2,3

**ANEXO VI.8 b ANOVA entre los años 2003-2013. Cuenca río Huasco**

Parámetro	Estación Calidad de Aguas	Origen de las variaciones	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<b>Cobre</b>	Río Conay	Entre grupos	1,3	0,28	2,3
	Río Chollay	Entre grupos	3,6	0,02	2,7
	Río Tránsito	Entre grupos	2,9	0,02	2,3
	Río Carmen	Entre grupos	0,4	0,88	4,7
	Río Huasco	Entre grupos	0,2	0,98	8,8
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	0,1	1,00	8,8
<b>Hierro</b>	Río Conay	Entre grupos	1,2	0,36	2,3
	Río Chollay	Entre grupos	0,8	0,67	2,4
	Río Tránsito	Entre grupos	0,3	0,96	2,5
	Río Carmen	Entre grupos	1,6	0,21	2,5
	Río Huasco	Entre grupos	2,8	0,04	2,6
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	1,0	0,46	2,5
<b>Manganeso</b>	Río Conay	Entre grupos	5,7	6,0E-04	2,4
	Río Chollay	Entre grupos	3,8	5,3E-03	2,3
	Río Tránsito	Entre grupos	0,6	0,78	2,9
	Río Carmen	Entre grupos	0,8	0,63	4,7
	Río Huasco	Entre grupos	2,4	0,18	4,7
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	7,3	7,1E-04	2,7
<b>Zinc</b>	Río Conay	Entre grupos	4,0	3,7E-03	2,3
	Río Chollay	Entre grupos	3,6	8,3E-03	2,4
	Río Tránsito	Entre grupos	1,3	0,30	2,5
	Río Carmen	Entre grupos	0,3	0,95	2,9
	Río Huasco	Entre grupos	6,0	3,4E-03	2,9
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	1,4	0,31	3,3
<b>Calcio</b> (2003-2010)	Río Conay	Entre grupos	3,5	0,020	2,7
	Río Chollay	Entre grupos	2,2	0,125	3,1
	Río Tránsito	Entre grupos	4,4	0,007	2,7
	Río Carmen	Entre grupos	2,8	0,047	2,7
	Río Huasco	Entre grupos	4,2	0,012	2,8
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	15,0	2,7E-05	2,8
<b>Calcio</b> (2010-2013)	Río Conay	Entre grupos	5,9	0,03	4,3
	Río Chollay	Entre grupos	2,8	0,13	4,8
	Río Tránsito	Entre grupos	0,6	0,63	4,3
	Río Carmen	Entre grupos	1,8	0,25	4,8
	Río Huasco	Entre grupos	1,3	0,35	4,8
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	0,7	0,59	5,4

**ANEXO VI.8.c ANOVA entre los años 2003-2013. Cuenca río Huasco**

Parámetro	Estación Calidad de Aguas	Origen de las variaciones	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<b>Magnesio</b> (2003-2010)	Río Conay	Entre grupos	2,1	0,11	2,8
	Río Chollay	Entre grupos	2,5	0,07	2,8
	Río Tránsito	Entre grupos	2,4	0,08	2,9
	Río Carmen	Entre grupos	6,5	0,002	2,8
	Río Huasco	Entre grupos	1,2	0,38	2,8
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	3,5	0,02	2,8
<b>Magnesio</b> (2010-2013)	Río Conay	Entre grupos	13,1	0,01	5,4
	Río Chollay	Entre grupos	0,4	0,74	4,3
	Río Tránsito	Entre grupos	0,8	0,51	4,3
	Río Carmen	Entre grupos	0,9	0,49	4,3
	Río Huasco	Entre grupos	1,2	0,38	2,8
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	1,7	0,25	4,3
<b>Potasio</b> (2003-2010)	Río Conay	Entre grupos	4,1	0,01	2,7
	Río Chollay	Entre grupos	1,0	0,48	2,8
	Río Tránsito	Entre grupos	1,9	0,14	2,7
	Río Carmen	Entre grupos	3,6	0,02	2,7
	Río Huasco	Entre grupos	2,5	0,07	2,8
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	2,0	0,14	2,9
<b>Potasio</b> (2010-2013)	Río Conay	Entre grupos	26,4	7,5E-04	4,8
	Río Chollay	Entre grupos	0,7	0,61	4,8
	Río Tránsito	Entre grupos	0,3	0,82	4,3
	Río Carmen	Entre grupos	1,4	0,34	4,8
	Río Huasco	Entre grupos	3,8	0,06	4,3
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	0,3	0,83	4,3
<b>Sodio</b> (2003-2010)	Río Conay	Entre grupos	1,3	0,32	2,8
	Río Chollay	Entre grupos	1,3	0,33	2,8
	Río Tránsito	Entre grupos	1,6	0,22	2,8
	Río Carmen	Entre grupos	2,0	0,13	2,9
	Río Huasco	Entre grupos	1,5	0,23	2,7
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	3,9	0,02	2,8
<b>Sodio</b> (2010-2013)	Río Conay	Entre grupos	9,1	0,01	4,3
	Río Chollay	Entre grupos	1,3	0,34	4,3
	Río Tránsito	Entre grupos	0,2	0,87	4,3
	Río Carmen	Entre grupos	1,8	0,26	5,4
	Río Huasco	Entre grupos	25,7	8,0E-04	4,8
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	0,4	0,75	4,8

**ANEXO VI.8.d ANOVA entre los años 2003-2013. Cuenca río Huasco**

<b>Parámetro</b>	<b>Estación Calidad de Aguas</b>	<b>Origen de las variaciones</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
<b>Cloruro</b>	Río Conay	Entre grupos	4,19776	2,1E-03	2,3
	Río Chollay	Entre grupos	2,20356	5,9E-02	2,3
	Río Tránsito	Entre grupos	3,5	6,6E-03	2,3
	Río Carmen	Entre grupos	10,3071	3,4E-06	2,3
	Río Huasco	Entre grupos	14,754	2,3E-07	2,3
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	4,53602	1,7E-03	2,3
<b>Fosfato</b>	Río Conay	Entre grupos	0,3	0,95	3,1
	Río Chollay	Entre grupos	2,7	0,09	3,5
	Río Tránsito	Entre grupos	1,4	0,29	3,1
	Río Carmen	Entre grupos	0,3	0,94	3,2
	Río Huasco	Entre grupos	1,6	0,22	2,8
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	1,0	0,47	2,8
<b>Nitrato</b> (2003-2010)	Río Conay	Entre grupos	0,9	0,55	2,8
	Río Chollay	Entre grupos	1,2	0,34	2,8
	Río Tránsito	Entre grupos	0,6	0,78	2,8
	Río Carmen	Entre grupos	2,4	0,07	2,8
	Río Huasco	Entre grupos	0,6	0,73	2,8
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	0,7	0,70	2,7
<b>Nitrogeno de Nitrato + Nitrito</b> (2011-2013)	Río Conay	Entre grupos	10,2	0,22	199,5
	Río Chollay	Entre grupos	0,4	0,74	199,5
	Río Tránsito	Entre grupos	104,3	0,07	199,5
	Río Carmen	Entre grupos	0,5	0,72	199,5
	Río Huasco	Entre grupos	0,3	0,80	199,5
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	0,2	0,83	199,5
<b>Sulfato</b>	Río Conay	Entre grupos	11,0	6,1E-06	2,4
	Río Chollay	Entre grupos	5,5	7,6E-04	2,4
	Río Tránsito	Entre grupos	6,5	2,6E-04	2,4
	Río Carmen	Entre grupos	4,6	2,1E-03	2,4
	Río Huasco	Entre grupos	4,1	4,3E-03	2,4
	Río Huasco Bajo	Entre grupos	3,1	2,4E-02	2,5

**ANEXO VI.9 ANOVA entre estaciones de monitoreo. Cuenca río Huasco**

Parámetro	Origen de las variaciones	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Conductividad	Entre grupos	308,2	2,2E-89	2,3
pH	Entre grupos	8,7	1,7E-07	2,3
RAS	Entre grupos	224,9	1,7E-59	2,3
Temperatura	Entre grupos	14,5	4,3E-12	2,3
Aluminio	Entre grupos	53,3	2,2E-30	2,3
Arsénico	Entre grupos	73,8	6,1E-42	2,3
Cobre	Entre grupos	45,7	1,2E-26	2,3
Hierro	Entre grupos	38,9	4,5E-26	2,3
Manganeso	Entre grupos	25,2	8,0E-18	2,3
Zinc	Entre grupos	34,8	3,4E-23	2,3
Calcio (2003-2010)	Entre grupos	53,7	3,1E-29	2,3
Calcio (2010-2013)	Entre grupos	218,1	1,6E-34	2,4
Magnesio (2003-2010)	Entre grupos	187,2	1,8E-55	2,3
Magnesio (2010-2013)	Entre grupos	448,6	5,3E-45	2,4
Potasio (2003-2010)	Entre grupos	194,6	9,6E-58	2,3
Potasio (2010-2013)	Entre grupos	81,7	1,0E-24	2,4
Sodio (2003-2010)	Entre grupos	171,0	1,3E-53	2,3
Sodio (2010-2013)	Entre grupos	301,8	3,6E-39	2,4
Cloruro	Entre grupos	329,3	3,9E-92	2,3
Fosfato	Entre grupos	7,8	2,5E-06	2,3
Nitrato	Entre grupos	2,9	1,5E-02	2,3
Nitrogeno de NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub>	Entre grupos	12,4	3,5E-05	2,8
Sulfato	Entre grupos	283,8	6,0E-80	2,3