

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y
SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL BIOBÍO**

HÉCTOR DANIEL JARPA DÍAZ

HABILITACIÓN PROFESIONAL
PRESENTADA A LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
AGRÍCOLA DE LA
UNIVERSIDAD DE
CONCEPCIÓN, PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL.

CHILLÁN-CHILE

2023

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y
SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL BIOBÍO.**

Aprobado por:

Octavio Lagos R.
Ingeniero Civil Agrícola, Dr.
Profesor Titular

Profesor Guía

Javier Ferrer V.
Ingeniero Civil Químico, Dr.
Profesor Titular

Profesor Asesor

Camilo Souto E.
Ingeniero Civil Agrícola, Dr.
Profesor Titular

Profesor Asesor

Andrés Esteban Pérez Barriga
Ingeniero Civil Agrícola, Mg.
Profesor Externo

Profesor Asesor

Nicole Uslar Valle
Ingeniero Civil Agrícola, Ph.D.
Profesor Asistente

Director de Departamento

María Eugenia González Rodríguez
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
Profesor Asociado

Decana

INDICE DE MATERIAS.

	Página
RESUMEN	1
SUMMARY	3
1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVOS.....	7
2.1. Objetivo general.....	7
2.2. Objetivos específicos.....	7
3. ANTECEDENTES GENERALES.....	8
3.1. Dirección general de aguas.....	8
3.2. Calidad de aguas	8
3.2.1. Caracterización de la calidad de agua según la norma secundaria.....	8
3.2.2. Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Biobío.....	10
3.2.3. Norma de calidad de agua N°1333.....	11
3.2.4. Norma chilena para agua potable n°409/1.	11
3.2.5. Estudios preliminares de calidad de aguas.	11
3.3. Código de aguas Chile	12
3.3.1. Aguas superficiales.....	12
3.3.2. Aguas subterráneas.....	13
3.4. Fuentes de contaminantes en la cuenca del Biobío.	13
3.4.1. Descarga de aguas servidas y residuos domésticos.....	13
3.4.2. Descarga de afluentes industriales y actividades industriales.	14
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
4.1. Área de estudio.	18
4.1.1. Hidrografía de la cuenca del Biobío.....	18
4.1.2. Clima de la Cuenca del Biobío.	21
4.2. Red de monitoreo de aguas chilena.....	22
4.3. Red de calidad de agua en la cuenca del Biobío.....	23
4.3.1. Aguas superficiales.....	23
4.3.2. Aguas subterráneas.....	25
4.4. Puntos de monitoreo seleccionados.....	26
4.5. Definición de emisión de contaminantes fijas y difusas.	29
4.5.1. Fuentes de contaminación fija.....	29
4.5.2. Fuente de contaminación difusa.....	29
4.6. Métodos para clasificar agua:.....	30
4.6.1. Diagramas hidroquímicos.....	30
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33

5.1. Resultados.....	33
5.1.1 Confección de diagrama de Piper y Stiff.	33
5.1.2 Análisis de la calidad de agua superficiales de la cuenca del Biobío mediante una revisión de bibliografía existente.....	35
5.1.3. Análisis de la calidad de agua subterráneas de la cuenca del Biobío mediante una revisión de la información existente.....	37
5.1.4. Diagrama de Piper y Stiff (georreferenciado) de las aguas superficiales de la cuenca del Biobío.....	39
5.1.5. Diagrama de Piper y Stiff de las aguas subterráneas de la cuenca del Biobío.....	42
5.1.6. Niveles de pH.	45
5.1.6.1. Aguas superficiales.	45
5.1.6.2. Aguas subterráneas.	45
5.1.7. Sólidos suspendidos totales en aguas superficiales.....	46
5.1.8. Sólidos disueltos totales en aguas subterráneas.....	47
5.1.9. Conductividad eléctrica.	48
5.1.9.1. Aguas superficiales.	48
5.1.9.2. Aguas subterráneas.	49
5.1.10. Aluminio.	50
5.1.10.1. Agua superficial.....	50
5.1.10.2. Aguas subterráneas.	51
5.1.11 Cloruros.	52
5.1.11.1. Aguas superficiales.	52
5.1.11.2. Aguas subterráneas.	53
5.1.12. Hierro.	54
5.1.12.1 Aguas superficiales	54
5.1.12.2 Aguas subterráneas.	56
5.1.13. Sulfatos.....	57
5.1.13.1. Aguas superficiales.	57
5.1.13.2. Aguas subterráneas.	58
5.1.14 Compuestos en base a nitrógeno.....	59
5.1.14.1. Nitratos en Aguas superficiales	60
5.1.14.1.2. Nitratos en Aguas subterráneas.	61
5.1.14.2 Nitrógeno total y nitritos en aguas superficiales.....	61
5.1.14.3. Amonio en aguas superficiales.....	63
5.1.14.4. Amonio en aguas subterráneas.....	64
5.1.14.5. Análisis de resultados para compuestos en base a nitrógeno	65
5.1.15. Coliformes fecales en aguas superficiales.....	66

5.1.16. Fósforo Total y ortofosfatos en Aguas superficiales.	68
5.1.17. DBO Y DQO en aguas superficiales.....	70
5.1.18. Oxígeno disuelto.	73
5.1.19. Arsénico en aguas subterráneas.	75
5.1.20. Zinc en aguas subterráneas.	76
5.1.21. Manganeso en aguas subterráneas.	77
5.1.22. Magnesio en aguas subterráneas.	79
5.2. Discusión.	80
6. CONCLUSIONES.	83
7. LITERATURA CITADA.....	84
8. ANEXOS.....	93
8.1. Coordenadas de áreas de vigilancia cuenca del Biobío.	93
8.2. Norma secundaria N°9 Niveles de calidad de aguas para las áreas de vigilancia del rio Biobío.	95
8.3. Norma de calidad de agua N°1333.	97
8.4. Norma chilena 409/1 para agua potable.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS.

	Página
Figura 1. Áreas de vigilancia de la cuenca del Biobío.....	10
Figura 2. Densidad de población por comuna y riles (Industriales y domiciliarios).	15
Figura 3. Carga de fuentes puntuales por área de vigilancia.....	15
Figura 4. Mapa de Distribución de monocultivo forestal en la cuenca del río Biobío.....	17
Figura 5. Mapa cuenca del Biobío y red hídrica principal	21
Figura 6. Proceso de generación de datos de calidad de aguas DGA.....	23
Figura 7. Estaciones de monitoreo de aguas en la cuenca del Biobío.....	24
Figura 8. Pozos monitoreados en la cuenca del Biobío basados en los datos de diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de las regiones de Ñuble y del Biobío	24
Figura 9. Estaciones de monitoreo de aguas superficiales seleccionadas.	27
Figura 10. Pozos seleccionados para el estudio.	28
Figura 11. Diagrama de Stiff	31
Figura 12. Clasificación de los diversos tipos de agua según el diagrama de Piper.....	32
Figura 13. Diagrama de Piper de las aguas superficiales	41
Figura 14. Diagrama de Stiff georreferenciado en las distintas estaciones de monitoreo a lo largo de la cuenca.....	41
Figura 15. Diagrama de Piper de pozos seleccionados.....	45
Figura 16. Diagrama de Stiff para los diferentes pozos monitoreados.....	45
Figura 17. Distribución del pH a lo largo de la cuenca junto a su promedio general.....	45
Figura 18. pH de cada pozo monitoreados.....	46
Figura 19. Sólidos suspendidos totales a lo largo de la cuenca junto a su promedio general	47
Figura 20. Sólidos disueltos por litro en cada pozo monitoreado.....	48
Figura 21. Conductividad eléctrica a lo largo de la cuenca y su promedio general.....	49
Figura 22. Conductividad eléctrica medida en pozos seleccionados	50
Figura 23. Presencia de aluminio total a lo largo de la cuenca junto con el promedio general.	51
Figura 24. Aluminio por litro en cada pozo monitoreado.....	52
Figura 25. Presencia de cloruro a lo largo de la cuenca junto a su promedio general.....	53
Figura 26. Cantidad de cloruro por litro en cada pozo monitoreado	54
Figura 27. Hierro total en la cuenca junto a su promedio general.....	55

Figura 28. Cantidad de hierro por litro en cada pozo monitoreado.	57
Figura 29. Presencia de sulfato a lo largo de la cuenca junto a su promedio general.....	58
Figura 30. Niveles de sulfato medidos en los pozos seleccionados.	59
Figura 31. Presencia de nitratos a lo largo de la cuenca junto a su promedio general.....	60
Figura 32. Cantidad de nitratos por litro en cada pozo monitoreado	60
Figura 33. Nitrógeno total a lo largo de la cuenca junto a su promedio general... ..	62
Figura 34. Presencia de nitritos a lo largo de la cuenca junto al promedio general de este.	63
Figura 35. Presencia de amonio a lo largo de la cuenca junto con el promedio general de amonio	64
Figura 36. Amoniaco por litro de cada pozo monitoreado	65
Figura 37. Presencia de coniformes fecales a lo largo de la cuenca junto a su promedio general	67
Figura 38. Fósforo total a lo largo de la cuenca junto a su promedio general...69	
Figura 39. Presencia de Ortofosfatos a lo largo de la cuenca junto a su promedio general.	70
Figura 40. DBO a lo de la cuenca junto a su promedio general.....	72
Figura 41. DQO a lo largo de la cuenca junto a su promedio general.	72
Figura 42. Oxígeno disuelto a lo largo de la cuenca junto a su promedio general.....	75
Figura 43. Cantidad de arsénico en cada pozo monitoreado.....	76
Figura 44. Niveles de zinc medidos en pozos seleccionados.....	77
Figura 45. Niveles de manganeso medidos en pozos seleccionados.....	78
Figura 46. Magnesio en pozos seleccionados.....	79

ÍNDICE DE TABLAS.

	Página
Tabla 1. Resumen de cationes y aniones utilizados para confección del diagrama de piper y Stiff para aguas superficiales.	33
Tabla 2. Resumen de cationes y aniones utilizados para la confección del diagrama de Piper y Stiff para aguas subterráneas.....	34
Tabla 3. Resumen de resultados de contaminantes en cada área de monitoreo hasta zona BU-10 (meses cálidos (Octubre-Marzo)).....	35
Tabla 4. Resumen de resultados de contaminantes en cada area de monitoreo hasta zona BU-10 (meses frios (abril-septiembre)).	36
Tabla 5. Resumen de resultados de los doce pozos seleccionados hasta APR Coihue.	37
Tabla 6. Resumen resultados de pozos seleccionados desde APR Cholguan norte Pedregal hasta APR el Huachi.	38

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL BIOBÍO.

ANALYSIS OF THE QUALITY OF SURFACE AND GROUNDWATER IN
THE BIOBÍO BASIN.

Palabras claves: Norma Nch N °9, norma Nch N°1333, y 409/, Calidad de agua, DGA

RESUMEN

Esta investigación recopiló información existente de la calidad de aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del Biobío, usando como referencia el decreto N° 9 de normas secundarias de calidad de aguas Biobío, que corresponden a las aguas superficiales y las normas chilenas N°1333 y 409/1. Estas normas establecen requisitos de calidad para diferentes usos de las aguas subterráneas. A partir de los datos suministrados por la DGA se procedió a realizar un análisis de la calidad de aguas superficiales y subterráneas.

Para llevar a cabo el análisis, se consideraron diferentes elementos físico-químicos con la finalidad de analizar su calidad; también, se confeccionaron dos diagramas de Piper correspondientes a las aguas superficiales y subterráneas, los cuales dan una vista general de la composición química de las aguas a analizar. Los resultados mostraron el problema de la excedencia de nitrógeno en las aguas superficiales a lo largo de la cuenca, además de no cumplir con el decreto N°9 de la norma secundaria de calidad de aguas superficiales en el Biobío, en toda la extensión de la cuenca. Sin embargo, la situación de las aguas subterráneas se encuentran dentro de las normas impuestas por el Instituto Nacional de Normalización (INN).

Finalmente, se concluye a partir de las investigación, que las aguas superficiales estudiadas van siendo influenciadas por diversos factores antrópicos a lo largo de su recorrido por la cuenca del Biobío, derivando en un empeoramiento de su calidad mientras se van acercando al mar. En cuanto a las aguas subterráneas, por lo general, están dentro de las normas de calidad N°1333 y 409/1, y se concluyó que los niveles anormales de contaminantes puntuales de cada pozo analizado se deben a factores antrópicos y naturales.

ANALYSIS OF THE QUALITY OF SURFACE AND GROUNDWATER IN THE BIOBÍO BASIN.

Keywords: Standard Nch N°9, Standard Nch N°1333, water quality, DGA

SUMMARY

This research compiled existing information on the quality of surface and groundwater in the Biobío basin, using decree No.9 of Biobío secondary water quality standards as a reference, which correspond to surface waters and Chilean standards No. 1333 and 409/1., these standards establish quality requirements for different uses of groundwater. Based on the data provided by the DGA, an analysis of the quality of surface and groundwater was carried out.

To carry out the analysis, different physical-chemical elements were considered, in order to analyze their quality, in addition, two Piper diagrams corresponding to surface and groundwater were made, which give an overview of the chemical composition of the waters at analyze. The results showed the problem of exceeding nitrogen in surface waters throughout the basin, in addition to not complying with decree No. 9 of the secondary quality standard for surface waters in Biobío, throughout the basin. However, the situation of groundwater is within the standards imposed by the National Institute for Standardization.

Certainly, we can conclude from the research that the surface waters studied are being influenced by various anthropic factors throughout their journey through the Biobío basin, resulting in a worsening of their quality as they get closer to the sea, in terms of groundwater is generally within quality standards

No. 1333 and 409/1, and it was concluded that the abnormal levels of specific contaminants in each well analyzed are due to anthropic and natural factors.

1. INTRODUCCIÓN.

La cuenca del Biobío nace de las Lagunas Gualletué e Icalma, recibiendo aportes de diferentes cauces a lo largo de su recorrido. El río Biobío forma una de las cuencas más importantes del país, ya que de sus aguas depende una gran cantidad de población, tanto humana como de flora y fauna (BCN, 2022). La cuenca del río Biobío ha sido a lo largo de los años un sujeto de diversos estudios sociales (Seelmann Freire, 2017), ecológicos (Valdovinos & Parra, 2006) y ambientales (DCPRH, 2019; Gormaz, 2020), lo que refleja su gran importancia para la población chilena.

Los 24029 Km² de suelo de la cuenca se distribuye de la siguiente forma: a) Suelos de riego: 1826,2 km². (7.6%); b) Suelos cultivables de las clases III y IV: 3,52 km². (14.7%); c) Suelos de clase VI y VII de aptitud forestal: 12903,57 Km². (53.7%); d) Suelos de clase VIII de suelos sin uso: 576,70 Km². (24.0%) (Claudio Valdovinos & Oscar Parra, 2006).

Además, se estima una población de 874943 de personas (CEDEUS, 2023) aumentando la demanda de agua en la cuenca. Asimismo, otro factor que suma al estrés hídrico de la cuenca es la gran sequía que afecta la región en los últimos años (Seelmann Freire, 2017).

Para mantener un seguimiento del estado de la cuenca, la Dirección General de Aguas (DGA) ha instalado una serie de estaciones de monitoreo para medir los niveles de contaminación y sedimentación del río, sumado a diferentes investigaciones de partes de organizaciones gubernamentales y privadas, creando así un compendio de información referente al estado de las aguas en la cuenca del Biobío.

Investigaciones preliminares señalan una diferencia en la calidad de aguas de la cuenca en diferentes sectores (MMA, 2017), (DCPRH, 2019), (Cade-Idepe, 2004) Por esta razón, los estudios sobre calidad de agua han permitido concluir que en la cabecera del río Biobío la mayor parte de los parámetros de la calidad de aguas son de buen nivel (Claudio Valdovinos & Oscar Parra, 2006), (DGA, 2019), es decir, aguas aptas para el consumo humano y ganadero; sin embargo, la situación cambia río abajo, donde la presencia antrópica ha afectado gravemente la calidad de sus aguas (Sepúlveda E., 2020).

Todos estos factores demuestran la importancia de un debido estudio de calidad de agua en la cuenca, además de un aumento de inversión del Estado en estaciones de monitoreo y fiscalización, sin olvidar una adecuada gestión del recurso para poder asegurar el uso de éste en el futuro.

Por ende, éste estudio tiene como objetivo general, analizar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del Biobío, mediante una revisión bibliográfica, de acuerdo con la norma secundaria N°9 “Niveles de calidad de aguas para las áreas de vigilancia del río Biobío” en caso de las aguas superficiales y las normas de calidad de agua N°1333 y N°409/1 “Norma chilena para agua potable” en caso de las aguas subterráneas.

Para lograr lo anterior, se hará referencia a la teoría planteada para estos efectos, es decir, las distintas estaciones de monitoreo de aguas distribuidas en la cuenca del Biobío y el monitoreo de los APR rurales de la Cuenca.

2. OBJETIVOS.

2.1. Objetivo general.

Analizar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del Biobío, basado en parámetros físicos y químicos, mediante una revisión de información secundaria existente, tomando como referencia 3 diferentes normas; Norma secundaria N°9; Niveles de calidad de aguas para las áreas de vigilancia del Río Biobío en aguas superficiales, Norma de calidad de agua N°1333 y la norma chilena para agua potable n°409/1 utilizadas en las aguas subterráneas.

2.2. Objetivos específicos.

- Analizar la calidad de aguas superficiales de la cuenca del Biobío, basado en parámetros físicos y químicos, mediante una revisión de bibliografía existente, tomando como referencia la “Norma secundaria N°9: Niveles de calidad de aguas para las áreas de vigilancia del río Biobío.
- Analizar la calidad de aguas subterráneas de la cuenca del Biobío, basado en parámetros físicos y químicos mediante una revisión de la información existente, tomando como referencia las “Normas de calidad de agua N°1333” y la” Norma chilena para agua potable n°409/1”.

3. ANTECEDENTES GENERALES.

3.1. Dirección general de aguas.

La Dirección General de Aguas (DGA), es el organismo del Estado que se encarga de promover la gestión y administración de los recursos hídricos, además de proporcionar y difundir la información generada por su red hidrométrica y almacenar los datos en el catastro público de aguas.

La política nacional de aguas impulsa el principio y objetivo de conservar y proteger el recurso hídrico y el medio ambiente asociado. Para ello, entre otras acciones, la Dirección General de Aguas mantiene y opera a lo largo del país la Red Hidrométrica Nacional, el Banco Nacional de Aguas, Red de Calidad de Aguas Superficiales, Subterránea y la Red Mínima de Control de Lagos (SAG, 2005).

3.2. Calidad de aguas.

3.2.1. Caracterización de la calidad de agua según la norma secundaria.

La ley N°19300, artículo 32, estipula que las normas de calidad secundaria, tienen por objetivo proteger y conservar el medio ambiente, así también la naturaleza, los cuales son de carácter local y no necesariamente nacional. La calidad del agua está determinada por las características químicas, físicas y biológicas que tiene un cuerpo de agua, lo que permite interpretar el estado en que se encuentra el recurso. Los cuerpos de agua presentan una calidad natural, entendida como las características propias del sistema, donde la concentración de un compuesto corresponde a la situación original del agua y sus ecosistemas sin intervención antrópico (Informe final del estado del medio ambiente, 2016)

Durante los años 2003 y 2004, la Dirección General de Aguas llevó a cabo un estudio cuyo objetivo final es caracterizar la calidad de las aguas en 33 cuencas hidrográficas a lo largo de nuestro país. La propuesta de norma secundaria considera un total de 61 parámetros que son utilizados para caracterizar el agua en clases o categorías, las que se relacionan con su uso potencial y su valor ambiental (SAG, 2005) Estas son:

- a) Excepcional: Indica un agua de mejor calidad que la clase 1, que, por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte del patrimonio ambiental de la República.
- b) Clase 1: Muy buena calidad. Indica un agua apta para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en las clases 2 y 3.
- c) Clase 2: Buena calidad. Indica un agua apta para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa, y para los usos comprendidos en la clase 3.
- d) Clase 3: Regular calidad. Indica un agua adecuada para bebida de animales y para riego restringido.
- e) Clase 4: Aguas de mala calidad no adecuadas para su uso sin previo tratamiento.

La clasificación de las aguas es de gran importancia, puesto que facilita una mejor gestión de esta, siguiendo criterios de calidad, evitando así el empeoramiento del recurso hídrico a utilizar, ya que los diferentes usos antrópicos siempre suponen un cierto nivel de contaminación hacia el agua utilizada y al medio receptor.

3.2.2. Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Biobío.

En el año 2015 se promulga el decreto número N°9, que establece normas secundarias de calidad de agua para la cuenca del río Biobío, esto con el objetivo de conservar o preservar los ecosistemas acuáticos y sus servicios eco-sistémicos, a través de la mantención o mejoramiento de la calidad de las aguas de la cuenca del Biobío. Para ello, se definen catorce áreas de vigilancia ilustradas en la figura 1 a lo largo de la cuenca, con el fin de controlar el cumplimiento de las normas.

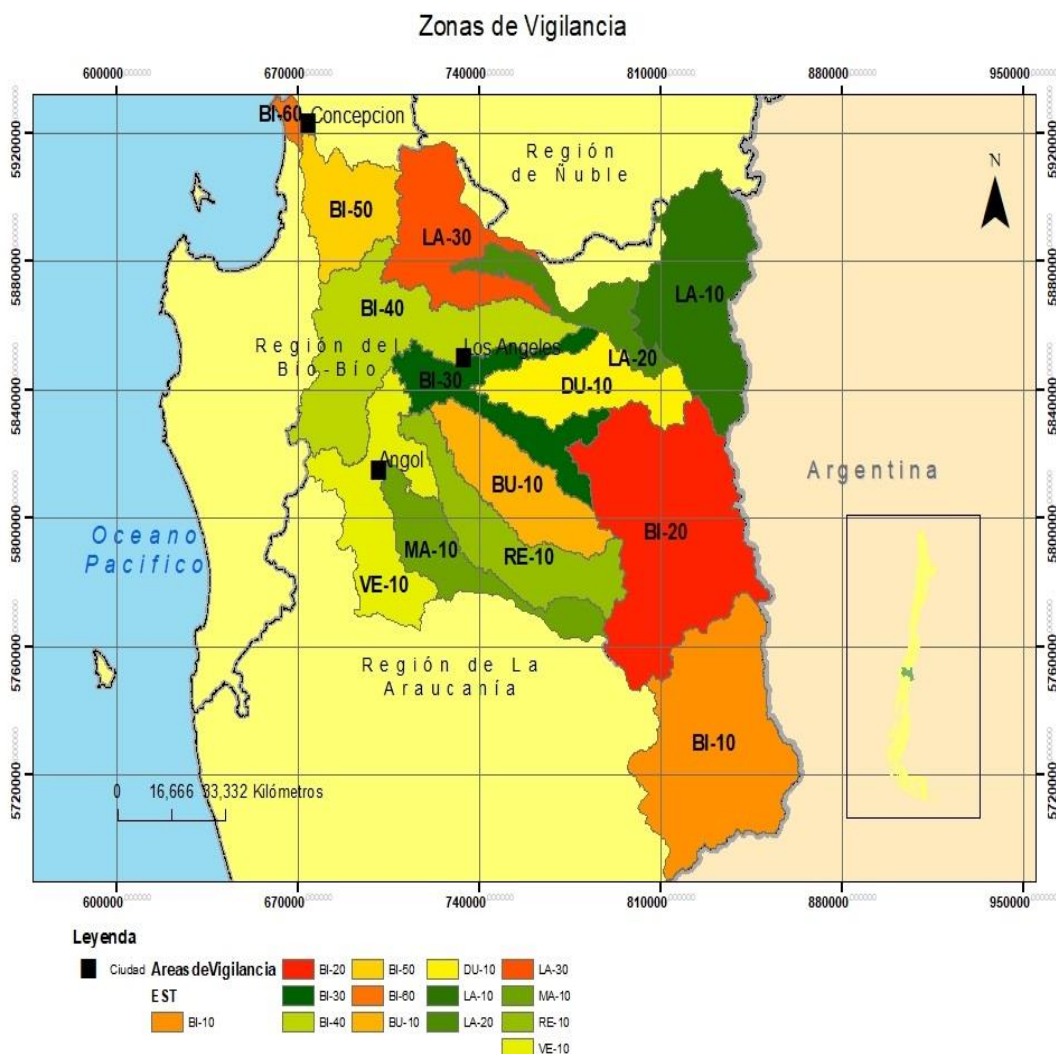


Figura 1. Áreas de vigilancia de la cuenca del Biobío (Fuente: Elaboración propia)

3.2.3. Norma de calidad de agua N°1333.

Promulgada en 1978 y modificada en 1987, esta norma establece los requisitos de calidad del agua de acuerdo con su utilización, incluyendo los siguientes usos; consumo humano, bebida de animales, riego, recreación (recreación con contacto y sin contacto directo), estética y vida acuática. La norma fija un criterio de calidad del agua de acuerdo con requerimientos científico referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos, según el uso determinado. Señala que dichos criterios tienen por objetivo proteger y preservar la calidad de las aguas que se destinen a usos específicos de la degradación producida por contaminación con residuos de cualquier tipo y origen.

3.2.4. Norma chilena para agua potable n°409/1.

Norma chilena oficial que fija los requisitos de calidad para agua potable en todo el territorio nacional y se aplica al agua potable proveniente de cualquier servicio de abastecimiento (Gómez, 2018) Para el presente informe, se utilizó esta norma con respecto a los niveles de calidad de agua en los pozos.

Con la Nch N°1333 y Nch n°409/1 se establecen los parámetros a medir para la realización de los gráficos de aguas subterráneas.

3.2.5. Estudios preliminares de calidad de aguas.

La calidad del agua del Río Biobío se ve reflejada en las condiciones que impone el sistema natural, es decir: el clima, la geología y la geomorfología; el uso múltiple del recurso en las diferentes subcuencas del sistema fluvial y los diversos usos de suelo presentes en la Región, los cuales son principalmente de uso agrícola y Forestal (Infraeco, 2017).

Como se indicó anteriormente, en la parte superior de la cuenca, la calidad del agua es reflejo de las condiciones naturales, vale decir aguas en buena calidad, con poca intervención antrópica y baja contaminación, inclusive aguas en buenas condiciones para consumo humano (Parra Oróstica, 2015). Por otro lado la situación cambia en las zonas centrales y costeras de la cuenca, ya que ahí existe una gran intervención antrópica por las zonas urbanas en relación a la instalación de “pozos negros”, emisión de desechos y depósito de estos en zonas cercanas a cauces de agua e incluso dentro de los mismos canales y el “uso de químicos por parte de las empresas forestales ha ido provocando una contaminación de los principales cauces de la Región” (Infraeco, 2017).

En resumen, las aguas superficiales, en un principio, presentan buena calidad y baja contaminación. Luego, mientras las aguas se abren paso por la cuenca, reciben contaminantes desde diferentes fuentes, los cuales afectan negativamente la calidad de estas (Sepúlveda E., 2020).

3.3. Código de aguas Chile.

3.3.1. Aguas superficiales.

Según el artículo dos, párrafo uno, del código de aguas chileno, las aguas superficiales se definen como “Aquellas que se encuentran naturalmente a la vista del hombre y pueden ser corrientes o detenidas”

3.3.2. Aguas subterráneas.

Según el artículo dos, párrafo cuatro, del código de aguas chileno, las aguas subterráneas se definen como “las que están ocultas en el seno de la tierra y no han sido alumbradas”.

3.4. Fuentes de contaminantes en la cuenca del Biobío.

3.4.1. Descarga de aguas servidas y residuos domésticos.

Con respecto a las descargas de aguas servidas y residuos domésticos en la cuenca, es importante señalar la población. Para ello, se describe que actualmente viven alrededor de 1.122.593 de personas en la cuenca del Biobío (INE, 2017), lo que significaría una gran carga de aguas servidas según la cantidad de usuarios en la cuenca. El 95% de la población de la región del Biobío cuenta con alcantarillado regulado (SiSS, 2020), tomando en cuenta que la cuenca del Biobío se encuentra en su mayoría en la región homóloga, podemos inferir que gran parte de la población establecida en la cuenca, cuenta con este servicio. Respecto a lo anterior, existen 32 plantas de tratamiento de aguas servidas en la región del Biobío con una cobertura de 100 hm³/año (SiSS, 2020). Sin embargo, no existen datos cuantificables de la cantidad de desagües de aguas negras no reguladas a lo largo de la cuenca por parte de población con bajos recursos o población rural, los cuales no cuentan con alcantarillado regulado.

3.4.2. Descarga de afluentes industriales y actividades industriales.

Con el fin de dar explicación al estado de las aguas del Biobío, la sección siguiente expone el grado de carga de contaminantes al que es sometida el agua a lo largo de la cuenca y la actividad forestal a la que está sujeta. A pesar de las inversiones en sistemas de tratamiento de aguas utilizadas en la industria, estas siguen siendo las mayores fuentes de contaminantes para las aguas (Figuroa, Parra, & Diaz, 2020). Esto indica que las comunas con mayor actividad industrial, como Concepción, Talcahuano, Laja y Los Ángeles, son los centros que más aportan sustancias a las aguas; además, se visualizan diferentes actividades industriales correspondientes al sector forestal distribuidas en la depresión intermedia (Figuroa, Parra, & Diaz, 2020).

En los siguientes mapas (figura 2 y figura 3) se muestran las descargas de riles en las aguas de la cuenca, junto con la variabilidad de densidad de población en la cuenca; se expone, además, en la figura 4, la actividad forestal presente en la cuenca.

Como se logra observar en la figura 2, la mayoría de la población en la cuenca vive en las áreas urbanas de Concepción, Los Ángeles y Angol. Las dos últimas urbes, están ubicadas en el valle central de la cuenca, lo que implica el aumento de uso y desagüe de aguas a los cursos cercanos. Así mismo, la figura 3 se indica el aumento significativo de carga de contaminantes en las aguas de la cuenca y las fuentes puntuales de emisión en la zona central, sobre todo en las áreas de vigilancia DU-10, BI-30, BI-40, BI-60y LA-30, las cuales coinciden con el aumento de la densidad poblacional y presencia de

Industrias. Por último, se observa que las zonas cordilleranas y las zonas sureñas de la cuenca, son las menos afectadas por las cargas de contaminantes y las fuentes puntuales de contaminación al ser muy pocos o inexistentes.

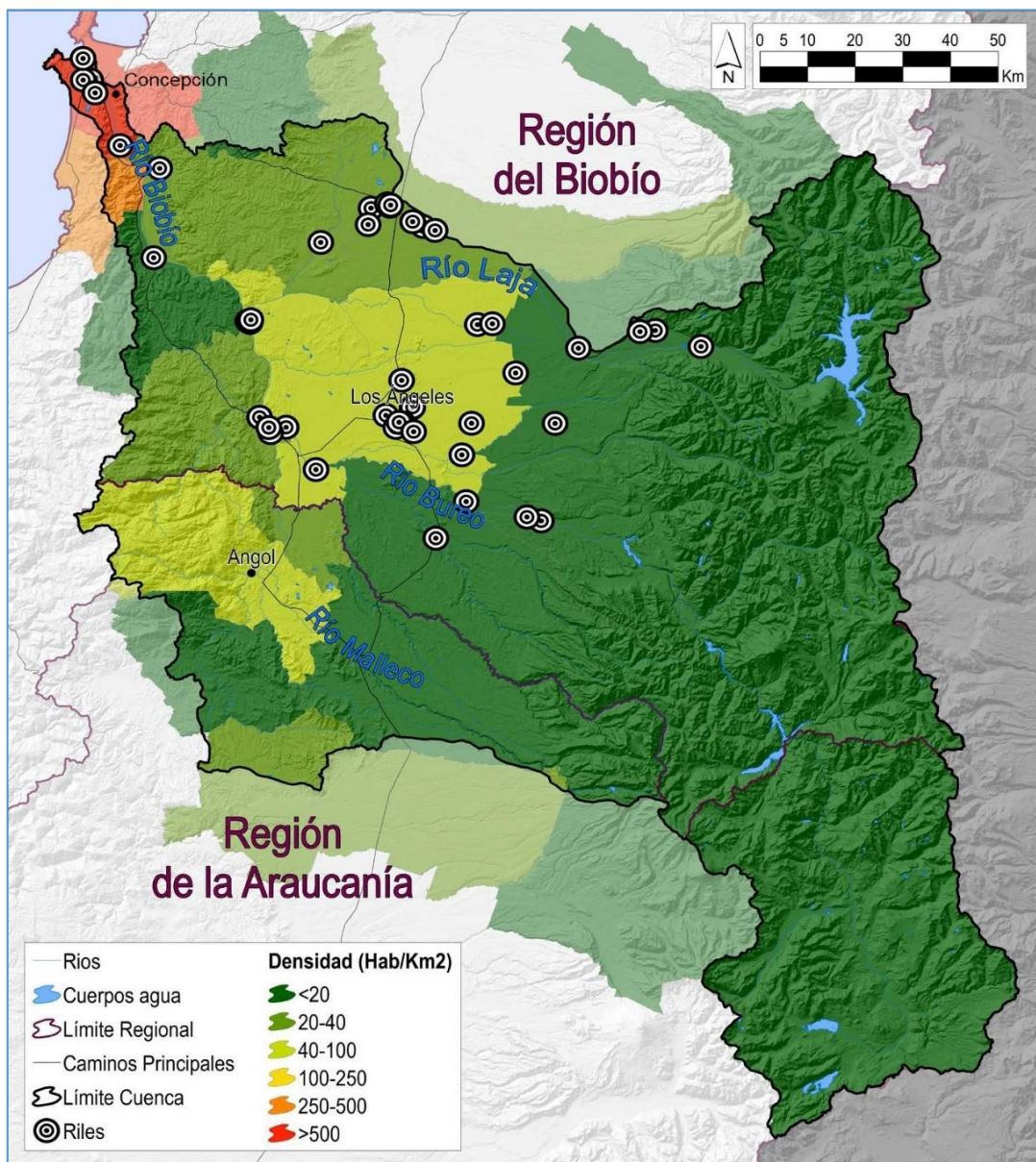


Figura 2. Densidad de población por comuna y riles (industriales y domiciliarios) (EULA,2016).

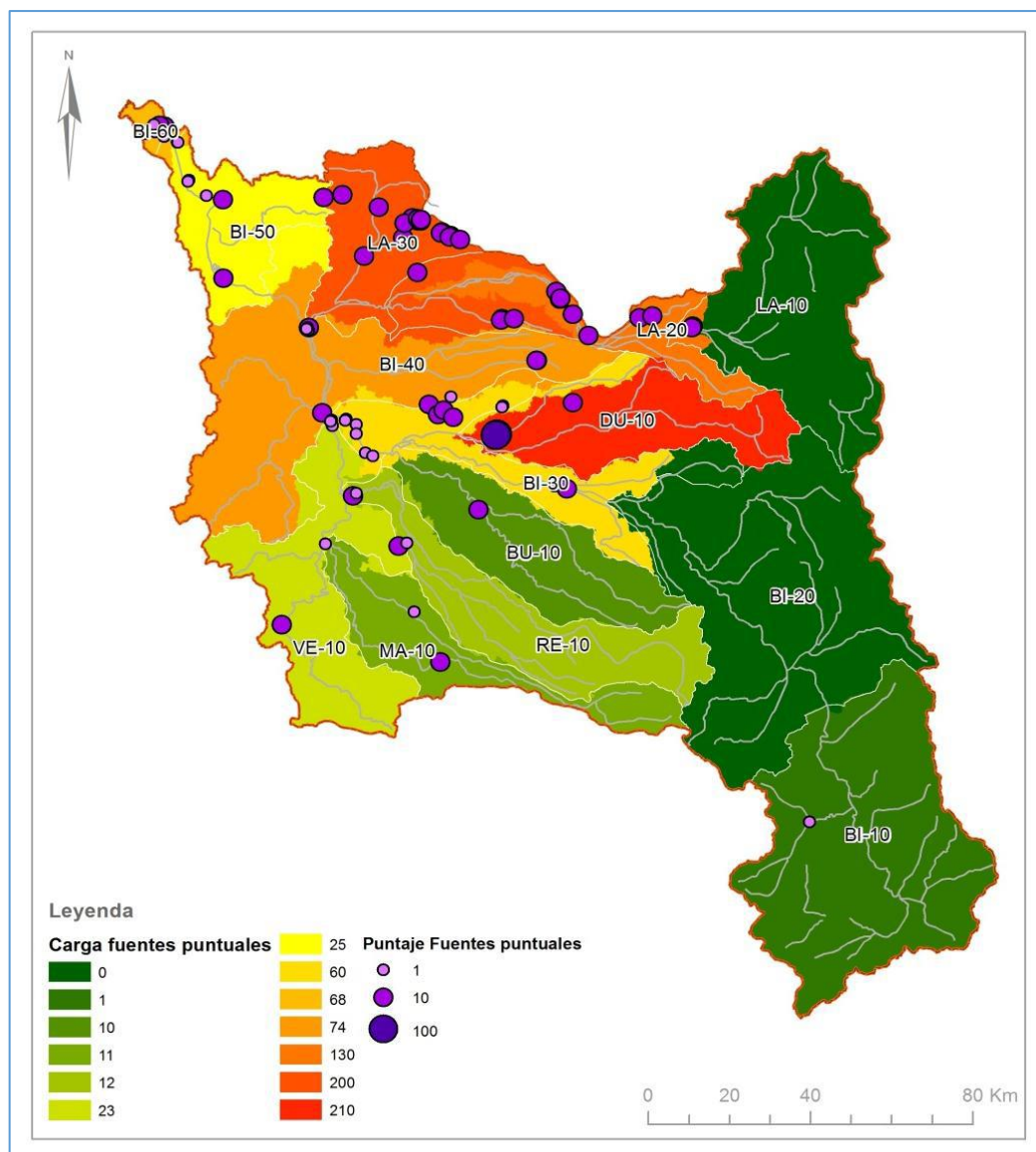


Figura 3. Carga de fuentes puntuales por área de vigilancia (MMA, 2017).

Otro punto para tomar en cuenta es la actividad forestal presente en la zona, la cual es la principal actividad económica de la zona, sobre todo las plantaciones de monocultivo de pino radiata y eucalipto. Según (Cuellar & Mosquera, 2021) “las principales fuentes de contaminación difusa son las que provienen de actividades de cultivos por el uso excesivo de fertilizantes”. A continuación se muestra la figura 4 donde se exponen las actividades forestales presentes en la zona.

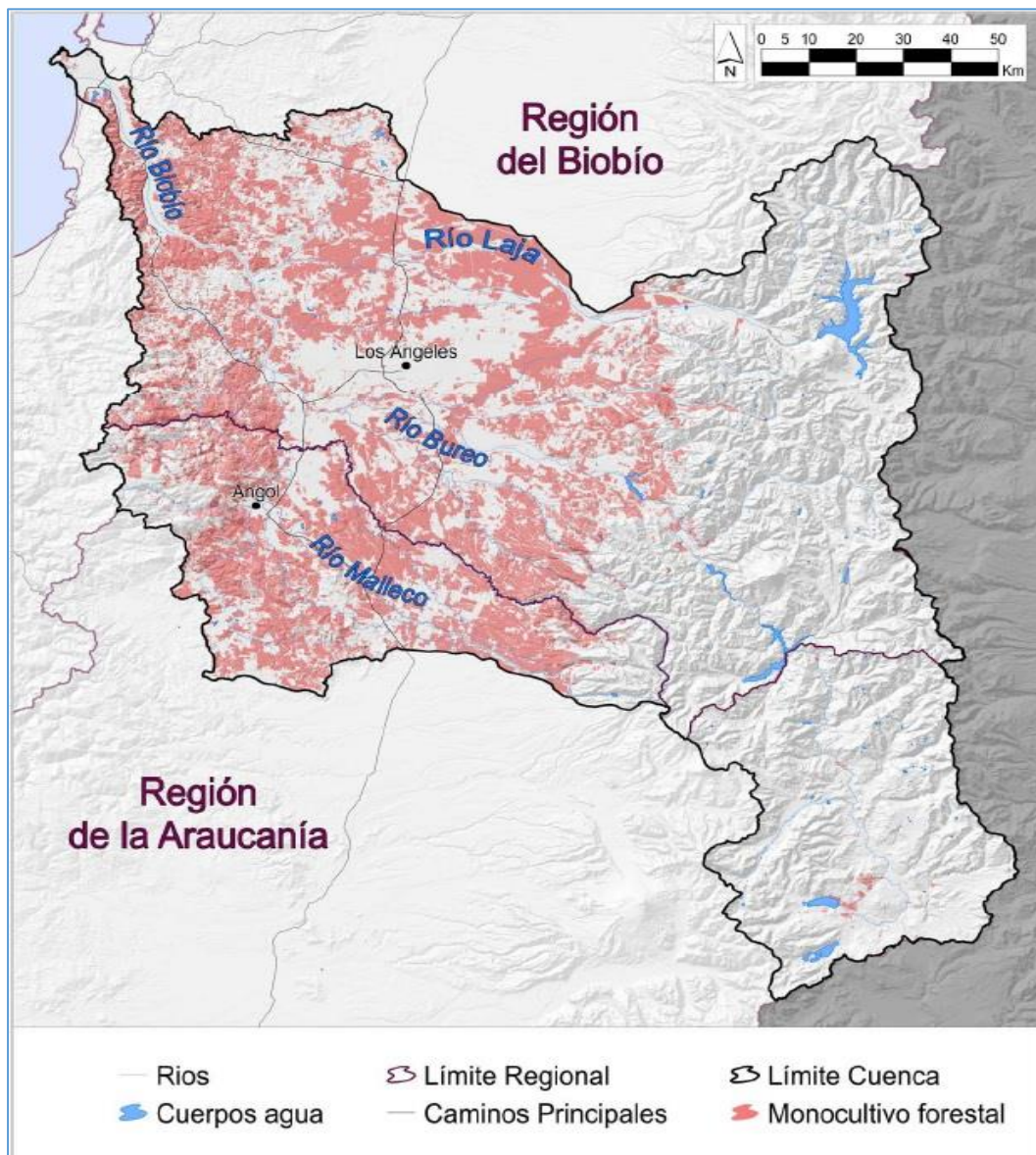


Figura 4. Mapa de Distribución de monocultivo forestal en la cuenca del río Biobío (MMA, 2017).

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1. Área de estudio.

4.1.1. Hidrografía de la cuenca del Biobío.

La cuenca del Biobío es la segunda de mayor tamaño a nivel nacional y cuenta con una superficie de 24.264 km². Nace en las lagunas cordilleranas Gualletué e Icalma (Figura 5), ubicadas en la Región de La Araucanía para iniciar su recorrido hacia el norte, recibiendo aporte de cursos menores como los ríos Liucura, Pehuenco, Gualyepulli, entre otros, siendo su principal afluente el Río Laja (Zenteno, 2016). Durante su curso, el Biobío arrastra gran cantidad de sedimentos y alcanza un ancho de cauce superior a 2 km. Desemboca en las cercanías de Concepción tras recorrer una extensión de 370 km. (Zenteno, 2016).

La cuenca del Biobío limita al norte con la hoya del río Itata y, en su curso inferior, con la del río Andalíen; al este, sus cabeceras quedan separadas por la cordillera andina de la cuenca alta del Río Neuquén de la República Argentina; por el sur limita con la hoya del río Imperial. Por el oeste, queda separada, en buena parte, por la cordillera de Nahuelbuta (Niemeyer Fernández, 1999).

Luego del nacimiento del río, este comienza a deslizarse lentamente hacia el SE. A unos 10 km de su nacimiento recibe desde el sur por su ribera derecha el río Rucanuco que desagua la laguna Icalma. Luego de la desembocadura del río Rucanuco, el Biobío, con varias curvas en su andar, comienza a cambiar lentamente de rumbo hacia el norte, tras cursar una curva de varios kilómetros. En todo este tramo confluyen ríos de pequeño caudal, salvo los ríos Liucura y Pehuenco desde el oriente. Aguas abajo, le aportan los ríos

Pedregoso desde el oeste; el río Miñanquen desde el oriente; el río Lolen por su ribera izquierda y el río Lonquimay del mismo lado (Niemeyer Fernández, 1999). Este último tiene un caudal medio anual considerable de aproximadamente 23,6 m³/s (DGA,2022) y hace su entrada por un valle amplio y profundo; drena las laderas orientales del cordón montañoso externo occidental ayudado por diferentes caudales que aportan al efluente. En su avance hacia el norte, el Biobío recibe luego del volcán Lonquimay, al río Rahue.

En su confluencia, el río Biobío, que en todo su curso superior ocupa un ancho promedio de 1 km, en su progreso empieza a encajonarse. El valle que atraviesa el río Biobío, a medida que avanza hacia el norte, se estrecha progresivamente, tanto así que en muchas partes las montañas caen abruptamente sobre las márgenes del río. De esta forma, el Biobío, en dirección al nornoroeste, se abre camino a través de las montañas desde las cuales recibe diversos aportes de diferente importancia. El principal es el río Ranquil, que proviene desde el noreste a través de un valle.

En su recorrido a través del valle central, el río Biobío recibe importantes tributarios, es decir, por la ribera norte se le junta el río Queuco, todavía en ambiente precordillerano. El Queuco es el río más importante que tributa al Biobío en su curso superior.

Fuera del ámbito cordillerano se le junta al Biobío por el norte, a 2.5 km aguas arriba de Santa Bárbara, el río Mininco, que nace a los pies el cerro El Jote con su principal tributario el río Los Manzanos. En el valle central, a unos 7.5 km de Negrete, el Biobío recibe por su rívera norte al río Duqueco; casi frente a la desembocadura de este último, cerca de Negrete, el Biobío recibe por la

ribera sur al río Bureo, siendo un importante tributario por su alto caudal medio mensual de aproximadamente 31 m³/s (DGA,2022). Más abajo, y cerca de la ciudad de Nacimiento, el Biobío recibe su tributario más importante del sur, el río Vergara, que se origina a 2.31 km al norte de la ciudad de Angol de la confluencia de los ríos Malleco y Rehue.

El río Vergara tiene por principal tributario al río Renaico, al cual se junta sobrepasado en 7 km la ciudad de Renaico. El Biobío, a unos 13 km aguas arriba de la desembocadura del Laja, recibe por su ribera derecha al río Huaqui, originado por la reunión de numerosos cursos de agua generados en vegas del flanco oriente del valle central. El río Taboleo, considerado de cierta importancia, reúne las aguas que se generan en un extenso sector de la falda oriente de la cordillera Nahuelbuta, para vaciarse en la margen occidental del Río Biobío, a no más de 7 km aguas abajo de la ciudad de Nacimiento.

El río Laja constituye, sin duda, el afluente más importante del Biobío, puesto que aporta un caudal medio anual de 170 m³/s y drena una superficie de 4040 Km² (Valdovinos & Parra, 2006) por su ribera norte. La confluencia se halla en las proximidades de la estación de San Rosendo y de la ciudad de Laja, a los pies orientales de la cordillera costera. El río Laja nace en el lago Laja, situado a una cota de 1360 m.s.n.m.; su longitud total alcanza a 140 km. y su hoya, a 4040 km². El principal afluente del río Laja en el ámbito cordillerano es el río Polcura. En pleno valle central y solo a 10 km de su desembocadura, cerca de la estación Turquía, el río Laja recibe, por su ribera norte, al río Claro; por la ribera sur, el Laja recibe aguas abajo del Salto del Laja y el río Caliboro, para al fin desembocar en efluente principal.

Finalmente, el lecho en el curso inferior del Río Biobío es muy ancho, de más de 2 km frente a San Pedro y de 2,3 Km Quilacoja, para al fin desembocar en el mar.

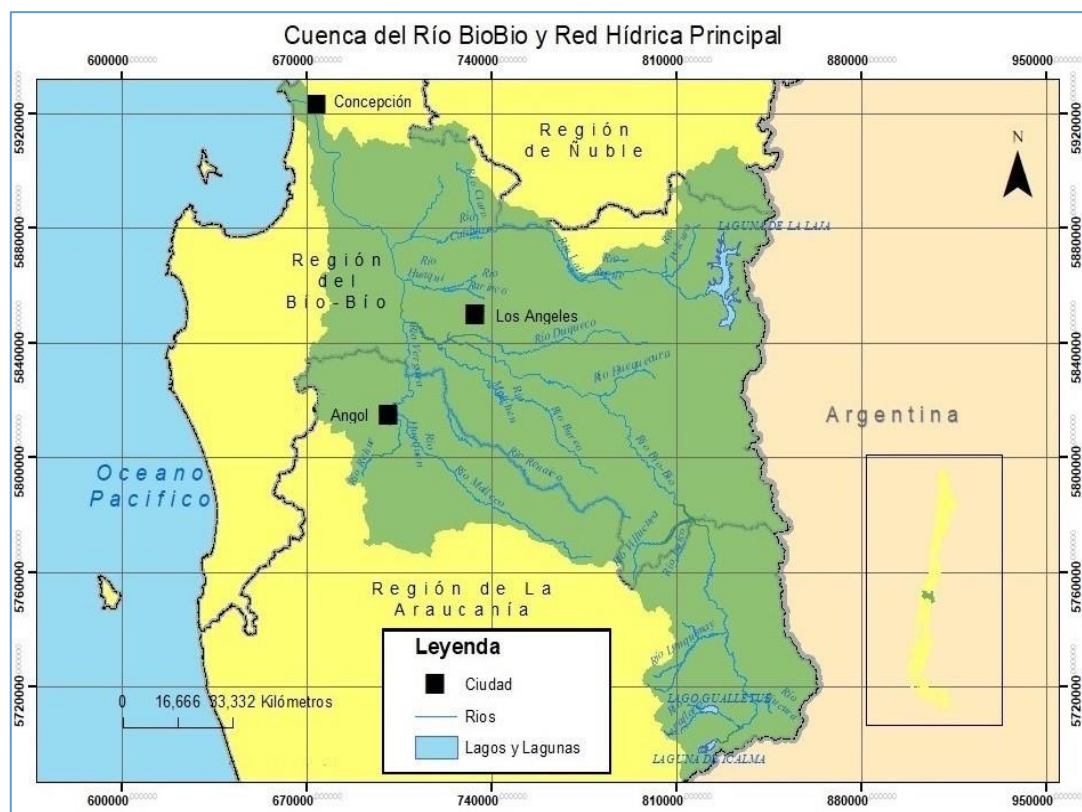


Figura 5. Mapa cuenca del Biobío y red hídrica principal.
(Fuente: Elaboración propia).

4.1.2. Clima de la Cuenca del Biobío.

La región marca la transición entre los climas templados secos de la zona central de Chile y los climas templados lluviosos que se desarrollan inmediatamente al sur del río Biobío. En la franja costanera y en los sectores altos y laderas occidentales de la Cordillera de la Costa se presenta un clima templado húmedo, vale decir, con una humedad constante y precipitaciones que fluctúan entre 1.200 mm y 2.000 mm anuales de norte a sur de la región. Hacia el interior, el clima templado costero húmedo posee también temperaturas menos extremas, donde las precipitaciones alcanzan 1.330 mm

anuales con un período seco de cuatro meses. En el valle longitudinal las temperaturas presentan un mayor contraste entre día y noche. En la parte norte de la región predomina el clima templado mediterráneo abarcando toda la zona intermedia, bordes orientales de la Cordillera de la Costa y los sectores más bajos de la precordillera. (BCN, 2022)

4.2. Red de monitoreo de aguas chilena.

La explotación de la red por la DGA comienza en la década de los años sesenta del pasado siglo, con el muestreo de un total de 86 estaciones. En la década siguiente, el número de estaciones se incrementa en 53, y en la de los ochenta en 94. En la última década del siglo, se da un incremento notable a la red, aumentando el número de estaciones en 137 unidades. En el presente siglo se ha aumentado el número de estaciones hasta alcanzar la situación actual, de 1472 puntos de monitoreo (DGA, 2022) a nivel nacional.

Esta red existe con el objetivo de:

- La detección de alteraciones de calidad de agua en los cuerpos acuosos
- Caracterizar la calidad de las aguas con el fin de establecer sus diferentes usos.
- Proporcionar información para los estudios hidrológicos.

La DGA, en atención a su misión de generar información relativa a las aguas, dispone de una red de monitoreo de calidad de estas, tanto para aguas superficiales como subterráneas. Para ello, se encarga de realizar el monitoreo (medición *in-situ* y toma de muestras), analizar las muestras y publicar los resultados (DGA, 2019), además, se cuenta con un laboratorio ambiental encargado de los análisis de las muestras tal como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Proceso de generación de datos de calidad de aguas DGA. (Fuente: Dirección general de aguas 2020.)

4.3. Red de calidad de agua en la cuenca del Biobío.

4.3.1. Aguas superficiales.

Con relación a las aguas superficiales, actualmente la cuenca del Biobío dispone de un total de 33 estaciones de monitoreo para parámetros físico-químicos a lo largo de la cuenca, 22 de ellas en operaciones y 11 suspendidas en lo que va del año 2020. La frecuencia del monitoreo depende principalmente del tipo de cuerpo de agua. Para la mayor parte de la red de estaciones, el monitoreo es llevado a cabo 4 veces al año (verano, otoño, invierno y primavera) en aguas superficiales y 2 veces al año (otoño y primavera) en aguas subterráneas (Gobierno de Chile, 2017).

En las estaciones de monitoreo se miden en terreno aquellos parámetros que son considerados fundamentales para la evaluación de la calidad: temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica. Otros parámetros como aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobalto, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plata, plomo, selenio y zinc, calcio, clorofila “a”, cloruro, demanda química de oxígeno (DQO), fosfato, magnesio, nitrógeno, potasio, sílice, sodio, sulfato, son analizados en laboratorio (DGA, 2016).

En la figura 7 se pueden apreciar las estaciones de monitoreo repartidas a lo largo de la cuenca del Biobío

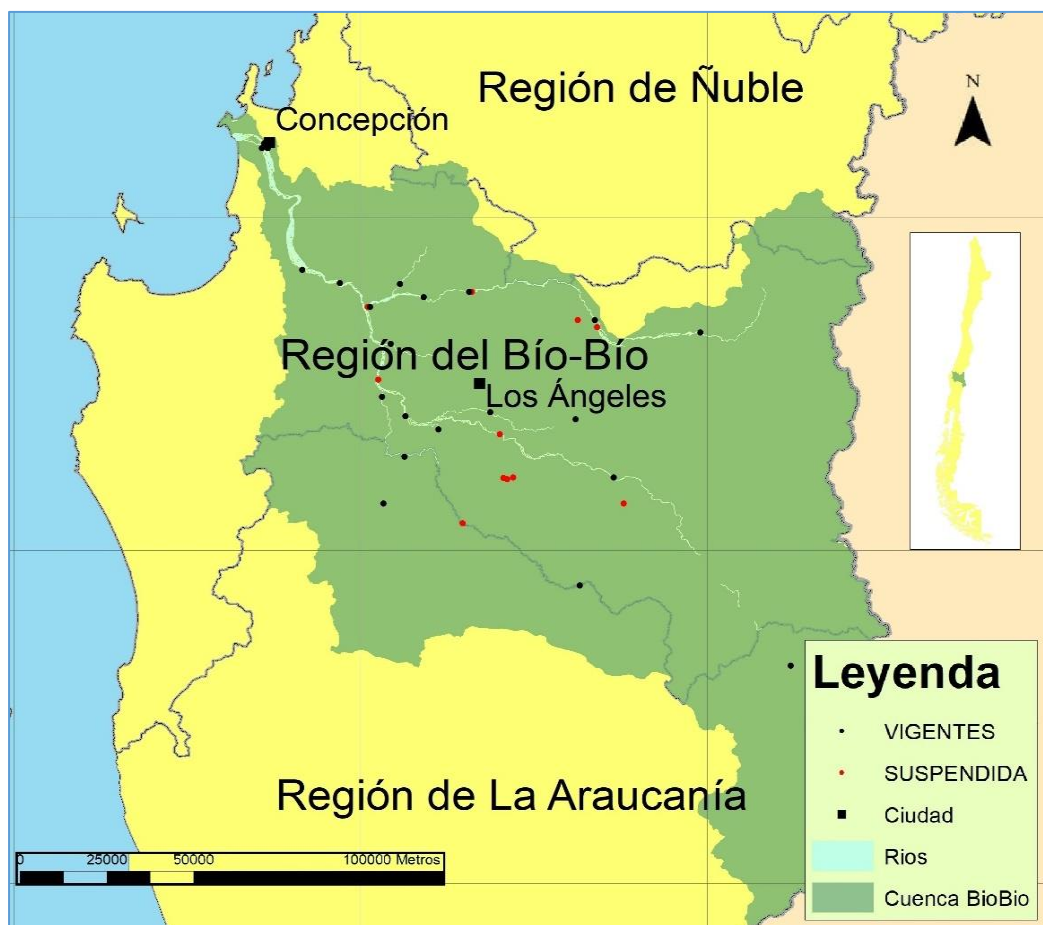


Figura 7. Estaciones de monitoreo de aguas en la cuenca del Biobío.
(Fuente: elaboración propia).

4.3.2. Aguas subterráneas.

Para las aguas subterráneas, la DGA mide en aproximadamente 70 pozos a lo largo del país la calidad del agua subterránea. La mayoría de estos pozos se encuentran en el norte del país y en la Región Metropolitana. En el sur de Chile, se monitorea la calidad de muy pocos acuíferos y en algunas regiones no hay pozos de observación (Barrera, *et al*, 2016) En la figura 8 se pueden apreciar 37 pozos monitoreados en la cuenca (DCPRH, 2019) . Se logra apreciar pozos monitoreados fuera de la cuenca ya que la DGA analiza los pozos por unidad administrativa no por cuenca; en este caso la unidad administrativa es la región del Biobío.

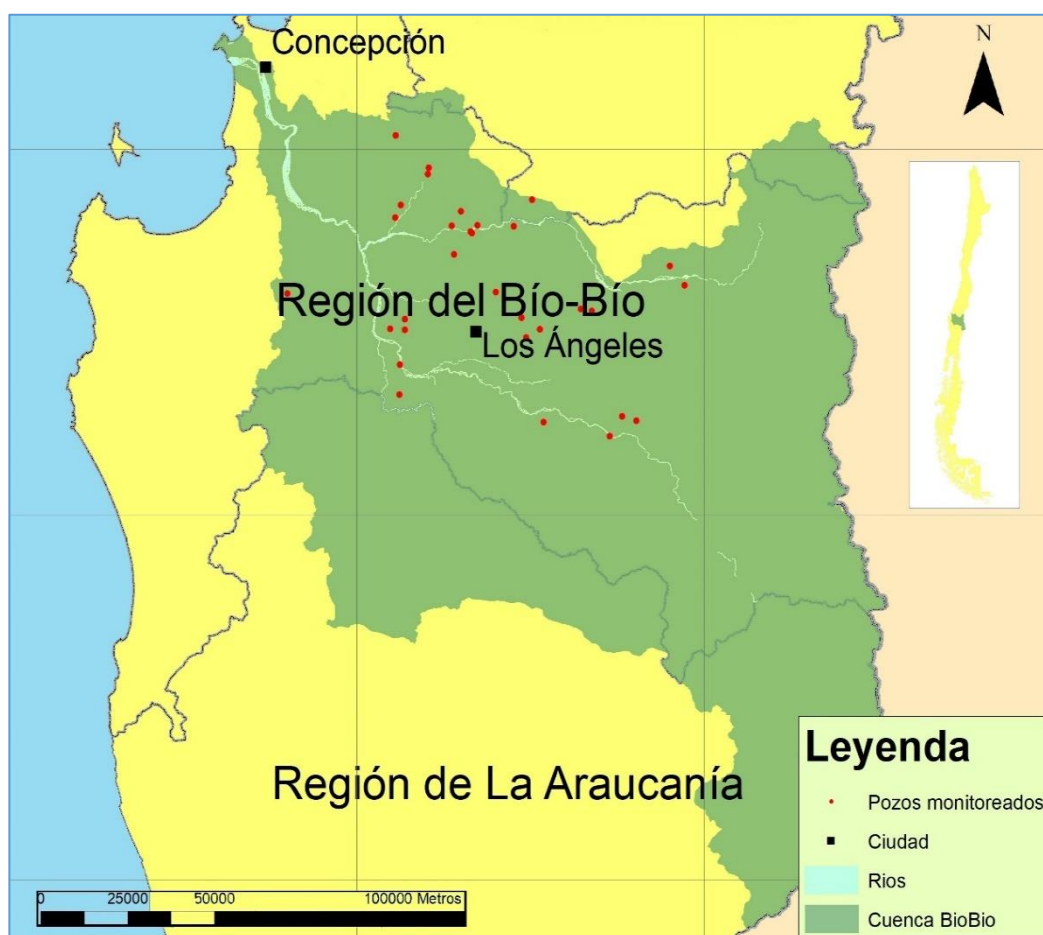


Figura 8. Pozos monitoreados en la cuenca del Biobío basados en los datos de diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de las regiones de Ñuble y del Biobío (Fuente: Elaboración propia).

4.4. Puntos de monitoreo seleccionados.

Como anteriormente se pudo apreciar, existen diferentes puntos de monitoreo a lo largo de la cuenca del Biobío para aguas superficiales. Además, en el DS N° 9 se estipula que existen catorce áreas de vigilancia, con diferentes parámetros ambientales a seguir. Para efectuar el análisis, se seleccionaron catorce estaciones de vigilancia de aguas superficiales que representen a cada área de monitoreo; luego de esto, se procedió a buscar la información almacenada en la DGA de cada estación a lo largo de 2 años, específicamente desde el 1 de enero de 2018 hasta el 1 de enero de 2020, ya que las mediciones de años anteriores están incompletas o son inexistentes. A continuación, se da a conocer la ubicación de cada estación utilizada en la figura 9.

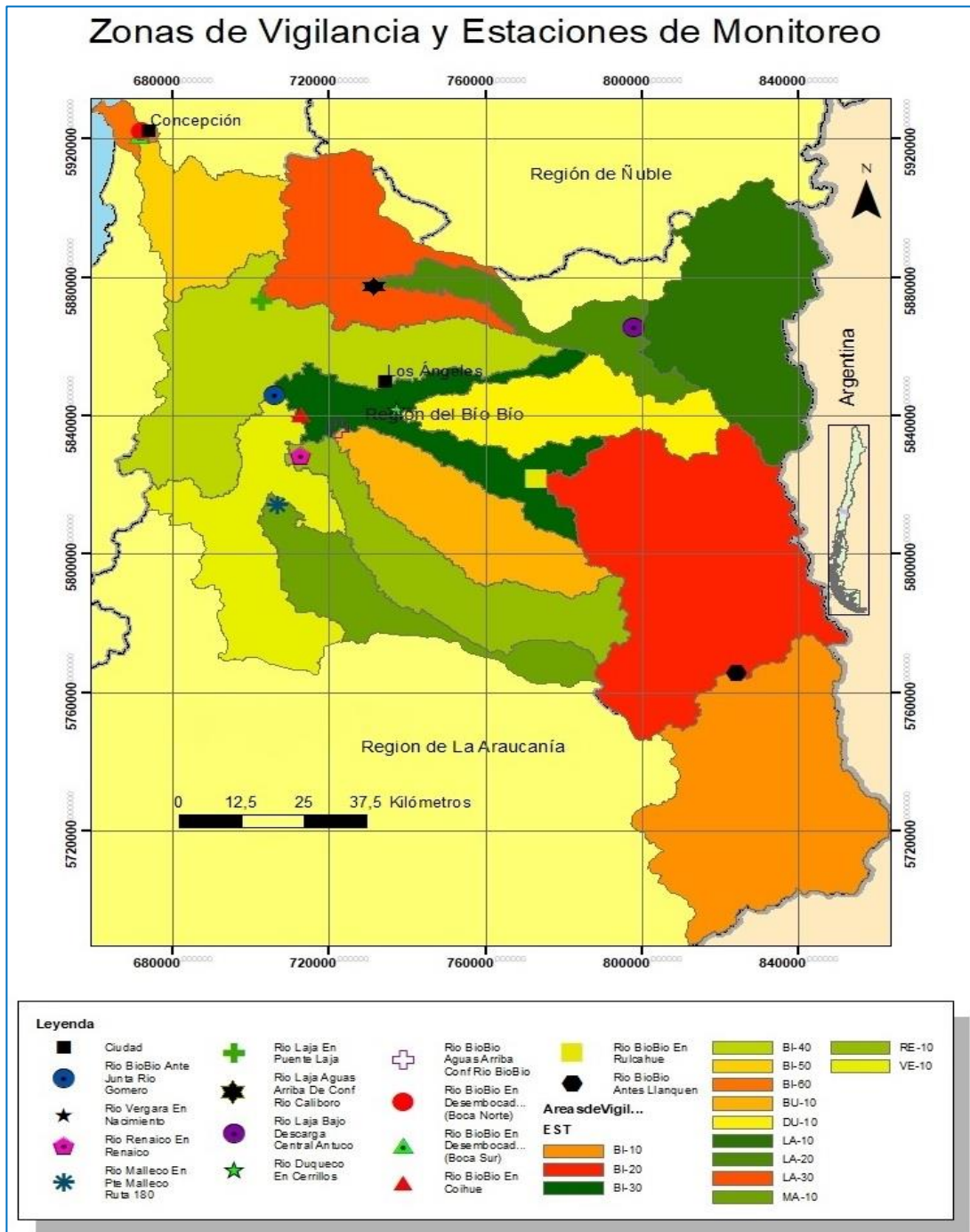


Figura 9. Estaciones de monitoreo de aguas superficiales seleccionada (Fuente: elaboración propia).

Por otro lado, en la sección de aguas subterráneas, debido a la gran cantidad de información cualitativa, y con el propósito de facilitar la síntesis de las tablas, se seleccionaron doce pozos en distintas localidades (Figura 10) con criterios de localización, considerando que los APR estén cercanos a centros urbanos o a fuentes de agua superficiales. Esto con el fin de observar si existe una relación entre los niveles de elementos encontrados y la proximidad de los APR a fuentes de aguas superficiales y a las actividades antrópicas del sitio.

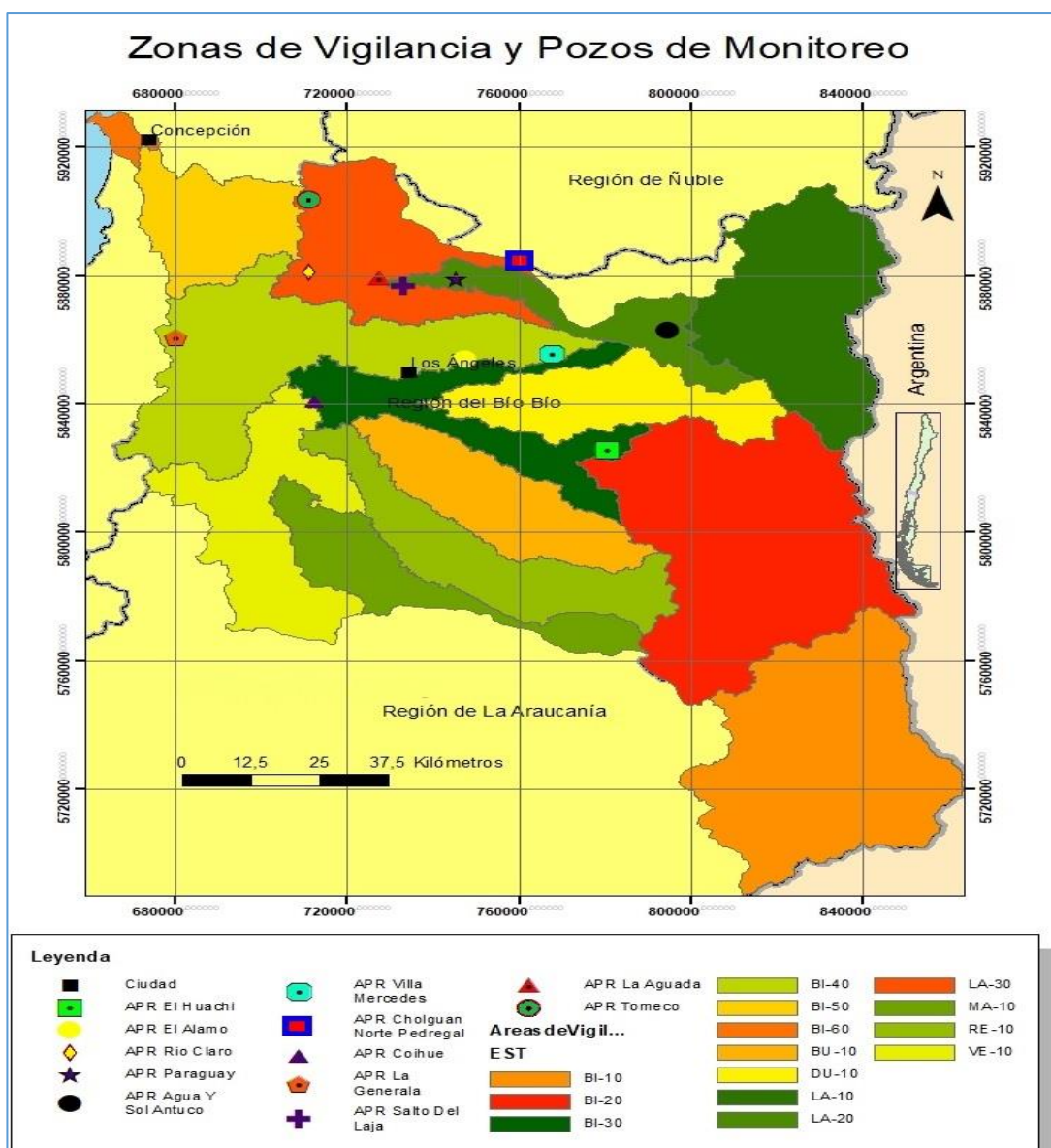


Figura 10. Pozos seleccionados para el estudio (Fuente: Elaboración propia).

4.5. Definición de emisión de contaminantes fijas y difusas.

Puesto que la cuenca del Biobío es sometida a diversas fuentes de contaminantes es necesario clasificarlo y dar una pequeña descripción de su procedencia con el fin de entender a qué tipo de fuente de contaminación es expuesta el agua de la cuenca del Biobío.

4.5.1. Fuentes de contaminación fija.

Se define como fuente de contaminación fija, cuando existen sitios puntuales de descargas, generalmente continuas, de aguas residuales (Gonzalez , 2007) Estas fuentes son fácilmente identificables; ejemplo de estas son las descargas de aguas sin tratamiento previo provenientes de industria y alcantarillado urbano.

4.5.2. Fuente de contaminación difusa.

Se define como fuente de contaminación difusa a la existencia de una multiplicidad de pequeñas fuentes de descargas, cuyos aportes no son localizados ni continuos, y cuyo acceso a los cursos o cuerpos de agua es por derrame o filtración a través de los suelos (Gonzalez , 2007).

4.6. Métodos para clasificar agua:

4.6.1. Diagramas hidroquímicos.

Los diagramas hidroquímicos son herramientas gráficas que permiten una mejor visualización de los datos, facilitando la interpretación y comparación de los datos. Los diagramas hidroquímicos clásicos usados y que ayudan a un mejor entendimiento de los datos son los gráficos de Stiff y Piper, los cuales representan las características químicas de las muestras a partir de las concentraciones de sus compuestos mayoritarios (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Ca^{2+} , K^+ y Mg^{2+}).

4.6.1.1. Diagrama Stiff.

Los Diagramas de Stiff representan en escala logarítmica la concentración de aniones (hacia la derecha) y cationes (hacia la izquierda) en miliequivalentes por litro de sus compuestos mayoritarios (meq/L) de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} y $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$. Como por ejemplo la figura 11.

Dos características sobresalen en este tipo de diagrama. Por un lado, permite visualizar claramente diferentes tipos de agua y, en forma simultánea, permite dar idea del grado de mineralización (ancho de la gráfica) (Muñoz , 2019).

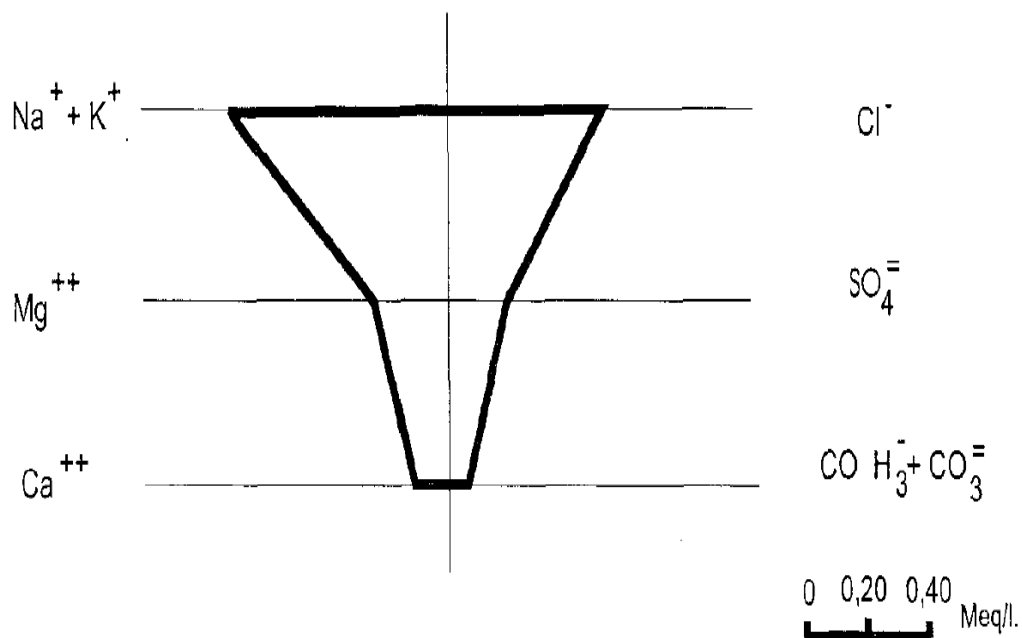


Figura 11. Diagrama de Stiff Fuente: (Londoño, 1998.).

4.6.1.2. Diagrama de Piper.

El diagrama de Piper es un gráfico que se utiliza para representar la proporción de tres componentes en la composición de un conjunto o de una sustancia. La suma de los tres componentes debe representar el 100% de la composición de lo que se considera. En hidroquímica se utiliza un triángulo para los cationes principales y otro para los aniones (Sánchez San Román, 2022). El diagrama de Piper proporciona una visión de la composición de las aguas, sin tener en cuenta su grado de salinización. Permite representar un número ilimitado de muestras en un mismo gráfico, lo que, en una determinada área, proporciona una visión global de las distintas composiciones de agua existentes.

Las proporciones relativas de cationes y aniones son representadas en dos diagramas triangulares, y proyectadas en un diagrama en forma de rombo que muestra la relación entre los aniones y cationes en conjunto (Figura 12). Cada muestra está representada con un mismo símbolo en cada uno de los diagramas. Así, los tres símbolos en el diagrama, uno en cada triángulo y otro en el rombo, indican la concentración relativa de los iones disueltos mayoritarios constituyentes del agua natural y esto determina la denominación de un agua en cuanto a su composición (DCPRH, 2016)



Figura 12. Clasificación de los diversos tipos de agua según el diagrama de Piper. Fuente: (DCPRH, 2016).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1. Resultados.

5.1.1. Confección de diagrama de Piper y Stiff.

Con el objetivo de dar una mirada general del estado de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del Biobío, se perfeccionaron dos gráficos de Piper: uno, para las aguas superficiales y otro, para las aguas subterráneas. A continuación se muestran los resúmenes de los resultados de ambas.

5.1.1.1. Tabla de resultados para diagrama de Piper y Stiff.

Tabla 1. Resumen de cationes y aniones utilizados para confección del diagrama de Piper y Stiff para aguas superficiales.

Zona de vigilancia	Cationes			Aniones		
	Ca ⁺ (meq/L)	Mg ⁺ (meq/L)	(Na+k) ⁺ (meq/L)	SO ₄ ⁻ (meq/L)	HCO ₃ ⁻ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)
BI-10	0,347	0,230	0,888	0,205	1,975	0,038
BI-20	0,375	0,288	1,025	0,269	1,856	0,190
BI-30	0,380	0,324	1,270	0,530	2,438	0,262
BI-40	0,330	0,318	1,628	0,625	3,569	0,287
BI-50	0,480	0,592	2,896	0,670	2,840	0,565
BI-60	1,123	5,512	27,838	5,703	3,161	1,976
BU-10	0,245	0,191	0,681	0,253	1,296	0,163
DU-10	0,511	0,491	1,959	0,257	2,407	0,152
LA-10	0,309	0,236	0,868	0,348	2,331	0,100
LA-20	0,385	0,331	1,381	0,291	2,774	0,098
LA-30	0,480	1,363	2,342	0,340	3,229	0,174
MA-10	0,212	0,195	0,674	0,187	1,639	0,133
RE-10	0,278	0,270	0,762	0,163	1,456	0,131
VE-10	0,334	0,350	1,215	0,272	1,729	0,257

*Datos obtenidos de registro de calidad de aguas sinistrados por la DGA 2021.

Tabla 2. Resumen de cationes y aniones utilizados para la confección del diagrama a de Piper y Stiff para aguas subterráneas.

Zona de vigilancia	Cationes			Aniones		
	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	Na+k (meq/L)	SO4 (meq/L)	HCO3 (meq/L)	Cl (meq/L)
BI-10	0,347	0,149	0,190	0,081	0,612	0,014
BI-20	0,375	0,186	0,251	0,106	0,575	0,068
BI-30	0,380	0,209	0,325	0,209	0,756	0,094
BI-40	0,330	0,206	0,535	0,246	1,106	0,103
BI-50	0,480	0,383	1,005	0,264	0,880	0,202
BI-60	1,123	3,562	13,467	2,245	0,980	0,706
BU-10	0,245	0,123	0,267	0,100	0,402	0,058
DU-10	0,511	0,317	0,358	0,101	0,746	0,054
LA-10	0,309	0,153	0,230	0,137	0,722	0,036
LA-20	0,385	0,214	0,420	0,115	0,859	0,035
LA-30	0,480	0,881	0,529	0,134	1,000	0,062
MA-10	0,212	0,126	0,166	0,074	0,508	0,048
RE-10	0,278	0,175	0,189	0,064	0,451	0,047
VE-10	0,334	0,226	0,280	0,107	0,536	0,092

*Datos obtenidos de registro de calidad de aguas siniestrados por la DGA 2021.

5.1.2. Análisis de la calidad de agua superficiales de la cuenca del Biobío mediante una revisión de bibliografía existente.

5.1.2.1. Resumen de resultados para gráficos de barras.

Tabla 3. Resumen de resultados de contaminantes en cada área de monitoreo hasta zona Bu-10 (meses cálidos (Octubre-Marzo)).

Contaminante	Unidad	BI-10	BI-20	BI-30	BI-40	BI-50	BI-60	BU-10	Promedio
Aluminio Total	mg/L	0,26	0,25	0,25	0,14	0,29	0,25	0,07	0,17
Amonio	mg N/L	0,022	0,02	0,02	0,02	0,02	0,11	0,04	0,03
Cloruro	mg/L	1,41	3,99	4,35	5,17	22,13	171,98	1,91	5,75
Coliformes fecales	nmp/100ml	18,37	37,76	161,56	413,27	922,50	306,27	50,26	305,05
Conductividad eléctrica	mhos/cm	51,76	68,61	79,50	117,60	156,88	1083,53	72,50	173,34
DBO	mg/L	2	2,13	1,83	1,75	1,78	2,20	2,00	2,24
DQO	mg/L	2,77	4,21	5,61	3,00	6,13	9,81	2,25	4,35
Fosforo total	mg/L	0,02	0,01	0,03	0,04	0,05	0,11	0,01	0,04
hierro total	mg/L	0,29	0,21	0,21	0,21	0,30	0,29	0,31	0,29
Nitratos	mg N/L	0,04	0,05	0,22	0,28	0,28	0,39	0,21	0,001
Nitritos	mg N/L	0,006	0,004	0,006	0,007	0,012	0,018	0,009	0,25
Nitrógeno total	mg N/L	0,13	0,15	0,33	0,29	0,34	0,49	0,50	0,01
Ortofosfato	mg/L	0,004	0,0036	0,01	0,02	0,04	0,08	0,0068	0,33
Oxígeno disuelto	mg O2/L	9,71	9,59	10,09	8,41	8,04	7,48	8,68	0,03
PH		7,80	7,82	8,00	7,76	7,51	7,73	7,69	7,63
SST	mg/L	3,76	4,02	14,16	3,60	4,13	10,40	4,50	6,77
Sulfato	mg/L	4,16	7,14	10,17	13,72	17,61	106,13	4,12	19,05
Cumple la norma						No cumple con la norma			

Tabla 3. Continuación de tabla desde zona DU-10 hasta VE-10 (meses cálidos (octubre-marzo)).

Contaminante	Unidad	DU-10	LA-10	LA-20	LA-30	MA-10	RE-10	VE-10	Promedio
Aluminio Total	mg/L	0,12	0,19	0,10	0,10	0,05	0,24	0,12	0,17
Amonio	mg N/L	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03
Cloruro	mg/L	2,62	1,91	1,46	3,21	1,43	2,54	1,89	5,75
Coliformes fecales	nmp/100ml	236,75	17,86	231,30	1042,00	280,90	54,44	382,58	305,05
Conductividad eléctrica	mhos/cm	75,83	56,38	81,40	149,20	55,60	53,70	72,00	173,34
DBO	mg/L	1,75	1,86	1,86	2,63	1,85	1,83	2,14	2,24
DQO	mg/L	4,94	3,11	2,50	5,41	3,40	4,73	3,6	4,35
Fosforo total	mg/L	0,03	0,02	0,04	0,11	0,02	0,01	0,03	0,04
Hierro total	mg/L	0,21	0,09	0,15	0,41	0,29	0,28	0,39	0,29
Nitratos	mg N/L	0,60	0,19	0,06	0,33	0,19	0,17	0,30	0,00
Nitritos	mg N/L	0,007	0,006	0,007	0,005	0,007	0,006	0,006	0,25
Nitrógeno total	mg N/L	0,43	0,28	0,19	0,38	0,41	0,30	0,43	0,01
Ortofosfato	mg/L	0,02	0,01	0,02	0,10	0,01	0,01	0,01	0,33
Oxígeno disuelto	mg O2/L	8,82	10,88	8,9516	11,29	9,00	8,95	10,16	0,03
PH		7,61	7,75	8,0138	7,86	7,35	7,37	7,81	7,63
SST	mg/L	4,13	2,40	3,60	4,60	10,40	12,80	7,47	6,77
Sulfato	mg/L	5,03	6,34	4,87	14,65	3,17	3,53	3,50	19,05
Cumplen la norma						No cumple con la norma			

*Datos obtenidos de registro de calidad de aguas siniestrados por la DGA 2021.

Tabla 4. Resumen de resultados de contaminantes en cada área de monitoreo hasta zona BU-10 (meses fríos (abril-septiembre)).

Contaminante	Unidad	BI-10	BI-20	BI-30	BI-40	BI-50	BI-60	BU-10	Promedio
Aluminio Total	mg/L	0,36	0,62	0,21	0,10	0,23	0,32	0,04	0,17
Amonio	mg N/L	0,0225	0,02	0,07	0,02	0,02	0,12	0,02	0,03
Cloruro	mg/L	1,37	2,88	3,24	3,32	12,42	66,93	1,97	5,75
Coliformes fecales	nmp/100ml	23,82	6,23	185,32	184,67	1013,33	179,68	176,97	305,05
Conductividad eléctrica	mhos/cm	53,78	72,08	72,92	102,25	133,46	616,54	51,00	173,34
DBO	mg/L	2,4	2,13	2,14	2,43	2,67	3,33	2,71	2,24
DQO	mg/L	3,96	3,16	3,30	4,76	7,54	7,07	2,43	4,35
Fosforo total	mg/L	0,02	0,01	0,02	0,04	0,06	0,10	0,02	0,04
Hierro total	mg/L	0,43	0,64	0,22	0,32	0,36	0,41	0,23	0,29
Nitratos	mg N/L	0,06	0,06	0,17	0,23	0,38	0,42	0,44	0,00
Nitritos	mg N/L	0,002	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,004	0,25
Nitrógeno total	mg N/L	0,15	0,13	0,22	0,27	0,45	0,50	0,55	0,01
Ortofosfato	mg/L	0,01	0,005	0,01	0,02	0,05	0,10	0,01	0,33
Oxígeno disuelto	mg O2/L	10,64	11,08	10,65	21,03	10,38	9,21	11,56	0,03
PH		7,57	7,85	7,97	7,28	7,31	7,47	7,32	7,63
SST	mg/L	5,50	15,00	5,00	4,67	8,83	4,40	5,83	6,77
Sulfato	mg/L	3,67	6,52	7,56	9,86	11,54	49,50	3,13	19,05
Cumplen la norma					No cumple con la norma				

Tabla 4. Continuación de tabla desde zona DU-10 hasta VE-10 (Meses fríos: abril-septiembre)).

Contaminante	Unidad	DU-10	LA-10	LA-20	LA-30	MA-10	RE-10	VE-10	Promedio
Aluminio Total	mg/L	0,09	0,17	0,02	0,15	0,03	0,27	0,08	0,17
Amonio	mg N/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Cloruro	mg/L	2,21	1,34	1,01	1,93	1,10	1,70	1,91	5,75
Coliformes fecales	nmp/100ml	427,13	1,84	193,16	537,67	313,91	56,63	407,79	305,05
Conductividad eléctrica	mhos/cm	87,75	59,71	81,33	165,24	43,50	43,41	58,50	173,34
DBO	mg/L	2,25	2,43	2,71	2,50	2,14	2,00	2,14	2,24
DQO	mg/L	3,13	2,89	3,57	7,67	3,00	3,18	3,54	4,35
Fosforo total	mg/L	0,04	0,02	0,03	0,12	0,02	0,02	0,03	0,04
hierro total	mg/L	0,28	0,58	0,14	0,43	0,22	0,31	0,33	0,29
Nitratos	mg N/L	0,56	0,05	0,10	0,37	0,18	0,11	0,23	0,00
Nitritos	mg N/L	0,004	0,005	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004	0,25
Nitrógeno total	mg N/L	0,64	0,15	0,18	0,50	0,23	0,18	0,32	0,01
Ortofosfato	mg/L	0,02	0,01	0,02	0,10	0,01	0,01	0,02	0,33
Oxígeno disuelto	mg O2/L	10,39	11,56	11,00	8,52	10,46	11,30	10,87	0,03
PH		7,59	7,82	7,75	7,78	7,23	7,29	7,54	7,63
SST	mg/L	5,71	4,67	10,50	5,65	4,33	4,00	4,03	6,77
Sulfato	mg/L	3,68	6,71	5,96	5,30	2,23	2,69	7,47	19,05
Cumplen la norma					No cumple con la norma				

*Datos obtenidos de registro de calidad de aguas siniestrados por la DGA 2021.

5.1.3. Análisis de la calidad de agua subterráneas de la cuenca del Biobío mediante una revisión de la información existente.

Considerando que los pozos comúnmente son utilizados para riego, dar de beber a los animales y, ocasionalmente, para agua de consumo humano, se decidió mostrar los elementos físico-químicos expuestos en la normativa chilena N°1333 y la normativa n 409/1 de agua potable. Estos valores son los obtenidos en el estudio de calidad de agua en pozos para la región del Biobío, representando los valores con barras azul oscuro; la norma n°1333 con una línea de color rojo, y la norma n409/1 con una línea de color anaranjado. Además, el promedio general se representará con una línea de color amarillo.

5.1.3.1. Resumen de resultados.

Tabla 5. Resumen de resultados de los doce pozos seleccionados hasta apr Coihue.

Elemento	Unidad	APR TOMECO	APR LA AGUADA	APR SALTO DEL LAJA	APR PARAGUAY	APR LA GENERALA	APR COIHUE	Promedio
Aluminio	mg/L	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,60
Arsénico (As)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004	0,004	0,00
Cloruro (Cl-)	mg/L	18	10,92	3,79	3,17	8,9	7,88	8,78
Hierro (Fe)	mg/L	0,04	0,02	0,02	0,82	0,95	0,03	0,31
Manganeso (Mn)	mg/L	0,12	0,01	0,01	0,12	1,04	0,01	0,22
Sulfato (So4=)	mg/L	10,25	5,31	6,15	10,01	11,11	13,71	9,42
Zinc (Zn)	mg/L	0,03	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02
magnesio	mg/L	9,41	9,75	8,18	7,33	1,87	8,47	7,50
Nitratos	mg/L	20,55	0,81	4,74	0,6	4,55	25,09	6,25
Amoniaco	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
PH		6,5	7,09	6,62	7,01	6,27	6,47	6,66
Solidos Disueltos	mg/L	217	161	112	116	68	146	136,67
Conductividad eléctrica	mhos/cm *	0.00038	0.000183	0.000203	0.000142	0.00096	0.000221	0,000136
Dentro de las normas			Sobrepasa a una norma			Sobrepasa ambas normas		

* Se aplicó una conversión desde μs a mhos tanto en los valores medidos como en los límites de la norma.

Tabla 6. Resumen de resultados de pozos seleccionados desde Apr Cholguán norte Pedregal hasta Apr El Huachi.

Elemento	Unidad	APR CHOLGUAN NORTE PEDREGAL	APR AGUA Y SOL ANTUCO	APR VILLA MERCEDES	APR RÍO CLARO	APR EL ALAMO	APR EL HUACHI	Promedio
Aluminio	mg/L	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,60
Arsénico (As)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,00
Cloruro (Cl-)	mg/L	1,74	0,48	0,35	6,61	0,78	4,57	2,42
Hierro (Fe)	mg/L	0,02	0,02	0,11	3,45	0,05	0,1	0,63
Manganeso (Mn)	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,85	0,01	0,01	0,15
Sulfato (So4)	mg/L	0,2	0,63	1,54	9,38	1,71	2,78	2,71
Zinc (Zn)	mg/L	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
magnesio	mg/L	4,14	2,7	3,42	8,15	2,34	3,11	3,98
Nitratos	mg/L	0,11	1,7	2,22	1,94	2,87	1,53	1,73
Amoniaco	mg/L	0,02	0,03	0,03	0,21	0,025	0,02	0,06
PH		7,49	6,93	6,85	7,27	6,71	8,1	7,23
Solidos disueltos	mg/L	74	118	106	281	105	93	129,50
Conductividad eléctrica	mhos/cm*	0.00012	0.000228	0.000123	0.000319	0.00051	0.00050	0,00012
Dentro de las normas			Sobrepasa una norma			Sobrepasa ambas normas		

*Se aplicó una conversión desde μ s a mhos tanto en los valores medidos como en los límites de la norma.

5.1.4. Diagrama de Piper y Stiff (georreferenciado) de las aguas superficiales de la cuenca del Biobío.

De acuerdo al análisis realizado de las aguas superficiales con el diagrama de Piper (Figura 13) y Stiff (Figura 14) en la cuenca del Biobío, se observó que las aguas superficiales, en su mayoría, se mantienen dentro del grupo bicarbonatadas cálcicas, estas comprendiendo las aguas de todas las áreas de vigilancia, exceptuando la zona de vigilancia BI-50 y BI-60, ya que las aguas de BI-50 corresponden a aguas bicarbonatadas sódicas y BI-60 están en el grupo de las cloruradas sódicas.

La discrepancia con las demás zonas puede deberse a distintos factores. El más importante de ellos es la cercanía de las estaciones de monitoreo de ambas zonas al mar, puesto que son las estaciones de monitoreo de desembocadura sur y norte. Esto explicaría el carácter sódico de las aguas. Además, (Gormaz, 2020) postula que los niveles de sodio en las aguas es debido a los lavados de depósitos marinos actuales ubicadas en la desembocadura del río. Ahora bien, para la estación BI-60, por ser la estación más cercana al mar, se explicaría el carácter “clorurado” de las aguas (SAG, 2005)

Como podemos observar, las aguas de la cuenca del Biobío, en casi su totalidad, se mantienen en el grupo de las aguas bicarbonatadas cálcicas y/o sódicas. Esto es debido a las características geológicas presentes en la cuenca (González, Mardones, Silva, & Campos, 1999).

En relación al diagrama de Stiff, se observa la variabilidad química de las aguas superficiales, que, si bien, tienen una “personalidad química” bicarbonatada-cálcica, se puede observar pequeñas variables entre las estaciones de monitoreo con relación a los demás iones, siendo esto observable en el mapa georreferenciado, variaciones que en diagrama de Piper son menos propensas a ser observadas, como por ejemplo, la estación de la zona de vigilancia BI-30, la cual presenta un carácter bicarbonatado-magnésica que, según (DCPRH, 2019) corresponden a aguas influenciadas por contaminación industrial o lavado de rocas que contiene este elemento.

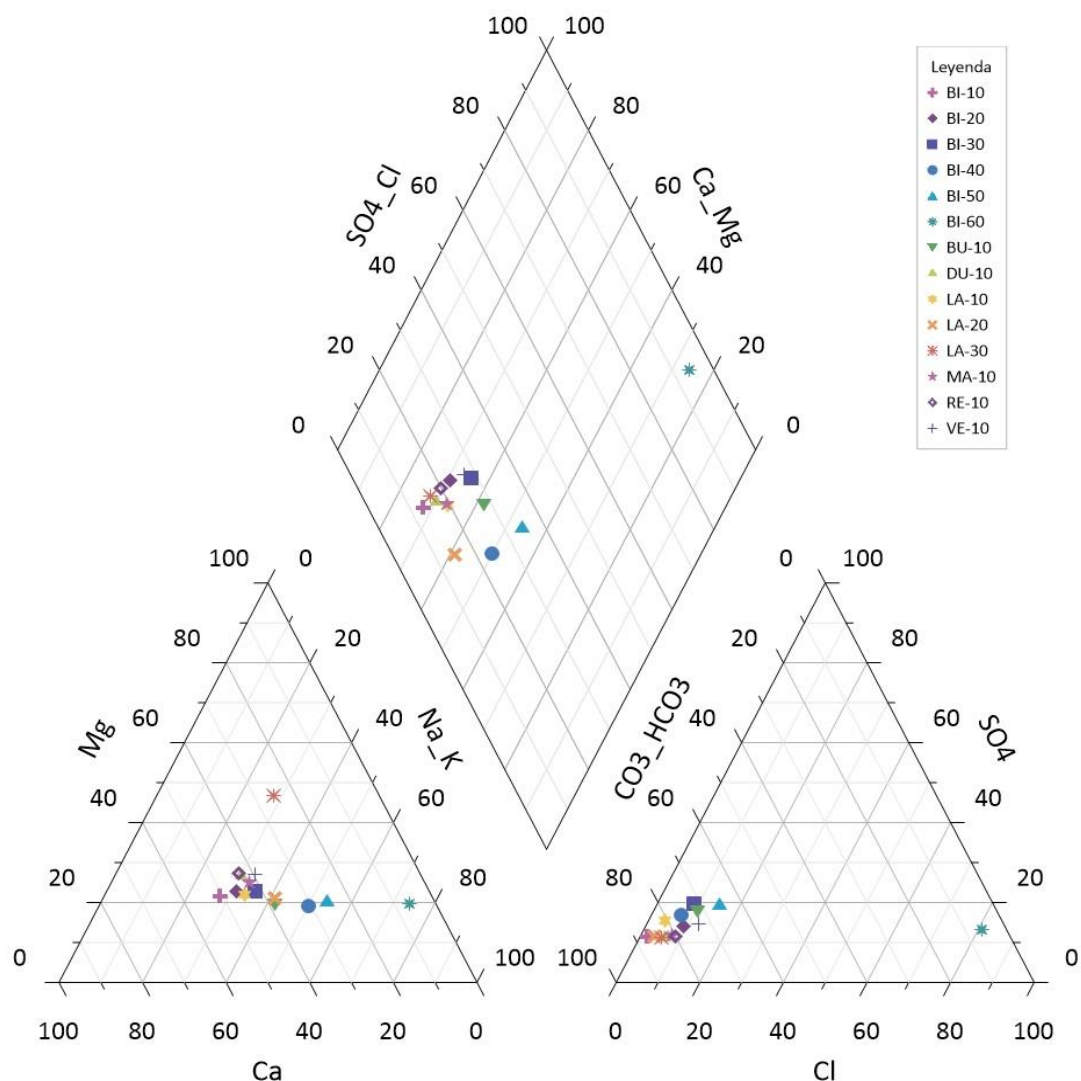


Figura 13. Diagrama de Piper de las aguas superficiales (Fuente: Elaboración propia).

Gráficos en Zonas de Vigilancia y Estaciones de Monitoreo

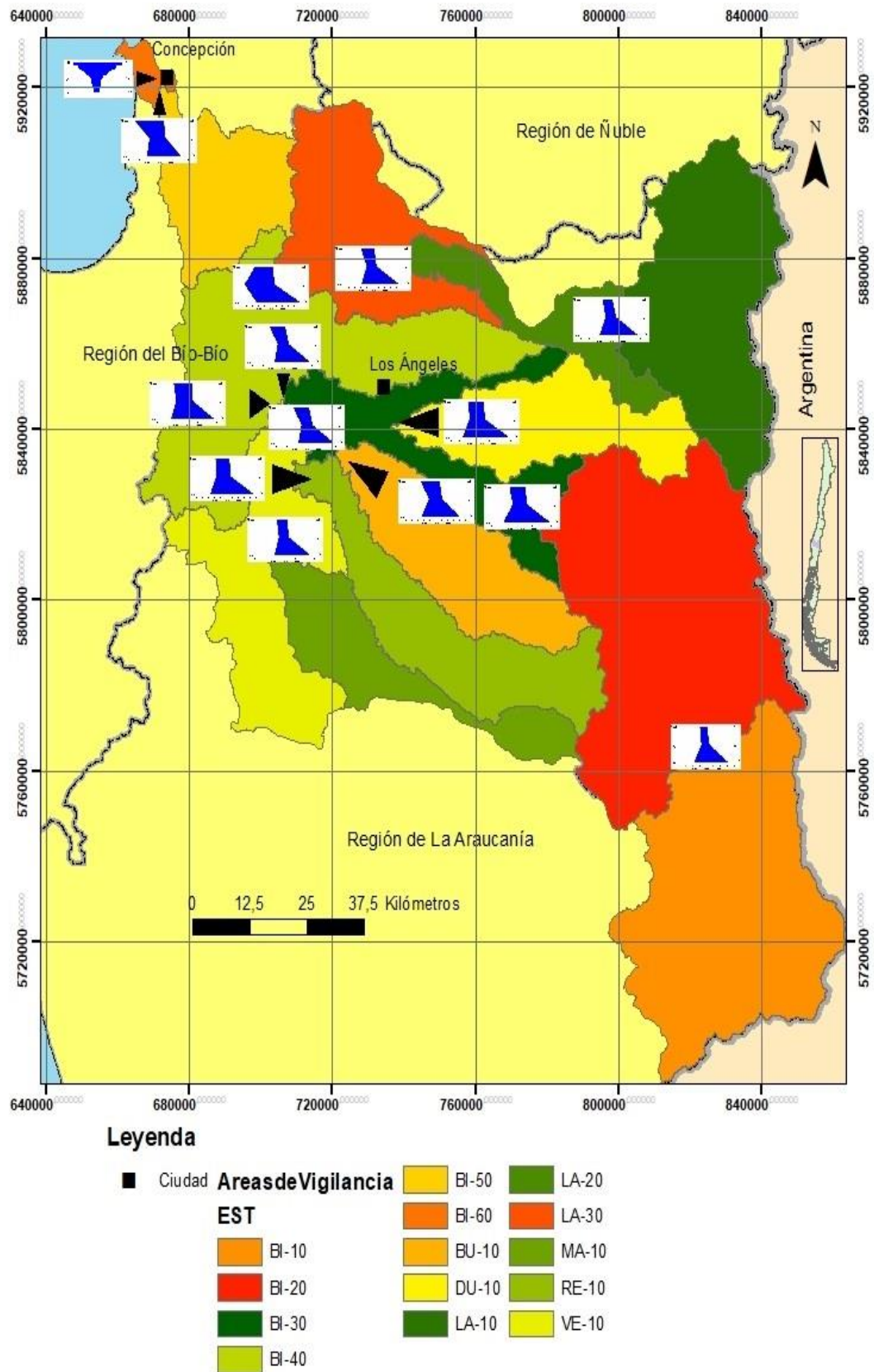


Figura 14. Diagrama de Stiff georreferenciado en las distintas estaciones de monitoreo a lo largo de la cuenca (Fuente: Elaboración propia).

5.1.5. Diagrama de Piper y Stiff de las aguas subterráneas de la cuenca del Biobío.

De acuerdo al análisis realizado de las aguas subterráneas con el diagrama de Piper (Figura 15) y Stiff (Figura 16), se logra apreciar una gran homogeneidad, ya que todas las aguas analizadas pertenecen al grupo de aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas, siendo congruente con las aguas superficiales de la cuenca del Biobío, puesto que comparten espacio con formaciones geológicas que aportan iones de bicarbonato, calcio y magnesio al interactuar con las aguas; además, la composición homogénea es debido a “La disolución del CO₂ atmosférico o del suelo por parte del agua de lluvia, lo que se sustenta también en la amplia distribución a nivel de cuenca de dicha “personalidad hidroquímica” (DCPRH, 2019).

En relación a los diagramas de Stiff georreferenciados para cada pozo monitoreado, si bien todas pertenecen al grupo de las bicarbonatadas cálcicas, se aprecian variaciones en los niveles del catión Mg⁺, sobre todo en las aguas de las zonas de vigilancia del río Laja, puesto que en estos pozos existe una cantidad considerable de este ion. Su presencia puede explicarse por la actividad antrópica a la cual está sometida esta área (MMA, 2017).

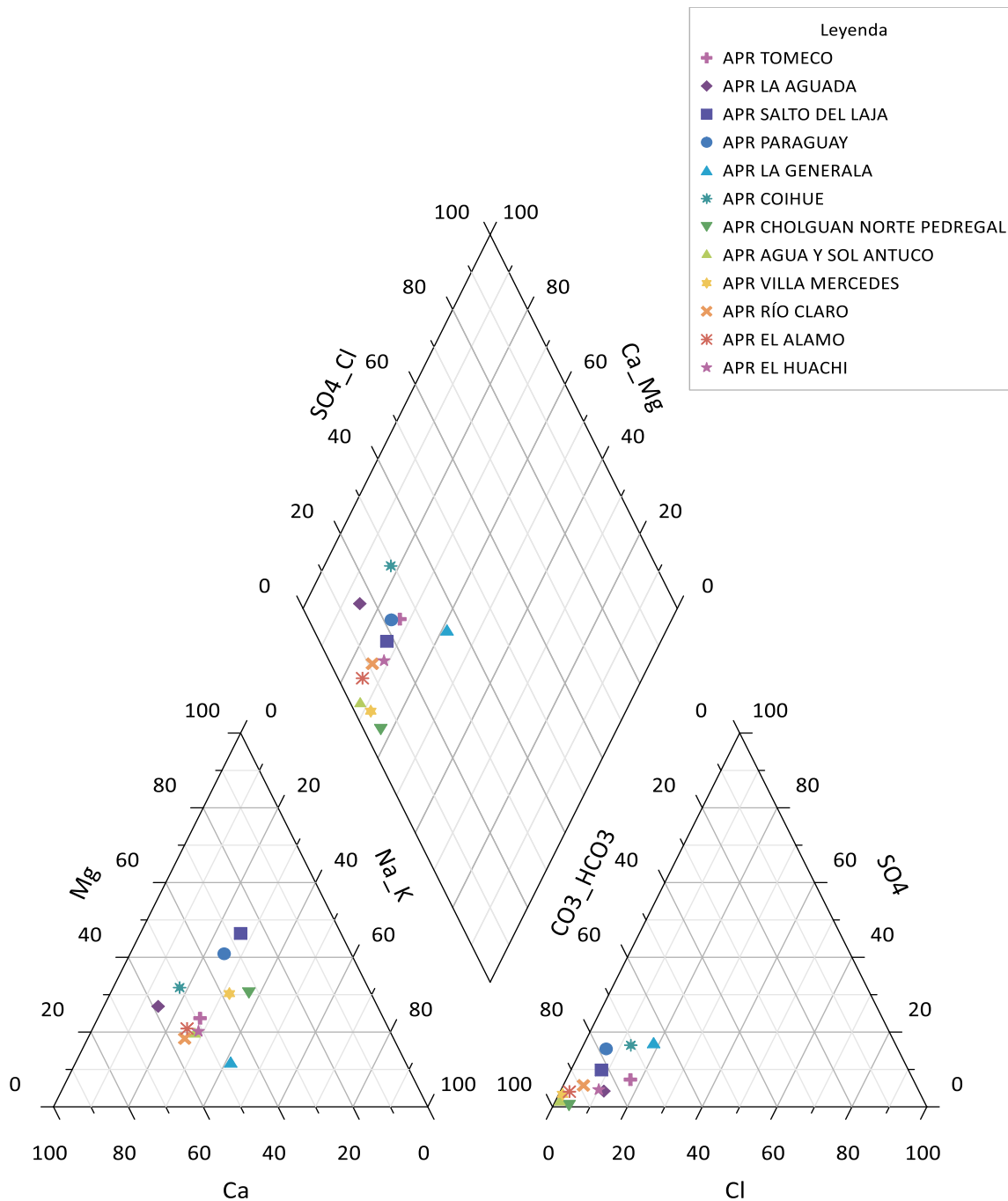


Figura 15. Diagrama de Piper de pozos seleccionados (Fuente: Elaboración propia).

Gráficos en Zonas de Vigilancia y Pozos

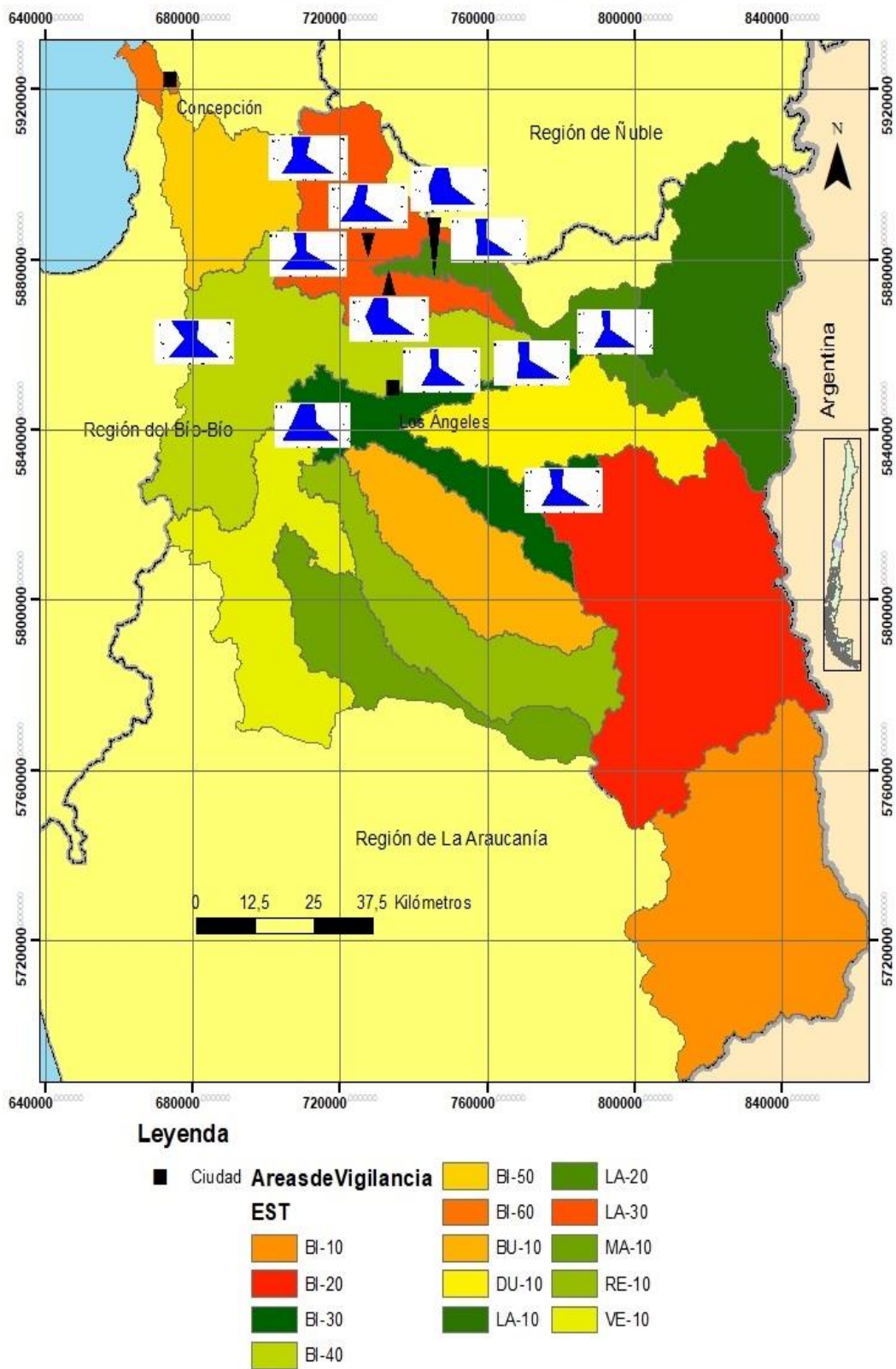


Figura 16. Diagrama de Stiff para los diferentes pozos monitoreados (Fuente: Elaboración propia).

5.1.6. Niveles de pH.

5.1.6.1. Aguas superficiales.

De acuerdo con lo que se puede apreciar en la figura 17, el pH de las aguas superficiales de la cuenca mantiene un promedio de 7.6, lo que señala que, a lo largo de la cuenca, el pH se mantiene en índices no mayores a 8 y no menores a 7, esto quiere decir que la cuenca presenta, por lo general, valores de pH neutro, aptos para la vida acuática y dentro de los límites establecidos por el DS N°9.

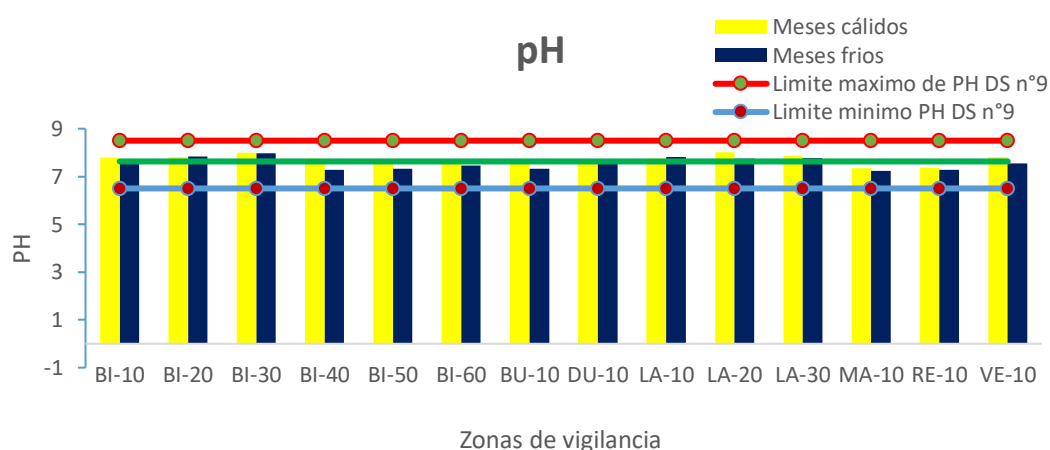


Figura 17. Distribución del pH a lo largo de la cuenca junto a su promedio general. (Fuente: Elaboración propia).

5.1.6.2. Aguas subterráneas.

En cuanto a los resultados de las aguas subterráneas (Figura 18), se presenta un promedio de pH de 6.9, valor que está dentro de la norma NCH 409/1 de agua potable. El valor más alto es el medido en el APR El Huachi con un valor de 8.1; el valor más bajo medido es el indicado en el APR La Generala, con un valor de 6.3, aun así, estos valores están dentro de la norma establecida.

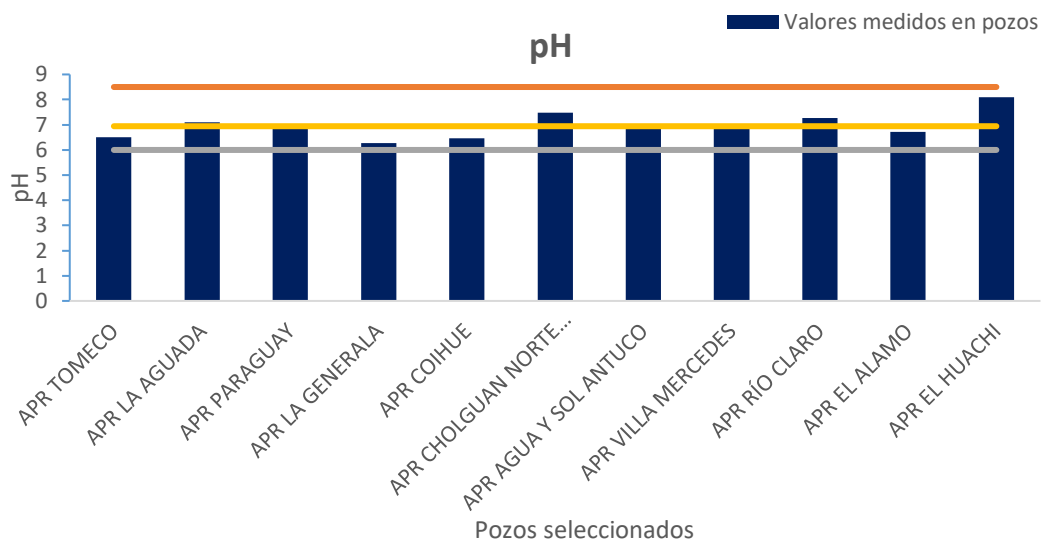


Figura 18. pH de cada pozo monitoreados. (Fuente: Elaboración propia).

5.1.7. Sólidos suspendidos totales en aguas superficiales.

Los resultados presentes en la figura 19, nos muestran que los sólidos suspendidos totales (SST) incluyen partículas de sedimento, barro de las corrientes de tierra, plancton y desechos industriales y drenaje (García, 2003) Estos presentan un promedio de 6.8 mg/L a lo largo de la cuenca; solo cuatro estaciones de monitoreo midieron cantidades menores a las establecidas en el DS N°9 en los periodos fríos y cálidos del año, siendo estas BI-10, BI-40, BI-50 y BU-10. Además, podemos observar un aumento generalizado de SST en los meses fríos del año, esto es debido al aumento de precipitaciones en este periodo y, por ende, el aumento de arrastre de partículas por el agua. Por último, podemos observar un aumento de SST en periodos cálidos del año en dos estaciones de monitoreo: BI-60 y VE-10. Estos niveles inusuales en periodos cálidos de poco caudal de aguas y, por lo tanto, poco arrastre de sedimentos del lecho del río, puede deberse a que ambas zonas de vigilancia se encuentran fuertemente influenciadas por áreas urbanas cercanas con presencia industrial importante y densidad poblacional alta, existiendo

desagües de aguas servidas poco regularizadas y riles industriales, descargando directamente al río en periodos puntuales de tiempo.

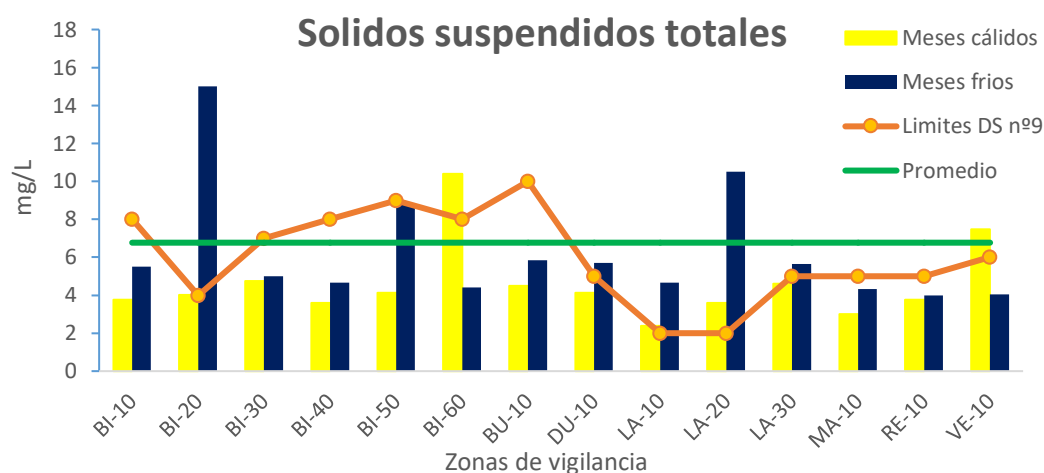


Figura 19. Sólidos suspendidos totales a lo largo de la cuenca junto a su promedio general (Fuente: Elaboración propia).

5.1.8. Sólidos disueltos totales en aguas subterráneas.

Los sólidos disueltos (SDT) son básicamente la suma de todos los minerales, metales y sales disueltas en el agua, y es un buen indicador de la calidad del agua (Adam & Bauder, 202?) Los SDT suelen ser un buen indicador de calidad de agua. Según los resultados de la figura 20, las aguas de los pozos seleccionados presentan un promedio de 133.1mg/L, siendo este un valor menor al límite establecido en la norma N°409/1. Solo cuatro pozos presentaron valores mayores al promedio, siendo estos El APR Tomeco, La Aguada, Coihue y Rio Claro. Por otro lado, el pozo que presentó menos sólidos disueltos fue el APR La Generala con un valor de 68mg/L.

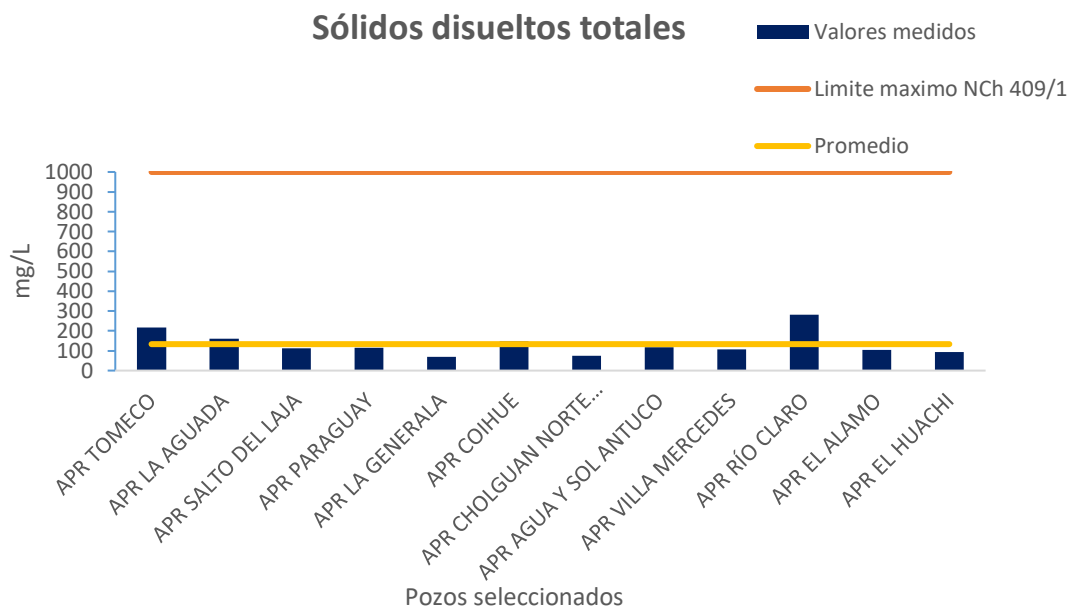


Figura 20. Sólidos disueltos por litro en cada pozo monitoreado.
(Fuente: Elaboración propia).

5.1.9. Conductividad eléctrica.

5.1.9.1. Aguas superficiales.

La conductividad eléctrica es la capacidad de un agua para conducir electricidad mediante iones disueltos, la cual es afectada directamente por la temperatura (Custodio & LLamas, 1983) Al aumentar esta última, aumenta la conductividad.

Sin contar con los valores medidos en la zona de vigilancia Bi-60, los resultados expuestos en la figura 21 nos permiten apreciar que el promedio de la conductividad eléctrica en la cuenca del Biobío se mantiene en 81 mhos/cm. Por lo general, los valores arrojados en las mediciones de las zonas de vigilancia se muestran por debajo de los límites de la norma establecida por el DS N°9, exceptuando las zonas BI-60 evidentemente afectada por el la cercanía al mar. BI-50 y LA-30 son las dos últimas que sobrepasan la norma en no más de 20 mhos/cm en los meses cálidos y fríos, respectivamente. Se

visualiza que en la mayoría de las estaciones las mediciones de la conductividad son más altas en meses cálidos, lo que se explica por el aumento de temperaturas en el ambiente y, por tanto, en el agua, lo que aumenta de esta manera la conductividad.

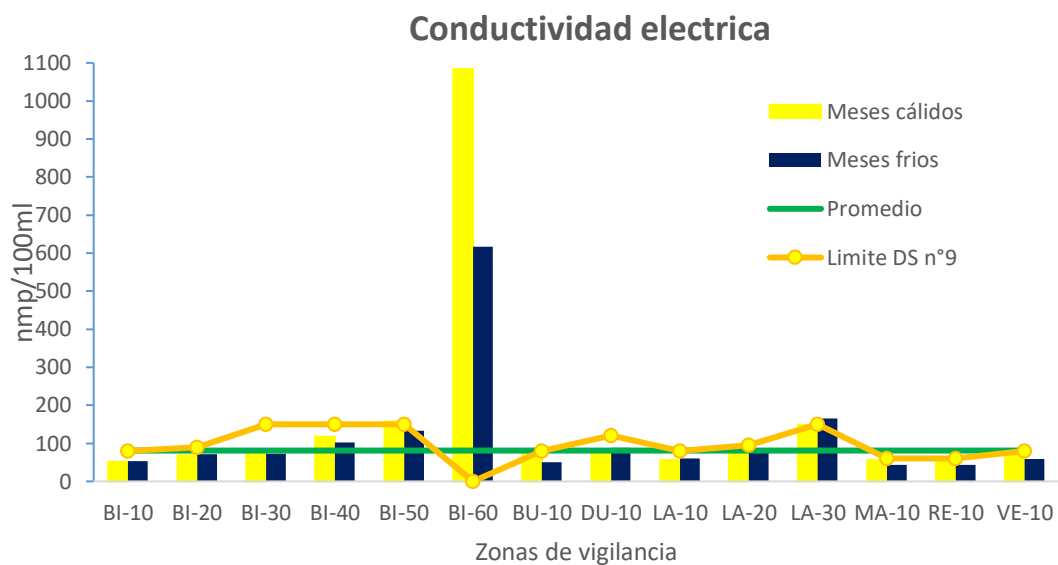


Figura 21. Conductividad eléctrica a lo largo de la cuenca y su promedio general (Fuente: *Elaboración propia*).

5.1.9.2. Aguas subterráneas.

Se puede apreciar en la figura 22 que la conductividad eléctrica de las aguas subterráneas presenta un promedio de 0.00018 mhos/cm. Ningún pozo presenta valores máximos permitidos por la norma N°1333. Estos valores indican la baja presencia de sales en las aguas subterráneas en los pozos seleccionados.

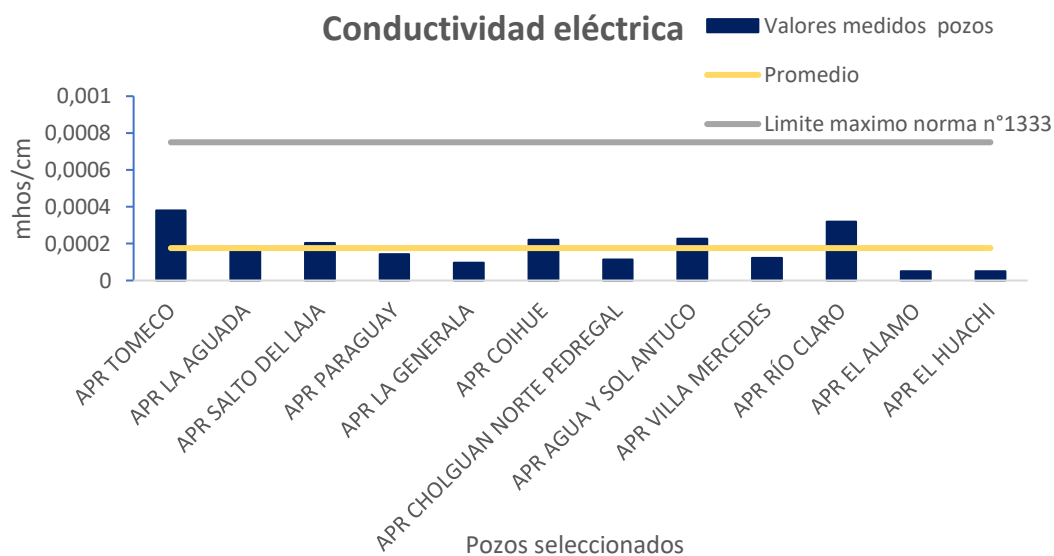


Figura 22. Conductividad eléctrica medida en pozos seleccionados (Fuente: Elaboración propia).

5.1.10. Aluminio.

5.1.10.1. Agua superficial.

Según el análisis de las aguas superficiales de la cuenca del Biobío, se observa en la figura 23 una presencia generalizada de aluminio a lo largo de la cuenca del Biobío, con un promedio de 0.16mg/L. Esta presencia aumenta en los meses fríos, destacándose los niveles medidos en las zonas de vigilancia BI-10, BI-20, BI-60 y en menor medida RE-10, Ninguna, exceptuando la zona BI-10, sobrepasa los niveles declarados en Ds. N°9. Este metal es uno de los más abundantes en la corteza terrestre (SAG, 2005), el origen de la presencia del aluminio en la cuenca está ligada a la actividad volcánica de la región. La cantidad de ignimbritas y micas que por efectos de meteorización originan arcillas, más el pH y el efecto del arrastre por escorrentías, producto de la escasísima cubierta vegetal, origina que los compuestos de aluminio silicatos se encuentren siempre presentes en los cursos del Biobío. Además, el diagnóstico da una explicación del aumento de

la presencia de aluminio en las aguas en los meses fríos del año. “Los aumentos puntuales de la concentración de aluminio se producen generalmente durante el derretimiento de nieves ácidas” (Cade-Idepe, 2004). Esto quiere decir que la presencia de aluminio en las aguas del Biobío es de origen natural, debido a la naturaleza volcánica de la región de origen de las aguas.

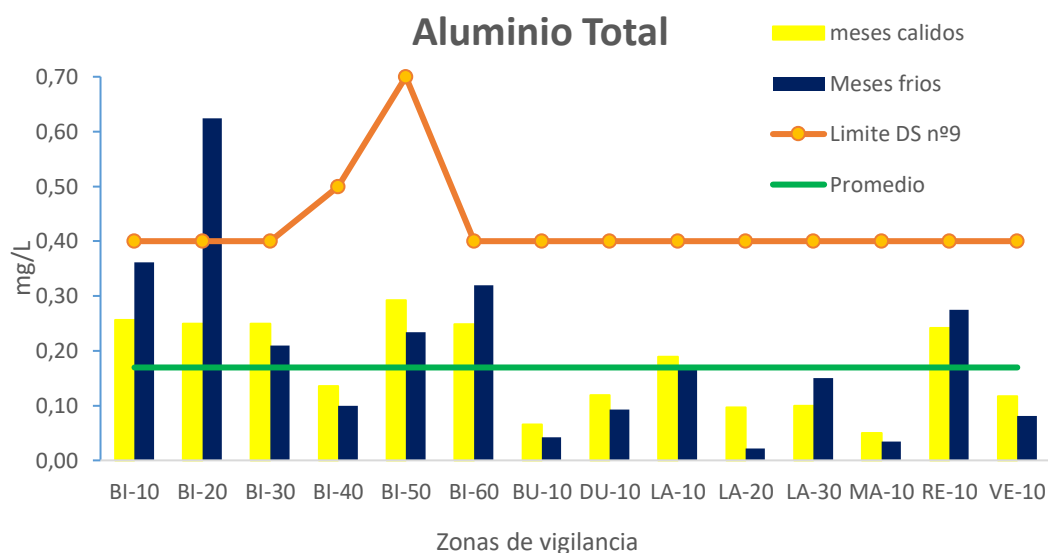


Figura 23. Presencia de aluminio total a lo largo de la cuenca, junto con el promedio general (Fuente: Elaboración propia).

5.1.10.2. Aguas subterráneas.

Los resultados de las aguas subterráneas analizadas en los pozos seleccionados, que se exponen en la figura 24, muestran que los niveles de aluminio se mantiene con un promedio de 0,6 mg/L, muy por debajo de la norma N°1333. Estos niveles de aluminio en los pozos indican la poca presencia del elemento disuelto en las aguas subterráneas, lo que se debe a que el aluminio presente en el suelo se encuentra bajo formas de mineral secundario estable, como arcillas o silicatos de aluminio impuros, hidróxido de aluminio (SAG, 2005) Estos elementos son poco solubles y se necesitan

aguas ácidas o básicas para disolverlo. Como se puede ver en el ítem anterior de pH, en la figura 13, las aguas subterráneas estudiadas son, en su mayoría, neutras, motivo por lo cual las aguas subterráneas no contienen gran cantidad de aluminio disuelto en ellas.

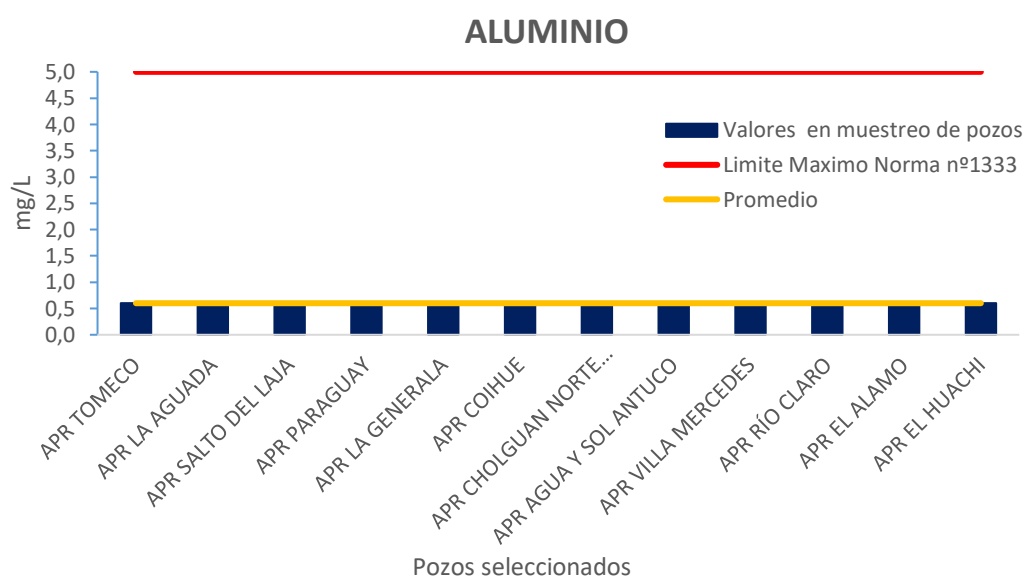


Figura 24. Aluminio por litro en cada pozo monitoreado.
(Fuente: Elaboración propia).

5.1.11. Cloruros.

5.1.11.1. Aguas superficiales.

Según los resultados mostrados en la figura 25, se puede observar que el cloruro en las aguas superficiales se encuentra con un promedio de 5.75mg/L. En términos generales, los índices de cloruro en las aguas están por debajo del límite del DS. N°9, exceptuando los valores medidos en las zonas de vigilancia BI-50 y BI-60 en los dos periodos de tiempo, sobre todo en la zona BI-60, en los meses cálidos. Se sabe que el cloro no se encuentra en forma libre en la naturaleza, si no que en forma de cloruro de sodio, es decir, una sal, principal fuente de cloruros proveniente del mar (SAG, 2005). Este cloruro

proviene de la biomasa marina en forma de cloro-metano (De la Torre , 2012), lo que explica los niveles de cloruro en las zonas de vigilancia BI-50 y Bi-60, puesto que estas dos están más próximas al mar.

Como se puede observar en el Diagrama de Piper, las aguas subterráneas analizadas presentan una “personalidad hidroquímica” dentro del grupo de bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas, por lo tanto, no existen elementos geológicos que aporten aniones de cloro en las aguas.

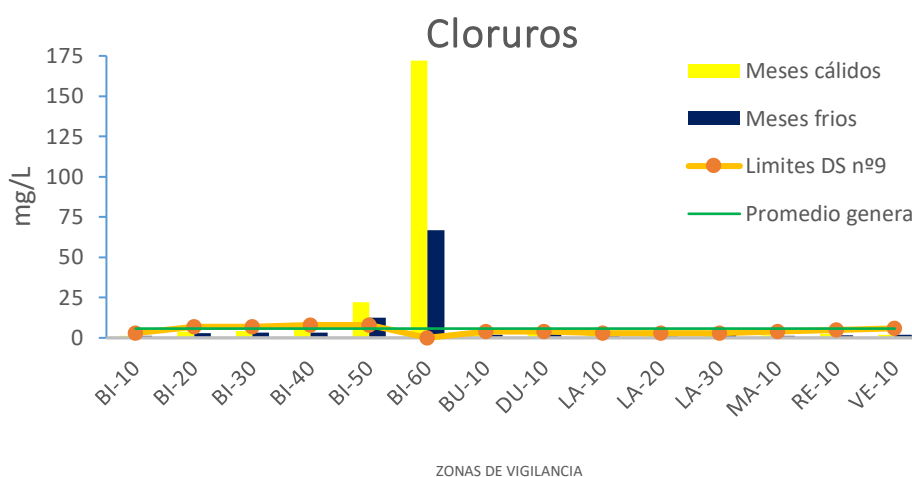


Figura 25. Presencia de cloruro a lo largo de la cuenca junto a su promedio general (Fuente: Elaboración propia).

5.1.11.2. Aguas subterráneas.

Según los resultados expuestos en la figura 26, los índices de cloruro en las aguas subterráneas se mantienen en un promedio de 5.60 Mg/L, muy por debajo de los límites establecidos en las normas N°1333 y NCL 409/1. Se observa que los niveles de cloruro presente en las aguas de los pozos seleccionados es apta para el uso en riego y ganadería. Además de considerar solo los niveles de cloruro en las aguas y no otros compuestos, el agua de los pozos puede ser usada para uso doméstico. Así como se observa en el Diagrama de Piper, las aguas subterráneas analizadas presentan una

“personalidad hidroquímica” dentro del grupo de bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas, por lo tanto, no existen elementos geológicos que aporten aniones de cloro en las aguas

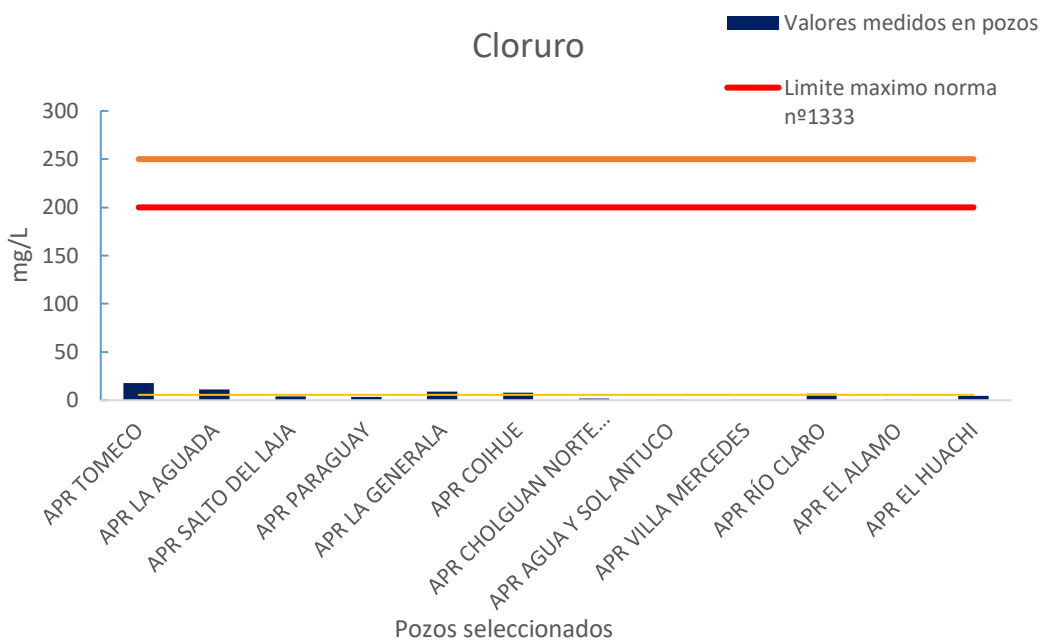


Figura 26. Cantidad de cloruro por litro en cada pozo monitoreado (Fuente: Elaboración propia).

5.1.12. Hierro.

5.1.12.1. Aguas superficiales.

Según los resultados del análisis de aguas superficiales expuestos en la figura 27, el promedio de Hierro en el agua arrojado por las mediciones tomadas es de 0.29mg/L, siendo las zonas BI-10, BI-20, BI-30 y LA-10, las zonas donde se sobrepasan los límites del Ds N°9 en los meses fríos del año. Por otro lado, la zona de vigilancia LA-30 presenta índices de Hierro sobre la norma establecida, tanto en los meses fríos como cálidos del año. Así mismo, existe una zona de vigilancia que sobrepasa levemente la norma impuesta en los meses cálidos, siendo esta, la zona de vigilancia BU-10. Por último, la zona

de vigilancia VE-10 no sobrepasa la norma, pero experimenta un aumento de hierro en las aguas en los meses cálidos.

El hierro es el cuarto elemento más común en la corteza terrestre (54 Kg/t), se encuentra en forma de iones ferrosos (Fe^{++}) y férricos (Fe^{+++}), además el ambiente y el pH menor 6 influyen directamente en la presencia de ion en las aguas (Ramirez & San José, 2001) El aumento de las precipitaciones (El pH de agua de la lluvia esta entre 5-5.5) en los meses fríos del año explicaría la presencia de estos iones en el agua y su significativa alza en los periodos lluviosos en varias zonas de vigilancia. Un punto por considerar son las alzas de este elemento en los meses cálidos, lo que significa una disminución de precipitaciones. Este aumento puede deberse a la presencia de RILES en las cercanías de los ríos. Por último, según (Cade-Idepe, 2004), la presencia de hierro en las aguas superficiales se debe a la litología de las formaciones rocosas de la Cordillera de los Andes, las cuales por procesos de lixiviación de los minerales, pirita principalmente, adicionan hierro a las corrientes de agua.

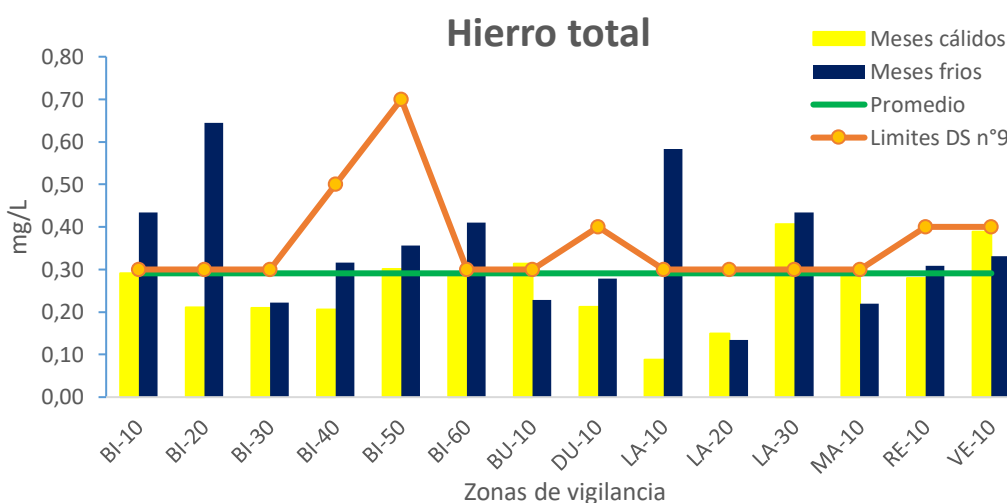


Figura 27. Hierro total en la cuenca junto a su promedio general (Fuente: Elaboración propia).

5.1.12.2. Aguas subterráneas.

De acuerdo al análisis de resultados de las aguas subterráneas en los pozos seleccionados expuestas en la figura 28, se presenta, en general, bajas concentraciones de hierro; sin embargo, de los doce pozos seleccionados, tres de ellos presentan un nivel de hierro superior a los límites permitidos en la NCh 409/1. Estos son el APR Paraguay, APR La Generala y el más destacable APR Río Claro, presentando 0.82 mg/L, 0.95mg/L y 3.45 mg/L, respectivamente. Todos estos sobrepasando el límite de la norma establecido en 0.3mg/L. Las concentraciones de hierro en las aguas de los tres APR destacados tienen explicaciones naturales y antropológicas. En el caso del APR Paraguay, el posible motivo de la presencia de hierro en sus aguas es por la presencia de pozos sépticos con nulo tratamiento, los que son utilizados mayormente en las áreas rurales y según (Ramirez & San José, 2001), el hierro puede movilizarse al estar en presencia de ciertos ácidos orgánicos que se forman por materia en descomposición, esto sumado a la percolación y movilidad del agua bajo tierra podría explicar la gran presencia que tiene este elemento en el APR. Por su parte, APR La Generala y Río Claro, están afectados por agentes naturales que aportan hierro a las aguas, tal como la presencia del Río Claro en las proximidades del APR del mismo nombre cargado de elementos metálicos y la presencia de rocas sedimentarias que contienen hierro y, por medio de la lixiviación, aportan hierro en las aguas del APR La Generala. Esto se explicará con mejores detalles en la sección del manganeso, elemento que comparte características en los factores que determinan su presencia en las aguas.

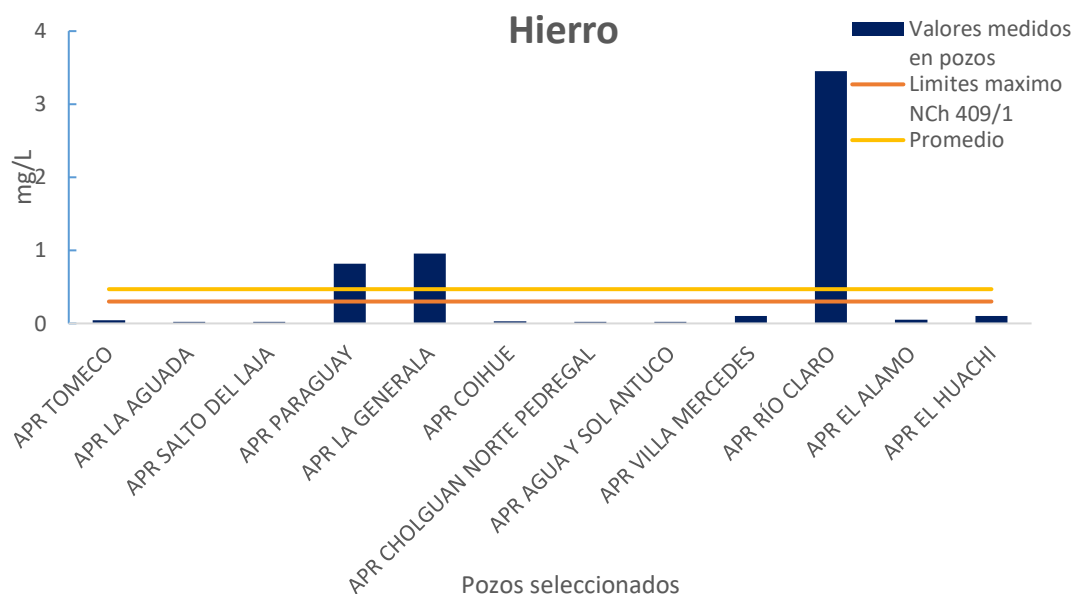


Figura 28. Cantidad de hierro por litro en cada pozo monitoreado.
(Fuente: Elaboración propia).

5.1.13. Sulfatos.

5.1.13.1. Aguas superficiales.

Conforme al análisis de resultado de las aguas superficiales de la cuenca expuestas en la figura 29, se observa que los índices de sulfatos, sin contar los medidos en la zona BI-60, presentan un promedio de 6.23mg/L. Las zonas de vigilancia que sobrepasan el límite impuesto por el Ds N°9 son: BI-20 , BI-30 , BI-50, LA-30 , donde se puede apreciar un alza de este elemento en las aguas durante los periodos cálidos del año, con valores que sobrepasan la media y los límites impuestos.

El sulfuro hexavalente se combina con oxígeno para formar ion sulfato divalente (SO_4^{2-}) (SAG, 2005) Este ion se encuentra naturalmente presente en las aguas superficiales y subterráneas que puede proceder del lavado de terrenos formados en condiciones de gran aridez o en ambiente marino, oxidación de sulfuros, disolución de yeso, anhidrita y terrenos yesíferos,

concentración en el suelo de agua de lluvia o de actividades urbanas, industriales y en ocasiones agrícolas (Custodio & LLamas, 1983) La cercanía de ciudades como Laja, Los Ángeles, Cabrero, afectan a las aguas de los efluentes cercanos a ellas . La norma no impone límites de sulfatos en la zona BI-60; su elevada presencia en las aguas es debido a la cercanía con el mar (DCPRH, 2019).

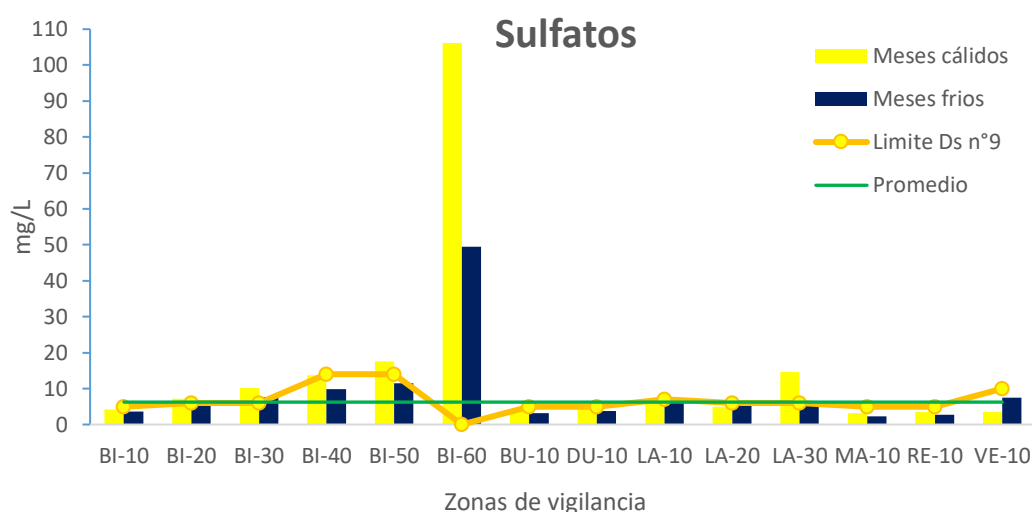


Figura 29. Presencia de sulfato a lo largo de la cuenca junto a su promedio general (Fuente: Elaboración propia).

5.1.13.2. Aguas subterráneas.

De acuerdo al análisis de resultados de las aguas subterráneas en los pozos medidos expuestos en la figura 30, podemos observar que las aguas presentan un promedio de 6.6 mg/L de sulfatos, muy por debajo de las normas Nch N°409/1 y Nch N° 1333.

Por otro lado, como se puede apreciar en el Diagrama de Piper, las aguas subterráneas analizadas se presentan dentro del grupo de bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas. Esto quiere decir que la presencia de sulfatos en las aguas es baja o casi nula. Su presencia, sin embargo, puede deberse a las aguas lluvias como se estipuló en la sección de “aguas superficiales”. Por otro

lado, este componente, al estar en tan bajas concentraciones, nos da a entender que no existen condiciones antrópicas que afecten los niveles de sulfato normales en las aguas subterráneas y que su presencia se debe a razones naturales como el lavado del suelo por la lluvia.

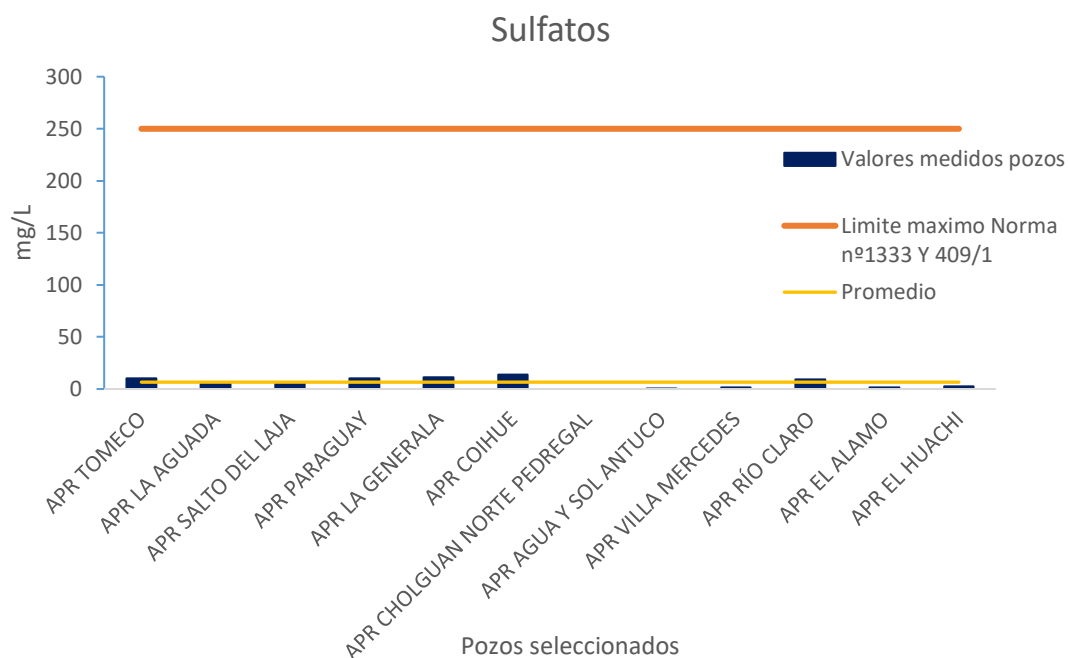


Figura 30. Niveles de sulfato medidos en los pozos seleccionados. (Fuente: Elaboración propia).

5.1.14. Compuestos en base a nitrógeno.

Para esta sección se expondrán los elementos que contengan nitrógeno o deriven de este elemento. Se expondrán los resultados con sus correspondientes gráficos de barra, para luego dar lugar a una sección de análisis y así dar una explicación para los niveles de presencia de compuestos a base de nitrógeno analizados.

5.1.14.1. Nitratos en Aguas superficiales.

En cuanto al análisis de las aguas superficiales mostrados en la figura 31, los nitratos en las aguas superficiales se encuentran en un promedio de 0.25 mg /L. Este resultado está por encima de cualquier límite impuesto por el DS N°9. Los niveles más elevados de nitratos en el agua se encuentran en la zona de vigilancia DU-10 en estaciones frías y cálidas; la siguen BI-50, BI-60 y LA-30, que presentan cantidades por encima de la media en los meses fríos y cálidos. Mientras tanto, las zonas de vigilancia BI-30, BI-40, LA-10 Y VE-10 presentan cifras sobre la norma, particularmente, elevadas en verano. La zona BU-10 también presenta cifras excedentes a los límites de la norma, sobre todo en el periodo frío del año. Las zonas que presentan menor cantidad de nitratos en el agua son BI-10, BI-20 en meses fríos y cálidos y LA-20 en los meses fríos. Por último, las zonas de vigilancias MA-10 y RE-10, presentan cifras cuatro veces mayores a las permitidas en el Ds N°9.

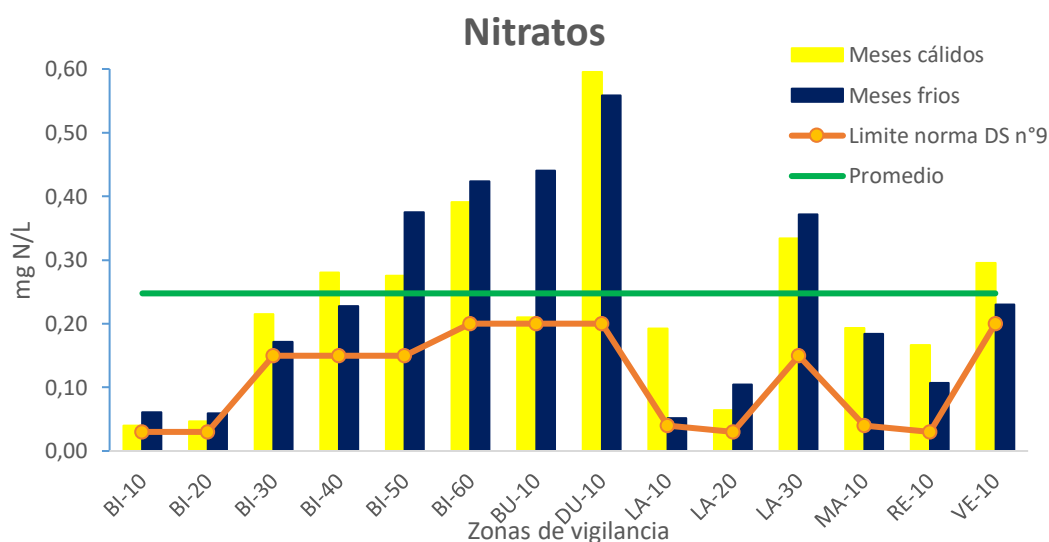


Figura 31. Presencia de nitratos a lo largo de la cueca junto a su promedio general. (Fuente: Elaboración propia).

5.1.14.1.2. Nitratos en Aguas subterráneas.

Según los resultados mostrados en la figura 32, los nitratos en las aguas subterráneas mantienen un promedio de 5.6 mg/L. Este promedio está por debajo de los límites de la NCh N°409/1. Los APR que presentan una mayor concentración de nitratos y sobrepasan la norma son: APR Tomeco y Coihue, con 20.55 mg/L y 25.09 Mg/L, respectivamente. Los siguen los APR Salto de la Laja y La Generala, pero estos no sobrepasan la norma ni la media establecida. El APR con menos presencia de nitratos es el APR Cholguán Norte Pedregal.

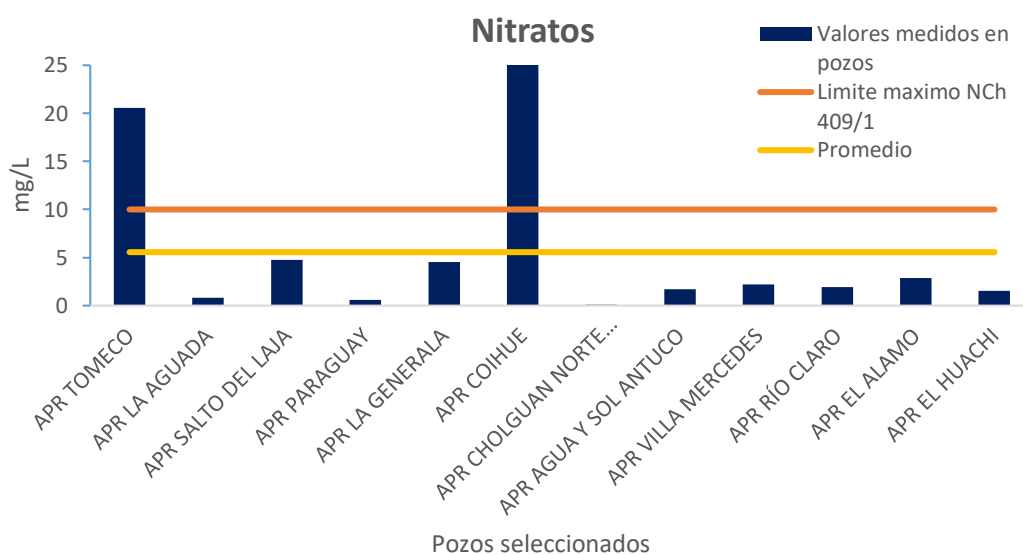


Figura 32. Cantidad de nitratos por litro en cada pozo monitoreado (Fuente: Elaboración propia)

5.1.14.2. Nitrógeno total y nitritos en aguas superficiales.

En la figura 33 podemos apreciar que el promedio de nitrógeno total en las aguas es de 0.34 mg N/L. Este promedio es superior a los límites establecidos por el DS N°9 en varias áreas de vigilancia. Solo dos áreas de vigiliancias arrojaron valores menores al límite permitido: BI-10 y BI-20, con valores menores a 0.15 mg N/L. Todas las demás estaciones midieron valores

superiores a los permitidos y las áreas de vigilancias con mayores índices de nitrógeno total fueron: BU-10 y DU-10; el primero, rebalsando los límites en periodos fríos y cálidos, mientras que el segundo, solo en los periodos fríos. A estos los siguen las zonas BI-60, BI-50 y LA-30, en periodos fríos y cálidos. Todas las zonas nombradas, sobrepasan el promedio de la cuenca en periodos fríos y cálidos. Por último, las estaciones de MA-10 y VE-10 brindaron resultados mayores a los límites del DS N°9 y al promedio en los periodos cálidos del año.

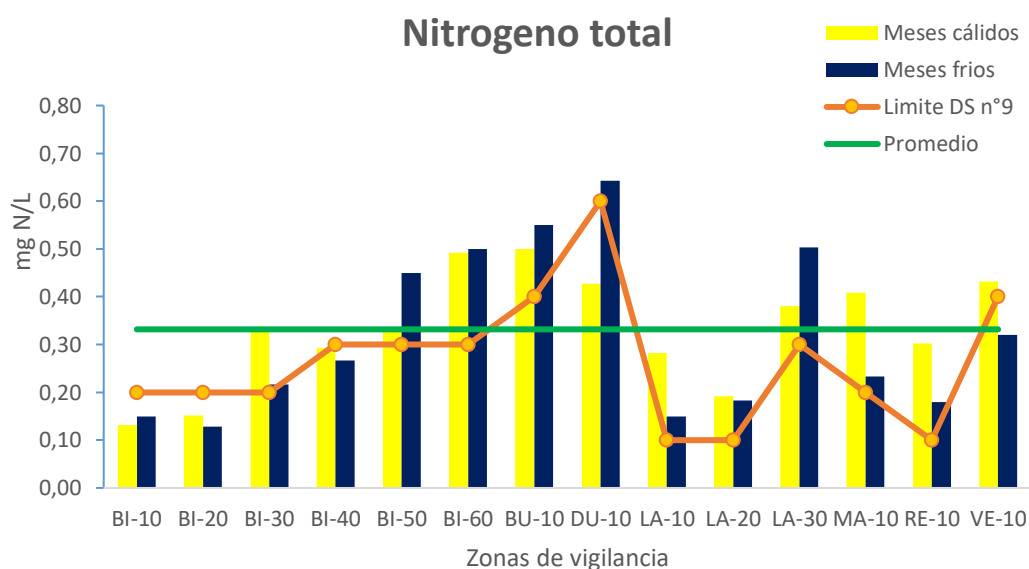


Figura 33. Nitrógeno total a lo largo de la cuenca junto a su promedio general (Fuente: Elaboración propia).

En cuanto a los nitritos, se puede apreciar en la figura 34, que estos nos proporcionan un promedio de 0,006 mg N/L, promedio que es superior a la mayoría de los límites dados por el DS N°9. Solo cuatro áreas de protección brindaron resultados menores a los límites de la norma: VE-10, en ambos periodos del año y BI-10, BI-60, BU-10 solo en los periodos fríos del año. Por otra parte, las mayores mediciones de nitritos corresponden a las zonas de

vigilancia BI-60 y BI-50, ambas en periodos cálidos del año. De esta manera, cabe destacar el aumento de la presencia de nitritos en el agua en los meses cálidos del año, ya que muestra un significativo aumento comparado con los resultados de las mediciones en los periodos fríos del año. El aumento de los nitritos en las aguas en los periodos cálidos del año, comúnmente, se debe al aumento de la temperatura y a la acción de ciertas bacterias que descomponen el amoníaco presente (Blancas Cabello & Hervás Ramírez , 2001).

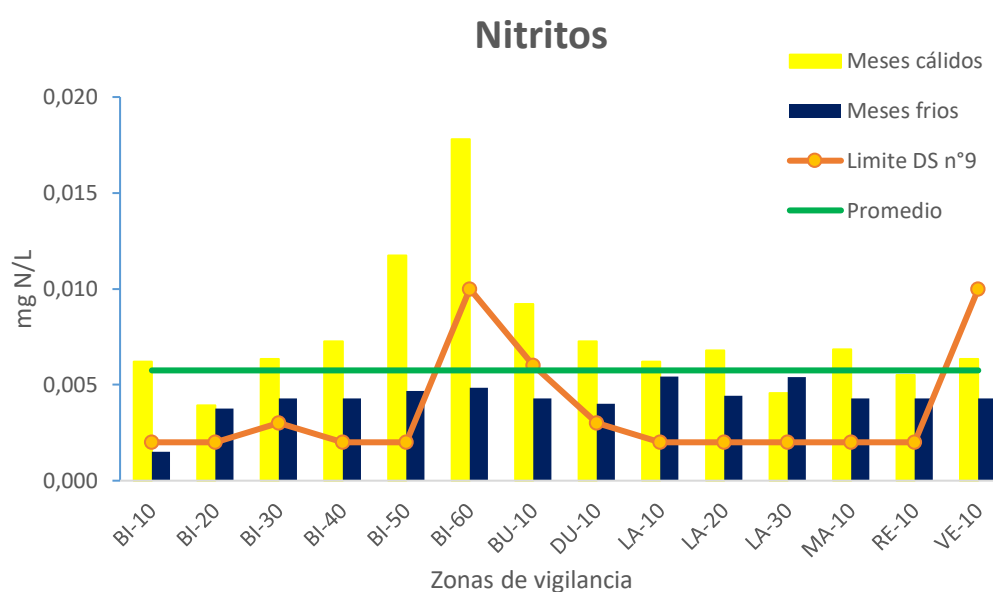


Figura 34. Presencia de nitritos a lo largo de la cuenca junto al promedio general de este. (Fuente: Elaboración propia).

5.1.14.3. Amonio en aguas superficiales.

Se observa en la figura 35 la presencia de amonio a lo largo de la cuenca con un promedio de 0.032 mg N/L. En general, los niveles de amonio sobrepasan los niveles declarados en el Ds. N°9, aunque en cantidades bajas. Así mismo, los niveles más destacables de presencia de amonio se pueden observar en las estaciones BI-30, destacándose en los meses fríos; BU-10 presenta

valores superiores a la media y a la norma en meses cálidos; y BI-60 en ambos periodos. Las únicas zonas de vigilancia que presentan valores permitidos dentro de la norma son DU-10, BI-50, LA-20 y VE-10, estos últimos tres casi al límite de la norma.

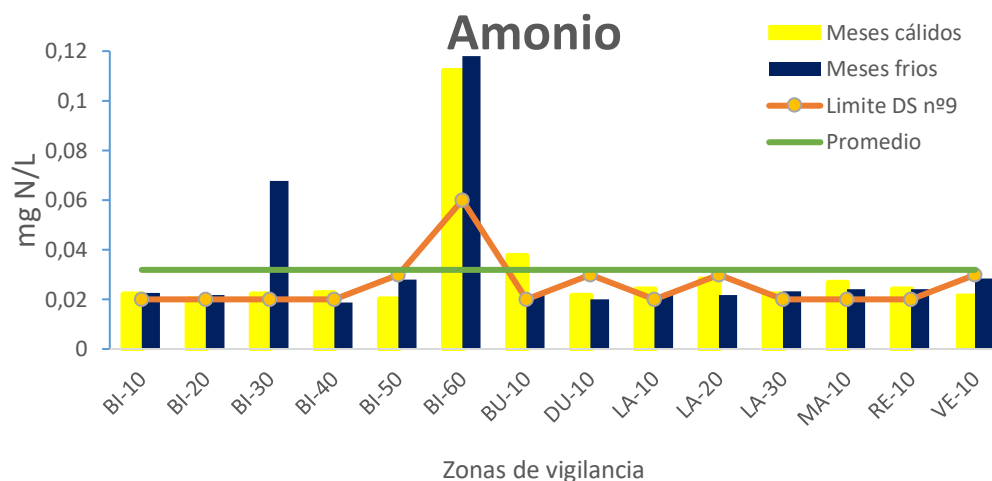


Figura 35. **Presencia** de amonio a lo largo de la cuenca junto con el promedio general de amonio (Fuente: Elaboración propia).

5.1.14.4. Amonio en aguas subterráneas.

Según el análisis de resultados de las aguas subterráneas expuestas en la figura 36, se aprecia la presencia de amonio en las aguas subterráneas de los pozos seleccionados, presentando un promedio de 0.04mg/L muy por debajo de la NCh 409/1 de agua potable, que establece una cantidad máxima de amoniaco en el agua de 0.25mg/L. Por lo general, los pozos medidos presentan medidas menores al promedio; solo uno de ellos presenta mediciones mayores al promedio, siendo este el APR Río Claro con un sondeo de 0.21 mg/L , es decir, menor a los límites de la norma.

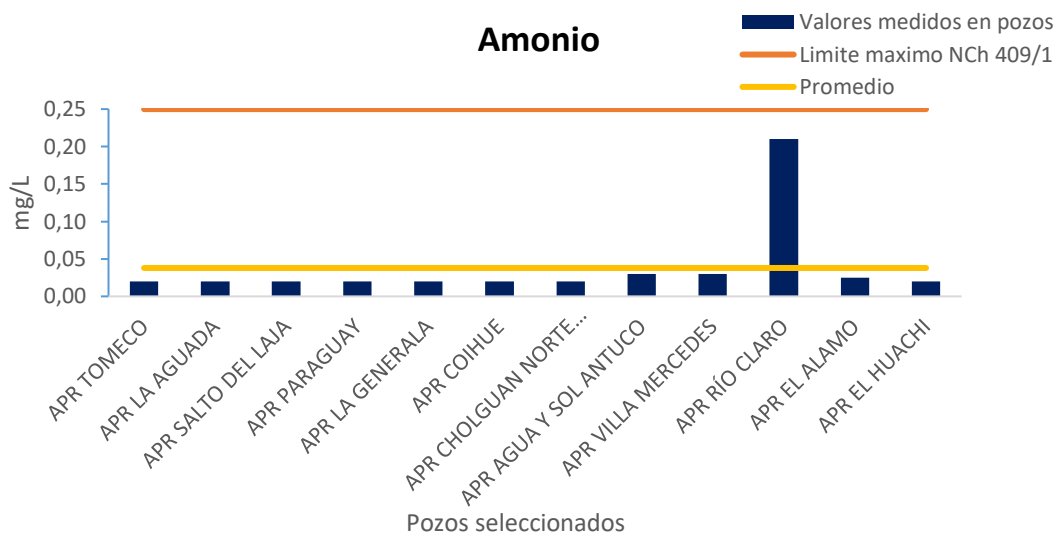


Figura 36. Amoniaco por litro de cada pozo monitoreado
(Fuente: Elaboración propia).

5.1.14.5. Análisis de resultados para compuestos en base a nitrógeno.

Como se puede observar, existe una presencia generalizada de compuestos en base al nitrógeno a lo largo de la cuenca, esto puede deberse al ciclo natural del nitrógeno y a la acción antrópica que altera el ciclo. Las principales fuentes de contaminación de nitrógeno en las aguas son:

- **Urbanas:** Como pozos negros, bajo o nulo tratamiento de aguas servidas en áreas urbanas; entre otras.
- **Agrícolas:** Debido al exceso del uso de fertilizantes y biocidas en base a nitrógeno.
- **Ganadero:** Por medio de la descomposición de desechos y purines;
- **Industrial:** Mediante riles (Blancas Cabello & Hervás Ramírez , 2001).

Como se muestra en las figuras 2 y 3 del documento, existe una marcada presencia de riles en el valle central de la cuenca, además del uso de gran parte del territorio para el monocultivo de pinos y eucalipto, los cuales usan fertilizantes y biocidas en base a nitrógenos. Entonces, como se señaló

en el documento con anterioridad, estamos en presencia de dos fuentes de contaminación: fuentes puntuales por parte de los riles industriales y desagües poco regulados y fuentes difusas en las aguas, por medio de la actividad agrónoma y sobre todo forestal (Bolaños Alfaro, Cordero Castro, & Segura Araya, 2017), siendo esta última la principal fuente comercial e industrial de la cuenca. Debido a estas actividades, la presencia de estos compuestos aumentó a lo largo de los años en el interior de la cuenca (Pizarro, Vergara, Rodríguez, Sanhueza, & Castro, 2010) y, por consecuencia, en sus aguas.

Por parte de las aguas subterráneas, los dos pozos con más presencia de compuestos en base a nitrógeno pueden ser afectados por los mismos factores que en las aguas superficiales, pero en forma más localizada. Por ejemplo, las aguas pueden ser influenciadas por alguna plantación reciente de monocultivo, un pozo negro cercano, etc., condiciones que aumentan en gran medida la presencia de nitratos en las aguas subterráneas.

5.1.15. Coliformes fecales en aguas superficiales.

Mediante el análisis de las aguas superficiales expuestas en la figura 37, se observa que las coliformes fecales presentaron un promedio de 305 NMP/100 mL. La presencia de coliformes fecales en las aguas de la cuenca está por lo general bajo los límites del Ds N°9 y bajo la media, destacándose las zonas de vigilancia BI-10, BI-20 y La-10, cuyas aguas presentan menos de 40 NMP/100ml en ambos periodos de tiempo. Las zonas que presentan mayores valores de coliformes fecales son las zonas BI-50 con 1013 NMP/100ml, sobrepasando la norma en los meses fríos; y LA-30 con valores mayores a

1000NMP/100ml, límites dispuestos en el Ds N°9, destacándose en los meses cálidos. Otras zonas de vigilancia que presentan valores superiores a la norma son las: LA-20 y MA-10. Por último, las zonas BI-40, BI-60 presentan valores por encima de la media en meses cálidos y DU-10 presentan valores superiores a la media en los meses fríos, sin sobrepasar los límites de la norma en ninguno de los tres casos.

Las coliformes fecales corresponden a las bacterias presentes naturalmente en el tracto digestivo de los mamíferos superiores, tales como los humanos, por tal motivo estas bacterias se encuentran en los excrementos (Rojas *et al.*, 2007). La presencia de estas bacterias denota, la calidad de las aguas y la presencia de contaminación fecal (Robert , 2014). Claramente, la presencia de coliforme fecales y las áreas más pobladas de la cuenca tienen relación entre sí, tal como se puede observar en la figura 37. La presencia de coliforme aumenta en las áreas de vigilancia más pobladas, ya sea el caso del área de vigilancia BI-50, cercana a Concepción; LA-30, cuya estación de monitoreo se encuentra aguas abajo de la ciudad de Laja; o la zona de vigilancia VE-10, cuyas aguas recorren por las ciudades de Angol, Tijeral y Nacimiento.

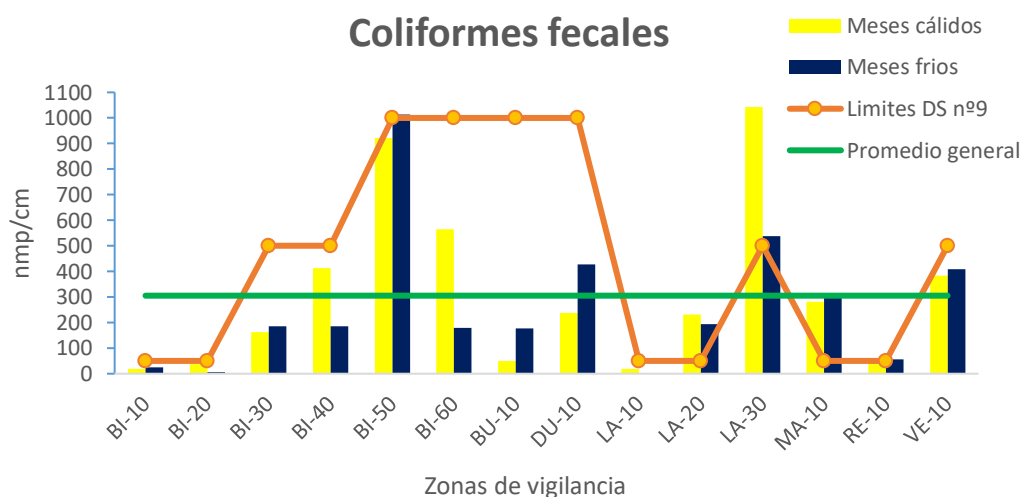


Figura 37. Presencia de coniformes fecales a lo largo de la cuenca junto a su promedio general (Fuente: Elaboración propia).

5.1.16. Fósforo Total y ortofosfatos en Aguas superficiales.

Se puede apreciar en la figura 38 que el promedio del fósforo total en el agua se mantiene en 0.04mg/L. Las tres zonas con mayor presencia de fósforo son BI-50, BI-60 y LA-30 en periodos fríos y cálidos. Además de estas tres zonas de vigilancia, La-20 tomó valores por encima de la norma, siendo superiores a los límites establecidos en el DS N°9 en periodos fríos y cálidos.

En cuanto a los resultados expuestos en la figura 39, se puede observar que los ortofosfatos mantienen un promedio de 0.026mg/L. Este promedio es menor a varios límites de presencia impuestas por el DS N°9. Las tres zonas con mayor presencia de ortofosfatos son BI-50, BI-60 y LA-30 en periodos fríos y cálidos. Además de estas tres zonas de vigilancia, las mediciones de ortofosfatos sobrepasaron la norma en las zonas de BI-10 en periodos fríos; BI-40 y DU-10 en ambos periodos; y, por último, se debe señalar un ligero incremento de ortofosfatos en las aguas superficiales en las mediciones tomadas en los periodos fríos del año.

EL fósforo es un elemento abundante en el suelo generalmente. Su contenido varía entre 100-3000 mg P/Kg (Cerón & Aristizábal, 2012), aun así existen zonas de vigilancia con presencia de fósforo total y ortofosfatos claramente demarcadas. Esto podría deberse al uso de fertilizantes fosfatados para el debido crecimiento de las plantas como se postula en (Cerón & Aristizábal, 2012) Las fuentes de fósforo y su distribución son críticas para la sostenibilidad de las prácticas agrícolas y forestales. Además, en (Chen, Condron, & Z.H, 2008) se postula que la forestación con coníferas mejora la mineralización en el suelo, por lo tanto, aumenta la presencia de este elemento y, como se muestra en la figura 4 del documento, la mayor parte

de la cuenca se utiliza para el monocultivo de pino, siendo este una conífera. Este factor, sumado al escurriendo del suelo por las lluvias, dan como resultado la presencia de fósforo y ortofosfatos en las aguas. Por lo tanto, esto es un factor de contaminación difusa en la cuenca del Biobío. Por otra parte, se muestra en los gráficos que ciertas zonas de vigilancia presentan elevados niveles de los dos elementos en las aguas superficiales. Según (Correia *et al.*, 2013), el vertimiento de efluentes domésticos, pecuarios e industriales, crudos o con tratamiento insuficiente, las aguas pluviales urbanas son algunas de las causas que generan la, cada vez mayor, contaminación de las fuentes de agua superficial y subterránea. Como podemos observar en la figura uno y dos del documento, existen diferentes riles a lo largo de la cuenca, destacándose en las zonas de vigilancia BI-40, BI-50, BI-60, DU-10, LA-20 y LA-30, zonas fuertemente influenciadas por riles industriales y desagües urbanos poco regulados. Entonces, estamos en presencia de fuentes puntuales de contaminación los cuales aumentan la presencia de fosforo en las aguas de la cuenca.

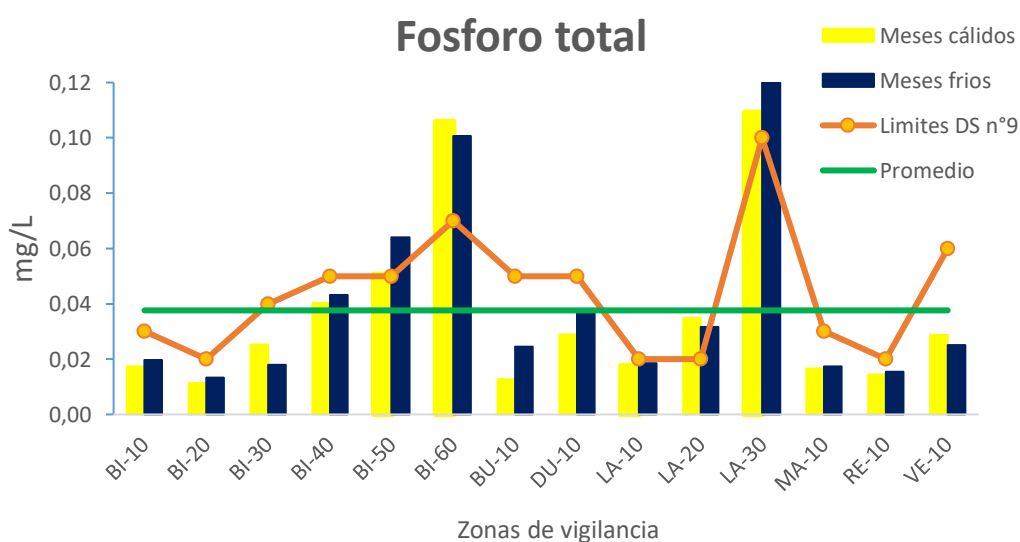


Figura 38. Fosforo total a lo largo de la cuenca junto a su promedio general (Fuente: Elaboración propia).

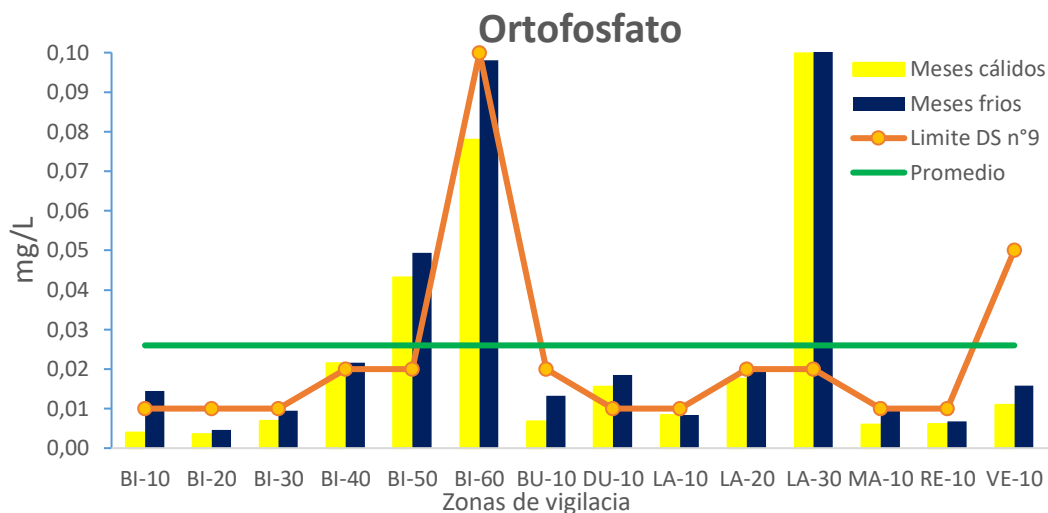


Figura 39. Presencia de Ortofosfatos a lo largo de la cuenca junto a su promedio general. (Fuente: Elaboración propia)

5.1.17. DBO Y DQO en aguas superficiales.

El DBO o Demanda Biológica de Oxígeno es la medición del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica. Este parámetro mantiene varias limitantes que perjudican las mediciones, tales como la presencia de hierro oxidado, nitritos o la presencia de compuestos azufrados en las aguas, las que alteran los resultados del análisis de DBO (Metcalf & Eddy, 2014), dando como resultado el aumento de oxidación en las aguas.

La DQO o demanda química de oxígeno se define como la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar los componentes del agua recurriendo a reacciones químicas (Déniz Quintana, 2010)

Como se puede apreciar en la figura 40, el promedio de la DBO se mantiene en 2.24mg/L. Este valor está por encima del límite establecido en el DS N°9. Se observa que, en general, a lo largo de la cuenca, se sobrepasa el límite establecido, acentuadamente en los meses fríos del año. Además, en las zonas de vigilancia BI-10, BI-20, BI-60, LA-30 y VE-10, los valores medidos

sobrepasan el límite en los meses cálidos; en cuanto a las zonas de vigilancia BI-30, BI-40, DU-10, LA-10, LA-20, MA-10 y RE-10, los valores medidos se mantiene bajo los límites de la norma en lo meses cálidos, pero se sobrepasan en el periodo frío.

En cuanto a la DOQ, la figura 41 indica que el promedio se mantiene en un 4.34 mg/L. Por otro lado, los niveles de DQO, en general, se mantiene bajo los límites establecidos por el DS N°9, salvo en cuatro zonas de vigilancia: BI-50, BI-60, LA-10, cuyas mediciones sobrepasan los límites en los periodos fríos y cálidos del año, y LA-20 en los periodos fríos del año. Las tres mayores mediciones son las arrojadas en las zonas de vigilancia BI-50 en los meses fríos, BI-60 en los meses cálidos y LA-30 en los meses fríos. Un punto a destacar es el aumento de la DQO a lo largo de la cuenca en los periodos cálidos del año.

Ambos indicadores DBO Y DQO se utilizan para medir la carga orgánica en las aguas residuales o en las aguas superficiales.

Como se observa en las figura 40, la DBO medida en la cuenca es menor a la DQO, puesto que la primera solo mide la oxidación por parte de los microorganismos oxidantes. Los resultados de la medición muestran un excedente general de los límites de la norma, destacándose en los meses fríos, lo que puede deberse al aumento del caudal y, por consecuencia, el incremento del arrastre de materia orgánica del lecho del río. Los resultados arrojados de la DBO exhiben una presencia generalizada de microorganismos oxidantes y, considerando los niveles de nitrógeno, hierro y fósforo existentes en las aguas superficiales de la cuenca, es de esperar en los niveles de DBO presentes.

La situación de la DQO es similar, es decir, la presencia elevada de materia orgánica y la presencia de materia inorgánica oxidable aumenta los niveles de DQO en las aguas.

Por último, se observa que ambas mediciones (figura 40 y 41) presentan niveles elevados en las áreas de vigilancia más cercanas a centros urbanos y Riles, tales como la zona de vigilancia LA-30, BI-50 y BI-60 cuyas zonas de vigilancia mantienen una fuerte descarga de aguas residuales domésticas e industriales.

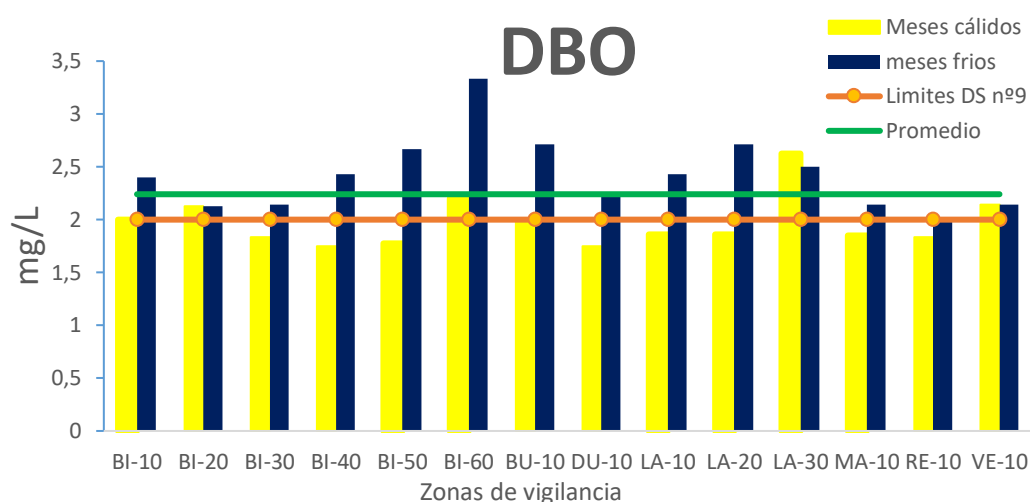


Figura 40. DBO a lo de la cuenca junto a su promedio general (Fuente: Elaboración propia).

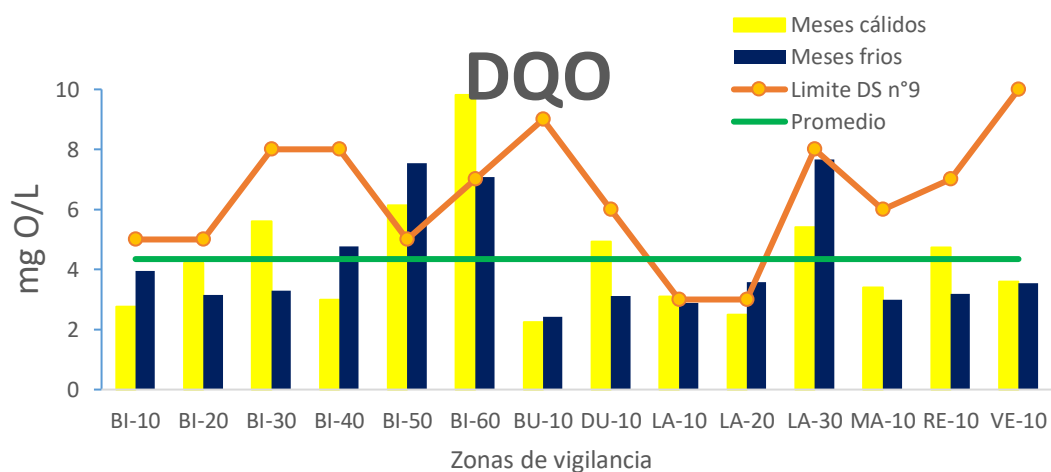


Figura 41. DQO a lo largo de la cuenca junto a su promedio general. (Fuente: Elaboración propia)

5.1.18. Oxígeno disuelto.

En la figura 42, correspondiente al oxígeno disuelto presente a lo largo de la cuenca, y con el fin de facilitar la comprensión de la influencia de la temperatura en los niveles de oxígeno en el agua, se confeccionó el gráfico presentando las temperaturas en áreas.

Entonces, como se aprecia en la figura 42, el oxígeno disuelto en las aguas de la cuenca mantiene un promedio de 10,5mg O₂/L. Se observa un aumento de disolución de oxígeno en los meses fríos del año, destacablemente en la estación BI-40, ya que se puede observar un aumento de oxígeno disuelto en las aguas muy superiores al promedio. Se observa un claro rebalse generalizado de los límites de la norma en todas las estaciones de monitoreo en el periodo frío del año. Con respecto a los meses cálidos del año, se observa una disminución de oxígeno disuelto en las aguas en general, exceptuando las estaciones: LA-30, la única con mediciones superiores a los límites de la norma Ds N°9 y al promedio en meses cálidos del año; BI-30 y VE-10, cuyas estaciones de monitoreo midieron valores mayores a los límites de la ley en ambos periodos del año.

El oxígeno disuelto u OD es esencial para la respiración y supervivencia de la vida acuática. Este indicador aumenta o disminuye, sobre todo, según (Riley & Dodds, 2013) por la tasa de intercambio de oxígeno desde la atmósfera hacia la columna de agua, la que es influenciada, a su vez, por otros factores tales como la temperatura, la turbulencia de las aguas, la respiración conjunta de los seres acuáticos (Ridanović, Ridanović, Jurica, & Spasojević, 2010) y, de acuerdo con (Huggins & Anderson, 2005), otros factores que afectan la disponibilidad de oxígeno disuelto y, por consiguiente, se considera la

saturación de oxígeno como la actividad de los organismos acuáticos tales como algas y micrófitos que, por medio de la fotosíntesis, producen oxígeno como desecho. Además, (Huggins & Anderson, 2005) postulan que las aguas de alcantarillados municipales, por lo general, son aguas con bajas concentraciones de oxígeno que afectan a las aguas receptoras.

En resumen, existen varios factores que afectan la disponibilidad de oxígeno disuelto en las aguas. En el caso particular de la cuenca del Biobío, se percibe una fluctuación bastante notable de oxígeno disuelto en los periodos cálidos en comparación con los periodos fríos, esto es debido el aumento de la temperatura, la cual afecta la tasa de intercambio de oxígeno de las aguas con la atmosfera, disminuyéndola. Se puede observar, también, comparando las figuras 40 (DBO) con la figura 42 (Oxígeno Disuelto), que en las zonas con mayor DBO el OD es menor que en las zonas donde el DBO es bajo. Por último, existen las mediciones de oxígeno disuelto en la zona BI-40 en invierno, este es inusualmente alto en comparación con los datos tomados en las demás zonas. Este resultado puede deberse a factores en el río como un crecimiento excepcional de algas en la zona de vigilancia o mediciones erróneas en la estación de monitoreo.

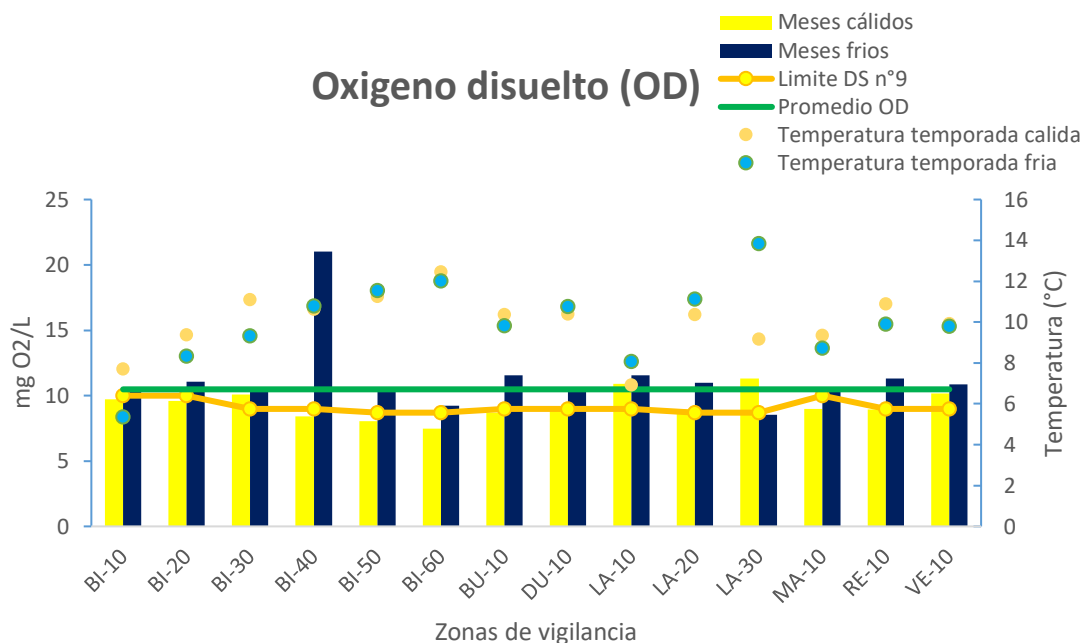


Figura 42. Oxígeno disuelto a lo largo de la cuenca junto a su promedio general. (Fuente: Elaboración propia).

5.1.19. Arsénico en aguas subterráneas.

El análisis realizado a lo expuesto en la figura 43 nos indica que la presencia de arsénico en los pozos seleccionados es mínima, ya que ésta presenta un promedio de 0.0015 mg/L, muy por debajo de la NCh 409/1 y N°1333 que establecen límites de 0.05mg/L y 0.1mg/L, respectivamente.

El arsénico es un elemento inodoro e insípido que puede causar diversos malestares en los organismos que interactúan con él (EPA, 2022) Comúnmente, el arsénico, al encontrarse en aguas subterráneas, se debe a procesos geoquímico naturales (Alarcón Herrera, Leal Quezada, Martín Domínguez, Miranda Navarro, & Benavides Montoya, 2013) Con respecto a las fuentes antrópicas de arsénico en las aguas subterráneas, se sabe que se deben a la cercanía de industrias metalúrgicas, manufactureras de vidrio y cerámicas o la presencia de pesticidas (SAG, 2005), puesto que no existen actividades industriales ligadas al uso de arsénico o a su desecho; por su

parte, los pozos presentan bajos niveles de arsénico en las aguas; de esta manera, podemos postular que la presencia de arsénico en los pozos puede deberse a la aplicación de pesticidas en las áreas cercanas y la percolación de aguas lluvias hacia las napas subterráneas.

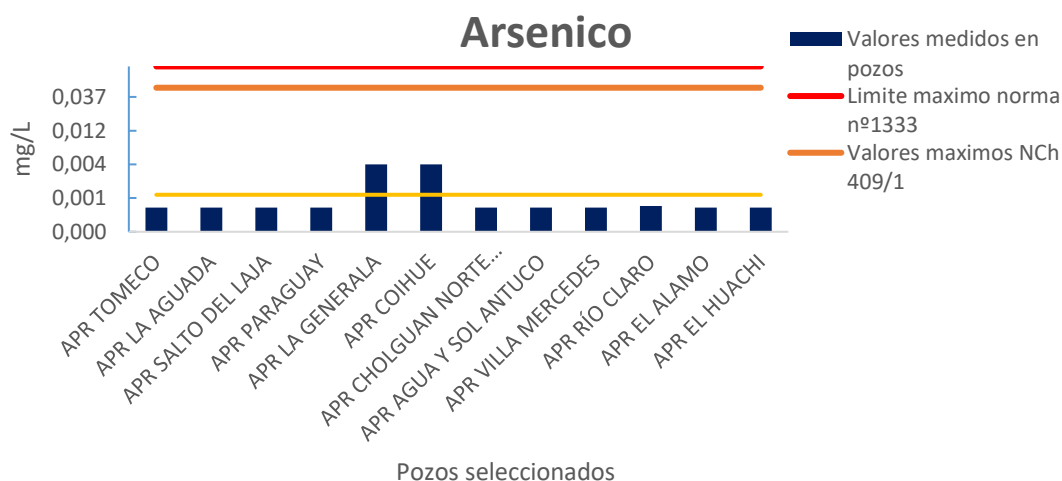


Figura 43. Cantidad de arsénico en cada pozo monitoreado.
(Fuente: Elaboración propia).

5.1.20. Zinc en aguas subterráneas.

Como se muestra en la figura 44, la presencia de zinc es mínima en los pozos seleccionados; este elemento presenta un promedio de presencia de 0.019mg/L, siendo 2mg/L el límite establecido por la norma N°1333.

El zinc es un metal brillante moderadamente duro de color azulado, fácilmente oxidable (Piedra Marín, 2019) Este elemento se presenta en la naturaleza en forma de esfalerita, wurzita y smithsonita, los que suelen presentarse en depósitos hidrotermales o en depósitos magmáticos (Jiménez & Pasquali, 2017); asimismo, la presencia de zinc en las aguas y suelo puede deberse a la acción antrópica, ya que los niveles de este elemento aumentan con la presencia de actividades industriales como extracción, combustión de carbón y rechazos y elaboración del acero (Durán Arroyo & Ciabato Jiménez, 2011).

Como se observa en la figura 44, la presencia de zinc en las aguas de los pozos monitoreados son mínima, puesto que no existen actividades industriales relacionadas con su extracción o elaboración de acero y no existen depósitos magmáticos o hidrotermales cercanos a los pozos monitoreados.



Figura 44. Niveles de zinc medidos en pozos seleccionados.
(Fuente: Elaboración propia).

5.1.21. Manganeso en aguas subterráneas.

Como demuestra el análisis de resultados de la figura 45, la presencia de Manganeso en los pozos seleccionados presenta un promedio de 0.18mg/L, siendo este superior a límite de 0.1mg/L establecido en la NCh n°409/1, pero no mayor a la norma N°1333. Cuatro pozos seleccionados presentaron valores mayores a las normas, siendo estos: APR Tomeco y Paraguay, cuyas mediciones fueron mayores a la norma N° 409/1 y los APR La Generala y Río Claro, cuyos valores presentaron un sobrepaso de ambas normas diez veces mayores a los límites.

El manganeso es un metal liviano, medianamente fuerte, de color blanco plateado. La presencia de manganeso se debe a factores naturales y antropológicos (Rojas *et al.*, 2007).

Los valores de manganeso en las aguas subterráneas son bajas exceptuando los pozos antes mencionados, se destacan dos APRs por sobre los demás, el APR Río Claro y el APR La Generala. La presencia de un alto nivel de Manganeso en el agua del APR Río Claro se debe a la cercanía con el río del mismo nombre, puesto que él (DCPRH, 2019) sostiene que la presencia de rocas de origen sedimento volcánicas mixtas del período terciario, adicionan el contenido de manganeso existente en la litología de las formaciones rocosas, las cuales, por procesos de lixiviación superficial y percolación de las aguas subterráneas, adicionan manganeso a las aguas superficiales, especialmente en los ríos Biobío, Duqueco, Claro y Guaqui (Cade-Idepe, 2004). Esta proximidad con el Río Claro, el cual viene con una carga de manganeso, afecta las aguas subterráneas del APR y viceversa. Por parte del APR La Generala, se encuentra que los niveles de manganeso se explican por la existencia de rocas sedimentarias que contienen este elemento, tal como sucede con el hierro, pero en menor proporción; se encuentra en forma natural en el agua subterránea de manera disuelta, mediante procesos de lixiviación, en donde las concentraciones pueden llegar a los 1,50 mg/L o más. (DCPRH, 2019).

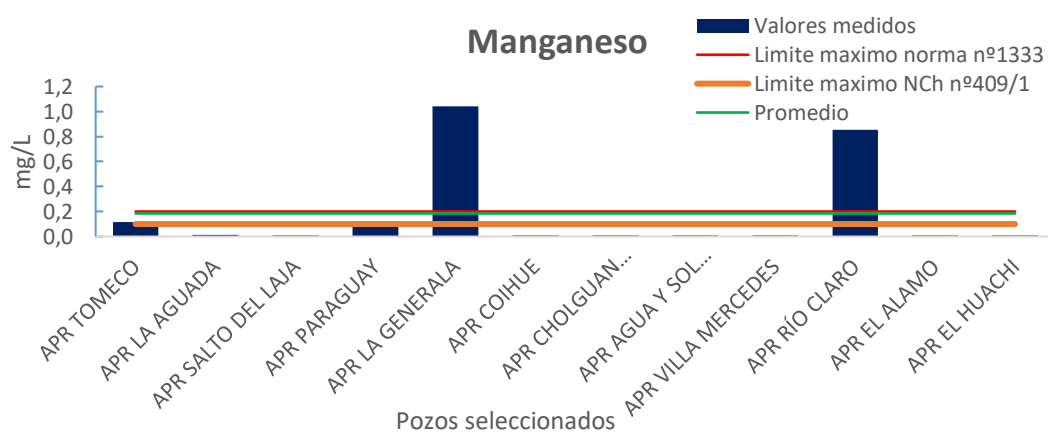


Figura 45. Niveles de manganeso medidos en pozos seleccionados.
(Fuente: Elaboración propia)

5.1.22. Magnesio en aguas subterráneas.

Como se expone en la figura 46, el magnesio en los pozos seleccionados presenta un promedio de 5.7Mg/L mucho menor a los límites establecidos por la norma N°409/1 que dicta un máximo de 125mg/L de magnesio en el agua. El pozo que presenta mayor cantidad de magnesio en sus aguas corresponde al APR La Aguada; en contra punto, el pozo que presenta menor cantidad del elemento es el APR La Generala. Considerando los bajos niveles de magnesio detectados, se puede considerar que no existen fuentes de contaminantes que aporten magnesio a las aguas subterráneas y que la presencia de este elemento puede deberse a razones naturales, tales como la existencia de rocas con trazas de este elemento.

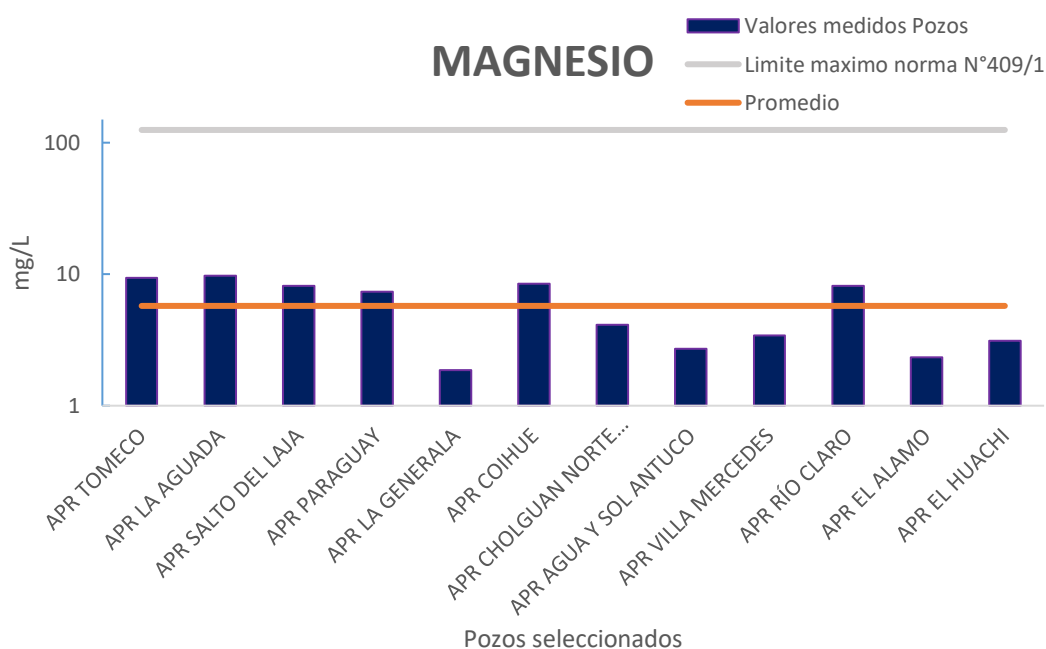


Figura 46. Magnesio en pozos seleccionados (Fuente: Elaboración propia).

5.2. Discusión.

En relación con la composición química de las aguas superficiales de la cuenca del Biobío, el Diagrama de Piper y el Diagrama de Stiff nos permitieron observar que las aguas superficiales pertenecen al grupo de las bicarbonatadas cálcicas, variando de cálcicas a sódicas en las áreas BI-50 y BI-60, cambiando a clorurada sódica, siendo estas dos últimas las estaciones de monitoreo más influenciadas por las aguas marinas. Por otro lado, las aguas subterráneas analizadas corresponden al grupo de las bicarbonatadas cálcica y/o magnésicas. Como resultado de esta clasificación, podemos observar la influencia de los factores naturales que influyen tanto en las aguas superficiales como en las subterráneas y la relación que tienen ambas, puesto que una influye en la otra y viceversa.

Con relación a la calidad de aguas superficiales, la investigación realizada nos provee de datos que confirman los estudios anteriores, ya que los principales indicadores de calidad de agua (conductividad eléctrica, sólidos suspendidos y coliformes fecales) presentan, en un principio, bajos niveles en las zonas de vigilancia cercanas a la cordillera y menos pobladas para dar pie a un aumento general de sus niveles mientras el río se abre paso por medio de la Depresión Intermedia y las zonas costeras, siendo estas últimas las que más presentan actividades industriales y forestales, además del aumento de la densidad poblacional y áreas urbanas (Fuente de contaminación fijas).

Otros datos arrojados por las estaciones de monitoreo muestran una presencia generalizada de varios componentes destacables, tales como los compuestos a base de nitrógeno, fósforo, ortofosfatos, fierro, con una diferencia en periodos cálidos (octubre-marzo) y fríos (abril-septiembre), ya

que en este último periodo de año las lluvias son más frecuentes, por lo tanto, el arrastre de sedimentos y contaminantes aumenta.

Los elementos más problemáticos presentes en las aguas superficiales son los compuestos a base de nitrógeno y fósforo. Estos niveles de presencia, sobre todo la de compuestos nitrogenados, son debido a la actividad de la industria forestal, dado que los fertilizantes y plaguicidas utilizados en los monocultivos de eucalipto y pinos son en base a nitrógeno y fósforo, generando de esta manera contaminación difusa que afecta a las masas de aguas cercanas, debido al arrastre y percolación de agua lluvia. Así pues, la presencia de fósforo y ortofosfatos en las aguas superficiales denota un aumento significativo y abrupto de sus niveles en ciertas áreas de vigilancia, siendo estas BI-40,50 y 60 y LA-30, las más destacadas, lo que indica que existen fuentes de contaminación fija cercanas a los ríos en estas áreas, entregando importantes aportes de fósforo y ortofosfatos a las aguas. La alta presencia de nitrógeno y fósforo en las aguas superficiales propician el deterioro de los servicios ecológicos de las aguas, mediante la eutrofización (Chapa & Guerrero , 2010), por ello es necesario poner atención a los niveles de nitrógeno, fosforo y a las fuentes de contaminación difusas y fijas presentes en la cuenca.

Ahora bien, en contraste con las aguas superficiales, los pozos analizados en general demostraron una buena calidad de aguas, mostrando bajos niveles de sólidos disueltos y conductividad eléctrica, siendo aptas para el uso agrícola, ganadero y humano; sin embargo, existen algunos APRs que mostraron niveles por encima de la norma con diferentes elementos. Estos son: APR Tomeco y APR Coihue, los cuales presentan una elevada carga de

nitratos en sus aguas. Esta presencia puede atribuirse a factores antrópicos o naturales de la región en donde se encuentran, pero, por desgracia, no existen estudios específicos que demuestren el origen de estos elementos en las aguas subterráneas. Se debe prestar atención a los niveles de nitratos, puesto que una presencia alta en éstas, puede conllevar enfermedades a quien hace uso de estas aguas (Londoño Pereira & Gómez Ramírez, 2021).

Otros niveles de presencia de elementos poco deseados en las aguas son los que presentan los APRs Paraguay, La Generala y Río Claro con relación a los niveles de hierro y manganesos presentes en sus aguas, estos niveles se explican por las condiciones litológicas que presentan las áreas en donde están ubicados los APRs. Tales niveles de metales no son perjudiciales para la salud humana o animal, sin embargo, la presencia de estos conlleva a efectos adversos en la operación y mantenimiento de los sistemas de abastecimiento y en el aspecto del agua (Negrón Martínez & Pimenta, 2014) Sin ir más lejos, se mencionó una relación entre aguas superficiales y subterráneas, la que, entre estos tipos de agua, se puede observar sobre todo en los APR Río Claro, Paraguay y Tomeco, puesto que estos pozos comparten espacio geográfico con la zona de vigilancia LA-20 y La-30, zonas de vigilancia donde se observaron niveles de hierro altos en el agua superficial.

Por último, se debe proceder con cuidado con estos datos, ya que son el resultado de un solo estudio de pozos, donde se realizó solo una toma de muestras, lo que conlleva a que los datos no sean sostenibles en el tiempo al no encontrarse datos de años anteriores.

6. CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos de los datos de calidad de aguas de la cuenca del Biobío nos exponen lo siguiente:

Con relación a las aguas superficiales, tal como señalaban otros estudios, se observa que comienzan con buena calidad en las zonas cordilleranas para luego ir empeorando en calidad a lo largo de la cuenca, sobre todo en las zonas centrales donde recibe cargas de contaminantes por acción antrópica.

Otro punto por mencionar es la presencia generalizada de compuestos a base de nitrógeno y fósforo, factores que pueden afectar en gran medida a las aguas superficiales por la llamada eutrofización, lo que implica la pérdida de biodiversidad y empeoramiento de la calidad de las aguas. Estas condiciones en las aguas son debido a la carga de residuos provenientes de fuentes puntuales y difusas a la que se ve sometida la cuenca a lo largo de su territorio, maximizándose en las zonas centrales de la cuenca y las cercanías al mar.

En contraste con las aguas superficiales de la cuenca del Biobío, las aguas subterráneas presentaron, en general, una baja concentración de compuestos, siendo estas aguas de buena calidad, exceptuando los APRs Paraguay, La Generala, Rio Claro, Tomeco y Coihue; los tres primeros con alta presencia de hierro y manganeso y los dos últimos con presencia de nitrógeno en sus aguas, por lo que se recomienda un tratamiento previo antes del uso de estas aguas. Es importante señalar que los datos utilizados en el estudio de las aguas subterráneas son resultado de un solo muestreo de aguas, por lo tanto, es necesario un aumento de seguimiento de estas.

7. LITERATURA CITADA.

1. Alarcón, M.T., L.O. Leal, I.R. Martín, S.V. Miranda y A. Benavides. 2013. Arsénico en agua presencia: Cuantificación analítica y mitigación [en línea]. Library, Colombia. <<https://1library.co/document/y8ggd2rz-arsenico-en-agua-presencia-cuantificacion-analitica-y-mitigacion.html>>. [Consulta: 30 agosto 2021].
2. BCN (Chile). 2022. Clima y vegetación Región del Bio Bío [en línea]. BCN, Chile <<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region8/clima.htm>>. [Consulta: 06 agosto 2022].
3. Blancas, C., E. Hervás. 2001. Contaminación de las aguas por nitratos y efectos sobre la salud. Manuales de Salud Ambiental N°3. Consejería de Salud. Andalucía, España.
4. Bolaños-Alfaro, J.D., G. Cordero y G. Segura. 2017. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnol. Marcha* 30(4): 15-27.
5. Cade-Idepe Consultores en Ingeniería. 2004. Cuenca del Río Bio Bio: Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad [en línea]. MMA, Chile. <<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/BioBio.pdf>>. [Consulta: 15 julio 2021].
6. Cerón, L.E., F.A. Aristizábal. 2012. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en el suelo. *Rev. Colomb. Biotecnol.* 14(1): 285-295.
7. Chapa, C., R. Guerrero. 2010. Eutrofización: Abundancia que mata. *¿Cómoves?* 12(134): 22-25.

8. Chen, C.R. L.M. Condrón and Z.H. Xu. 2008. Impacts of grassland afforestation with coniferous trees on soil phosphorus dynamics and associated microbial processes: A review. *For. Ecol. Manag. Rev.* 255(3-4): 396–409.
9. Cuéllar, L.F., A.M. Mosquera. 2021. Estimación de la vulnerabilidad de las fuentes hídricas superficiales a la contaminación difusa de origen agrícola en la subzona hidrográfica Guachal, valle del Cauca. Tesis de grado, Ingeniera Agrícola. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Cali, Colombia.
10. Custodio, E., M.R. Llamas. 1983. Hidrología subterránea. Tomo 1. (2a. ed.). Ediciones Omega. Barcelona, España.
11. DCPRH (Chile). 2016. Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la Región lib. Bernardo O'Higgins [en línea]. SNIA, Chile. <<https://snia.mop.gob.cl/sad/CQA5583.pdf>>. [Consulta: 08 enero 2022].
12. DCPRH (Chile). 2019. Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de las regiones de Ñuble y del Biobío [en línea]. SNIA, Chile. <<https://snia.mop.gob.cl/sad/CQA5840.pdf>>. [Consulta: 06 enero 2021].
13. DGA (Chile). 2016. Atlas del agua: Chile 2016 [en línea]. SNIA, Chile. <<https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/4371>>. [Consulta: 05 diciembre 2021].

14. Déniz, F.A. 2010. Análisis estadístico de los parámetros DQO, DBO5 y SS de las aguas residuales urbanas en el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa. Tesis doctoral. Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Las Palmas de Gran Canaria, España.
15. DICTUC (Chile). 2019. Mapa hidroquímico de Chile: Informe final [en línea]. SNIA, Chile. <<https://snia.mop.gob.cl/sad/CQA5868.pdf>>. [Consulta: 06 octubre 2022].
16. Durán, M.M., D.A. Ciabato. 2011. Evaluación de los impactos ambientales asociados a la contaminación en agua, suelo y sedimento por cromo y zinc, en los municipios de Tabio y Tenjo - Cundinamarca (Sub-cuenca del Río Chicú). Tesis, Ingeniera Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle, Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá, Colombia.
17. EPA (USA). 2022. Chemical contaminant rules [en línea]. EPA, USA. <<https://www.epa.gov/dwreginfo/chemical-contaminant-rules>>. [Consulta: 12 julio 2022].
18. Everis Chile. 2017. Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca del Biobío [en línea]. Gobierno de Chile. <<https://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/2290>>. [Consulta: 15 octubre 2022].
19. Figueroa, R., O. Parra y M. Díaz. 2020. La cuenca hidrográfica del Río Biobío [en línea]. EULA, Chile.

<<http://www.eula.cl/wpcontent/uploads/2020/04/LIBRO-30-A%C3%91OS-EULA.pdf>>. [Consulta: 18 julio 2021].

20. García, L.A. 2003. Indicadores técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del Río Tascalapa Yoro Honduras Tesis, Magíster Scientiae en Manejo de Cuencas Hidrográficas con sub especialización en Manejo de la Biodiversidad. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Programa de Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación, Escuela de Posgrado. Turrialba, Costa Rica.
21. Gómez, E.B. 2018. Descripción y límites de detección de métodos de análisis de calidad de agua usados a nivel global [en línea]. BCN, Chile. <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/25622/2/informe_Metodos_Analisis_CalidaddeAgua.pdf>. [Consulta: 18 mayo 2022].
22. González, L., M. Mardones, A. Silva y E. Campos. 1999. Hidrogeoquímica y comportamiento del agua subterránea en la cuenca del Río Claro, Región del Biobío, Chile. Rev. Geol. Chile 26(2): 145-157.
23. González, S. 2007. Contaminación difusa de las aguas. Tierra Adentro (77): 21-25.
24. Gormaz, H.C. 2020. Caracterización hidrogeológica, hidrogeoquímica y vulnerabilidad de la cuenca costera entre el Río Biobío y estero Manco. Memoria de título, Geólogo. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Ciencias de la Tierra. Concepción, Chile.

25. Huggins, D.G., J. Anderson. 2005. Dissolved oxygen fluctuation regimes in streams of the western corn belt plains ecoregion [en línea]. ResearchGate, Germany. <https://www.researchgate.net/publication/29867948_Dissolved_oxygen_fluctuation_regies_in_streams_of_the_western_corn_belt_plains_ecoregion>. [Consulta: 17 julio 2022].
26. Infraestructura y Ecología S.A. 2014. Análisis crítico de la red de calidad de aguas superficiales y subterráneas de la DGA [en línea]. SNIA, Chile. <<https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/6762>>. [Consulta: 16 octubre 2022].
27. Instituto Nacional de Normalización. 1978. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. NCh 1333: of. 78 modificada en 1987. Santiago, Chile.
28. Instituto Nacional de Normalización. 2005. Agua Potable - Parte 1 - Requisitos. NCh 409/1: of. 2006. Santiago, Chile.
29. Jiménez, Y., J. Pasquali. 2017. Cobre, plomo y cinc en las aguas subterráneas del norte de Venezuela [en línea]. ResearchGate, Alemania. <<https://www.researchgate.net/publication/319319965>>. [Consulta: 05 febrero 2022].
30. Londoño, M., B. Gómez. 2021. Nitratos y nitritos la doble cara de la moneda. Rev. Nutr. Clín. Metabol. 4(1): 110-119.

31. Martínez, A. 1998. Interpretación ambiental de datos hidrogeoquímica de la laguna continental de Castiñeiras (Pontevedra, SW Galicia). Rev. Geographicalia (36): 101-109.
32. Metcalf & Eddy. 2014. Wastewater engineering: Treatment and resource recovery. (5th. ed.). McGraw-Hill Education. New York, USA.
33. MMA (Chile). 2016. Informe del estado del medio ambiente [en línea]. SINIA, Chile. <<https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/06/IEMA2016.pdf>>. [Consulta: 02 enero 2021].
34. MMA (Chile). 2017. Monitoreo para la vigilancia ambiental de la cuenca del Río Biobío: Informe final [en línea]. MMA, Chile. <http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=28700a60-50ae-44bb-9be8b32eb4b0079d&fname=INFORME_2017_BIOBIO_CENMA_MMA.pdf&access=public>. [Consulta: 10 agosto 2022].
35. Muñoz, B.T. 2019. Calidad del agua en la cuenca del Río Itata. Proyecto de habilitación profesional, Ingeniero Ambiental. Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola. Chillán, Chile.
36. Negrón, S., A. Pimenta. 2014. El hierro y el manganeso en el agua [en línea]. Prcrepository, Puerto Rico. <<https://prcrepository.org/xmlui/handle/20.500.12475/727?show=full>>. [Consulta: 07 octubre 2022].
37. Niemeyer, H. 1980. Hoyas hidrográficas de Chile: Octava Región [en línea]. SNIA, Chile. <<https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/bitstream/handle/20.500.13000>>

/3485/CUH2886v9.pdf?sequence=9&isAllowed=y>. [Consulta: 15 septiembre 2021].

38. Parra, M.A. 2015. Evolución de calidad química del agua superficial registrada en el Río Bío-Bío. Proyecto de título, Ingeniero Civil, Universidad del Bío-Bío, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Concepción, Chile.
39. Piedra, G. 2019. Zinc, un elemento químico muy versátil. Rev. Quím. PUCP 33(1-2): 10-11.
40. Pizarro, J., P.M. Vergara, J.A. Rodríguez, P.A. Sanhueza and S.A. Castro. 2010. Nutrients dynamics in the main river basins of the centre-southern region of Chile. J. Hazard. Mat. 175(1-3): 608-613.
41. Ramírez, A.J., C. San José, 2001. Hierro en la naturaleza. Rev. Anal. Real Acad. Dres. 5: 331-341.
42. Ridanović, L., S. Ridanović, D. Jurica and P. Spasojević. 2010. Evaluation of water temperature and dissolved oxygen regimes in River Neretva [en línea]. ResearchGate, Germany. <https://www.researchgate.net/publication/266880534_Evaluation_of_Water_Temperature_and_Dissolved_Oxygen_Regimes_in_River_Neretva>. [Consulta: 22 octubre 2022].
43. Riley, A.J., W.K. Dodds. 2013. Whole-stream metabolism: Strategies for measuring and modeling diel trends of dissolved oxygen. Freshwater Sci. 32(1): 56-69.

44. Robert, M. 2014. Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable. Rev. CENIC Cienc. Biol. 45(1): 25-36.
45. Rojas, C., A. Chacón, S. Moyano, P. Estay, P. Sepúlveda, J. Ormeño y S. González. 2007. Manejo agroquímicos en sistemas hortícolas. Boletín INIA N°167. INIA La Platina. Santiago, Chile.
46. SAG (Chile). 2005. Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para su uso en riego [en línea]. SAG, Chile. <http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/informe_final.pdf>. [Consulta: 24 marzo 2022].
47. Sánchez, F. 2022. Diagramas de Piper [en línea]. USAL, España. <https://hidrologia.usal.es/Complementos/Representar_Piper_y_Stiff.pdf>. [Consulta: 17 agosto 2022].
48. Seelmann, D.B. 2017. Evaluación del impacto del cambio climático en eventos extremos. Análisis de riesgos de sequías e inundaciones usando métodos simples. Memoria de título, Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil. Santiago, Chile.
49. Sepúlveda, E. 2020. Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del Río Biobío: Informe técnico de cumplimiento de normas de calidad del agua [en línea]. SNIFA, Chile. <<https://snifa.sma.gob.cl/General/Descargar/1104251634>>. [Consulta: 17 mayo 2022].

50. Sigler, W.A., J. Bauder. 2012. Alcalinidad, pH y sólidos disueltos totales [en línea]. Northern Plains and Mountains, USA. <http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf>. [Consulta: 14 septiembre 2022].
51. SiSS (Chile). 2021. Informe de gestión del sector sanitario 2021 [en línea]. SiSS, Chile. <https://www.siss.gob.cl/586/articles-19743_recurso_1.pdf>. [Consulta: 20 noviembre 2022].
52. Teixeira, G., I.A. Sánchez, D. Gebara, M. Dall'Aglio y T. Matsumoto. 2013. Remoción de fósforo de diferentes aguas residuales en reactores aerobios de lecho fluidizado trifásico. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia (67): 172-182.
53. Torre, L.S. de la. 2012. Ciclo bioquímico del cloro [en línea]. Docplayer, España. <<https://docplayer.es/72965888-Ciclo-biogequimico-del-cloro.html>>. [Consulta: 07 enero 2021].
54. Valdovinos, C., O. Parra. 2006. La cuenca del Río Biobío: Historia natural de un ecosistema de uso múltiple [en línea]. EULA, Chile. <<http://www.eula.cl/images/stories/documentos/3.pdf>>. [Consulta: 08 diciembre 2021].

8. ANEXOS.

8.1. Coordenadas de áreas de vigilancia cuenca del Biobío.

Cauce	Código Área de vigilancia	Limites área de vigilancia	Coordenadas UTM		Huso
			N	S	
Biobío	BI-10	Desde: Nacimiento rio Duqueco.	5.771.54 3	310.45 2	19s
		Hasta: Aguas arriba rio Llanquen (Ralco).	5.769.35 5	298.61 8	19s
	BI-20	Desde: Aguas arriba rio Llanquen (Ralco)	5.769.35 5	298.61 8	19s
		Hasta: Ralcahue.	5.822.55 7	243.98 7	19s
	BI-30	Desde: Ralcahue.	5.822.55 7	243.98 7	19s
		Hasta: Aguas arriba confluencia rio Vergara.	5.848.55 1	706.51 4	18s
	BI-40	Desde: Aguas arriba confluencia rio Vergara.	5.848.55 1	706.51 4	18s
		Hasta: Aguas arriba confluencia rio Gamero.	5.881.16 6	692.79 1	18s
	BI-50	Desde: Aguas arriba confluencia rio Gamero.	5.881.16 6	692.79 1	18s
		Hasta: Puente Mecano.	5.921.25 9	672.52 4	18s
	BI-60	Desde: Puente Mecano.	5.921.25 9	672.52 4	18s
		Hasta: Desembocadura boca norte.	5.925.24 1	721.50 0	18s
Bureo	BU-10	Desde: Desde nacimiento rio Bureo.	5.795.89 8	265.05 1	19s
		Hasta: Aguas arriba confluencia rio Biobío.	5.838.10 6	721.50 0	18s

Cause	Código área de vigilancia	Limites área de vigilancia	Coordenadas UTM		Huso
			N	S	
Duqueco	DU-10	Desde Nacimiento rio Duqueco.	5.848.9	282.4	
		Hasta: Rio Duqueco	68	70	19s
		12 km aguas arriba confluencia rio Biobío.	5.841.5 94	737.4 83	18s
Laja	LA-10	Desde: Nacimiento rio Laja.	5.861.8	288.0	
		Hasta: Bajo descarga Central Antuco.	63 5.866.8 08	85 262.4 99	19s 19s
	LA-20	Desde: Bajo descarga Central Antuco.	5.866.8	262.4	
		Hasta: Aguas arriba confluencia rio Caliboro.	08 5.875.0 26	99 721.4 79	19s 18s
	LA-30	Desde: Aguas arriba confluencia rio Caliboro.	5.875.0	721.4	
		Hasta: Puente Laja (Aguas arriba confluencia rio Biobío.	26 5.872.8 04	79 701.9 95	18s 18s
Malleco	MA-10	Desde: Nacimiento rio Malleco.	5.765.9	258.6	
		Hasta: Angol	71 5.816.0 45	34 702.7 90	19s 18s
Renaico	RE-10	Desde: Nacimiento rio Renaico.	5.770.1	263.0	
		Hasta: Aguas arriba confluencia rio Vergara.	74 5.828.8 00	10 707.3 91	19s 18s
Vergara	VE-10	Desde: Nacimiento rio Rehue.	5.778.3	707.2	
		Hasta: Aguas arriba confluencia rio Biobío.	34 5.847.7 41	45 706.4 70	18s 18s

Fuente:(Decreto N°9 de la ley de protección ambiental, 2009)

8.2. Norma secundaria N°9 Niveles de calidad de aguas para las áreas de vigilancia del río Biobío.

Nº	Contaminante	Unidad	BI-10	BI-20	BI-30	BI-40	BI-50	BI-60	BU-10	
	Aluminio									
1	Total	mg/l	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,4	0,4	
2	Amonio	mg N/l	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,02	
	Compuestos orgánicos									
			0,00							
3	halógenos	mg/l	2	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	
4	Cloruro	mg/l	3	7	7	8	8		4	
	Coliformes									
5	fecales	NMP/100 ml	50	50	500	500	1000	1000	1000	
	Conductividad eléctrica									
6		µs/cm	80	90	150	150	150		80	
7	DBO	mg/l	2	2	2	2	2	2	2	
8	DQO	mg/l	5	5	8	8	5	7	9	
9	Fosforo total	mg/l	0,03	0,02	0,04	0,05	0,05	0,07	0,05	
10	Hierro total	mg/l	0,3	0,3	0,3	0,5	0,7	0,3	0,3	
	Índice de									
11	fenol	mg/l	3	4	5	4	4	4	0,003	
12	Nitrato	mg N/l	0,03	0,03	0,15	0,15	0,15	0,2	0,2	
	Nitrito									
13		mg N/l	2	2	3	2	2	0,01	0,006	
	Nitrógeno									
14	Total	mg/l	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	
15	Ortofosfatos	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,1	0,02	
	Oxígeno									
16	disuelto	mg/l	10	10	9	9	8,7	8,7	9	
	pH									
17			6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	
	Solidos suspendidos									
18	totales	mg/l	8	4	7	8	9	8	10	
19	Sulfato	mg/l	5	6	6	14	14		5	

Nº	Contaminante	Unidad	DU- 10	LA- 10	LA- 20	LA- 30	MA- 10	RE- 10	VE- 10
1	Aluminio Total	mg/l	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
2	Amonio	mg N/l	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03
	Compuestos orgánicos			0,00	0,00		0,00	0,00	
3	halógenos	mg/l	0,02	2	6	0,01	2	2	0,03
4	Cloruro	mg/l	4	3	3	3	4	5	6
5	Coliformes fecales	NMP/100 ml	1000	50	50	500	50	50	500
6	Conductividad eléctrica	µs/cm	120	80	95	150	60	60	80
7	DBO	mg/l	2	2	2	2	2	2	2
8	DQO	mg/l	6	3	3	8	6	7	10
9	Fosforo total	mg/l	0,05	0,02	0,02	0,1	0,03	0,02	0,06
10	Hierro total	mg/l	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
11	Índice de fenol	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	Nitrato	mg N/l	3	2	3	3	2	2	4
13	Nitrito	mg N/l	0,2	0,04	0,03	0,15	0,04	0,03	0,2
	Nitrógeno		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
14	Total	mg/l	3	2	3	3	2	2	4
15	Ortofosfatos	mg/l	0,2	0,04	0,03	0,15	0,04	0,03	0,2
16	Oxígeno disuelto	mg/l	3	2	2	2	2	2	0,01
17	pH		0,6	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,4
18	Sólidos suspendidos totales	mg/l	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,05
19	Sulfato	mg/l	9	9	8,7	8,7	10	9	9
			6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
			5	2	2	5	5	5	6
			5	7	6	6	5	5	10

8.3. Norma de calidad de agua N°1333.

Concentraciones máximas de elementos o compuestos químicos establecidos por la Nch 1333 para uso en regadío.

Elemento	Unidad	Límite máximo	MEDIDA POR LA DGA
Aluminio	mg/l	5	SI
Arsénico (As)	mg/l	0,1	SI
Boro (B)	mg/l	0,75	SI
Cadmio (Cd)	mg/l	0,01	SI
Cianuro (CN-)	mg/l	0,2	NO
Cloruro (Cl-)	mg/l	200	SI
Cobalto (Co)	mg/l	0,05	SI
Cobre (Cu)	mg/l	0,2	SI
Cromo (Cr)	mg/l	0,1	SI
Fluoruro (F-)	mg/l	1	NO
Hierro (Fe)	mg/l	5	SI
Litio (Li)	mg/l	2,5	SI
Litio (cátricos) (Li)	mg/l	0,075	NO
Manganeso (Mn)	mg/l	0,2	SI
Mercurio (Hg)	mg/l	0,001	SI
Molibdeno (Mo)	mg/l	0,01	SI
Níquel (Ni)	mg/l	0,2	SI
Plata (Ag)	mg/l	0,2	SI
Plomo (Pb)	mg/l	5	SI
Selenio (Se)	mg/l	0,02	SI
Sodio porcentual (Na)	%	35	SI
Sulfato (So4=)	mg/l	250	SI
Zinc (Zn)	mg/l	2	SI
Conductividad eléctrica	µs/cm	750	SI

Fuente: (Norma chilena N°1333, 1987)

8.4. Norma chilena 409/1 para agua potable.

Concentraciones máximas de elementos o compuestos químicos establecidos por la Nch nº409/1 para agua potable.

Variable	Unidad	Límite máximo	Medido por la DGA
Ph	-	6 - 8,5	SI
Amoniaco	mg/L	0,25	NO
Arsénico	mg/L	0,05	SI
Cadmio	mg/L	0,01	SI
Cianuro	mg/L	0,2	NO
Cloruro	mg/L	250	SI
Cobre	mg/L	1	SI
Compuestos fenolíticos	mg/L	0,002	NO
Cromo	mg/L	0,05	SI
Detergente	mg/L	0,05	NO
Fluoruro	mg/L	1,5	NO
Hierro	mg/L	0,3	SI
Magnesio	mg/L	125	SI
Manganeso	mg/L	0,1	SI
Mercurio	mg/L	0,001	SI
Nitrato	mg/L	10	SI
Nitrito	mg/L	1	SI
Plomo	mg/L	0,05	SI
Residuos sólidos	mg/L	1000	NO
Selenio	mg/L	0,01	SI
sulfato	mg/L	250	SI
Zinc	mg/L	5	SI

Fuente: (INN, 2005)