



Dirección
General de
Aguas
Ministerio de
Obras Públicas

Gobierno de Chile

**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DEPTO. DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS
RECURSOS HÍDRICOS**

MAPA HIDROQUÍMICO DE CHILE

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

DICTUC S.A.

S.I.T. N°448

SANTIAGO, NOVIEMBRE, 2019

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas

Ingeniero Civil Industrial, Sr. Alfredo Moreno Charme

Director General de Aguas

Ingeniero Comercial, Sr. Óscar Cristi Marfil

Jefa Departamento de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos

Ingeniera Civil, Sra. Mónica Musalem Jara

Inspector Fiscal

Ingeniero Ambiental, Sr. Diego San Miguel Cornejo

Inspector Fiscal (s)

Ingeniero Ambiental, Sr. Heriberto Moya Gutiérrez

DICTUC S.A.

Jefe de Proyecto

Ingeniero Civil, Ph.D., Sr. Pablo Pastén González

ESPECIALISTAS

Especialista Calidad de Aguas

Ingeniera Civil, Doctor Cs. Ingeniería, Sra. Alejandra Vega Contreras

Especialista Estadística

Estadística, Ph.D., Sra. Ana María Araneda Levy

Especialista Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Geógrafo, PhD, Sr. Jorge Qüense Abarzúa

Especialista Bases de Datos

Ingeniero Civil de Industrias, Ph.D., Sr. Marcos Sepúlveda Fernández

EQUIPO DE PROFESIONALES

Ingeniero Civil de Industrias, Mag. Cs. Ing., Sr. Guillermo Arce Marín

Estudiante de Ingeniería, Sr. César Meneses Espinoza

AGRADECIMIENTOS

El equipo de DICTUC S.A. agradece a CEDEUS (Proyecto Conicyt/Fondap 15110020). También agradece a Stuart Warner, del UNEP GEMS/Water Capacity Development Centre, y sus colaboradores por la discusión respecto a la implementación del indicador ODS 6.3.2 en Chile.

Para citar bibliográficamente este estudio, se recomienda usar la siguiente forma:

DGA (2019). Mapa Hidroquímico de Chile, SIT N°448, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Conservación de Recursos Hídricos, Santiago, Chile, Realizado por DICTUC S.A.
--

Observaciones iniciales:

- El mapa hidroquímico generado se implementa a través del Observatorio Georreferenciado de la DGA.
- El presente estudio se refiere a red de calidad de agua subterránea y superficial, dejando fuera la red de lagos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción.....	8
1.1	Monitoreo hidroquímico y gestión de la calidad del agua.....	8
1.2	Objetivos del estudio	10
1.3	Alcances.....	11
2	Red de monitoreo de calidad de aguas de la DGA.....	12
2.1	Descripción general	12
2.2	Parámetros y frecuencia de monitoreo	14
3	Análisis y depuración de datos de calidad del agua.....	15
3.1	Conceptos básicos	15
3.1.1	Descripción estadística de datos de calidad del agua.....	18
3.1.2	Análisis de evolución temporal	18
3.1.3	Indicadores e índices de calidad del agua	20
3.1.4	Depuración de bases de datos de calidad del agua	21
3.1.5	Manejo de datos reportados bajo límite de detección o cuantificación..	25
3.2	Aplicación a base de datos DGA	29
3.2.1	Variables reportadas en la BDB	29
3.2.2	Depuración de la base de datos bruta	31
3.2.3	Criterios utilizados para datos censurados	39
3.2.4	Estadísticas descriptivas.....	40
3.2.5	Evolución temporal y tendencias	49
3.2.6	Cálculo de indicadores	57
4	Implementación SQL.....	67
5	Generación de mapas.....	71
6	Taller de difusión	72
7	Referencias	73
8	Anexos	76
8.1	Estaciones de calidad del agua superficiales vigentes	76
8.2	Parámetros medidos en red de monitoreo DGA	77
8.3	Información adicional sobre la BDB y su depuración	80

8.4	Tendencias	91
8.5	Información adicional sobre cálculo de ICA	105
8.6	Registro del taller de difusión.....	107
8.6.1	Fotografías	107
8.6.2	Asistentes	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros medidos en red de monitoreo DGA.	14
Tabla 2. Extracto de datos censurados en estación Mapocho en Los Almendros.	16
Tabla 3. Criterios de depuración utilizados en estudios de calidad del agua.	22
Tabla 4. Aplicación de criterios de identificación de <i>outliers</i>	25
Tabla 5. Extracto de datos de la BDB de calidad de agua.	30
Tabla 6. Tipos de variables en BDB entregada por DGA.	30
Tabla 7. Caracteres en BDB, que indican el tipo de dato.	31
Tabla 8. Resumen estadístico de ejemplo para estación y parámetro con menos de 20% de datos censurados.	45
Tabla 9. Resumen estadístico por estación y parámetro de ejemplo para estación y parámetro con entre un 20% y 80% de datos censurados.	46
Tabla 10. Resumen estadístico por estación y parámetro de ejemplo para estación y parámetro con más de 80% de datos censurados.	47
Tabla 11: Definición de trimestres usada para evaluar la suficiencia de número de muestras por estación para el análisis de tendencias.	51
Tabla 12. Extracto de validación de suficiencia de datos en estaciones y parámetros para análisis de tendencias.	55
Tabla 13. Extracto de resultados de análisis de tendencia.	56
Tabla 14. Parámetros alternativos a los parámetros básicos recomendado.	57
Tabla 15. Resultado de indicador de aguas superficiales por estación (ejemplo).	62
Tabla 16. Resultado de indicador de aguas superficiales por cuenca (ejemplo).	62
Tabla 17. Resultado de indicador de aguas superficiales a nivel país.	65
Tabla 18. Resultado de indicador de aguas superficiales a nivel país, considerando cuencas con % cumplimiento para los 5 parámetros.	66
Tabla 19. Parámetros y su metodología.	77
Tabla 20. Estaciones con datos.	80
Tabla 21. Parámetros con datos.	83
Tabla 22. Estaciones en BDB.	84
Tabla 23: Detalle de datos duplicados en base de datos DGA.	90
Tabla 24. Relación de nombres.	91
Tabla 25. Inclusión de estaciones superficiales en análisis de tendencia.	93
Tabla 26. Análisis de tendencia en estaciones superficiales.	99
Tabla 27. Estaciones superficiales vigentes con las cuales se calcula el ICA.	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Enfoque para la toma de decisiones y políticas públicas orientadas a mejorar y proteger la calidad del agua.	9
Figura 2. Proceso de generación de datos de calidad de agua de la DGA.	12
Figura 3. Distribución de estaciones de monitoreo de calidad de agua con medición superficial o subterránea (vigentes y suspendidas).	13
Figura 4. Serie de datos de conductividad eléctrica en estación Mapocho en Los Almendros (1980-2020). El círculo negro indica un valor identificado como <i>outlier</i>	15
Figura 5. Histograma de conductividad eléctrica en estación Mapocho en Los Almendros (<i>outliers</i> excluidos).	16
Figura 6. Serie de datos de conductividad eléctrica en estación Mapocho en Los Almendros (1980-1985).	17
Figura 7. Concentración de Sólidos Disueltos Totales vs Caudal en el Río Arkansas. ...	18
Figura 8. Reglas de decisión para la selección de un test estadístico para análisis de tendencias en ESTREND.	20
Figura 9. Histograma por método de sustitución simple. Esta figura es solamente referencial, razón por la cual los valores censurados son una fracción superior al 20% recomendado en otros estudios.	26
Figura 10. Método de distribución (MLE) para el cálculo de estadísticos descriptivos..	27
Figura 11. Método robusto para el cálculo de estadísticos descriptivos.....	28
Figura 12. Ejemplo de gráfico boxplot para calidad del agua.	48
Figura 13. Ejemplo de gráfico concentración v/s tiempo.	50
Figura 14. Bosquejo diseño base de datos con orientación analítica para almacenar mediciones históricas brutas (BDB).	68
Figura 15. Bosquejo diseño base de datos con orientación analítica para almacenar mediciones históricas depuradas (BDD).	69
Figura 16. Esquema de manejo de datos.	70
Figura 17. Programa del taller de difusión de los resultados.	72
Figura 18. Ubicación de estaciones superficiales vigentes.	76

LISTA DE SIGLAS

BDB	Base de Datos Bruta
BDD	Base de Datos Depurada
BNA	Banco Nacional de Aguas
CA	Estaciones de monitoreo de calidad del agua asociadas a cursos de agua y aguas subterráneas, en campo xIndChr de la BDB
DCPRH	Departamento de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos
DGA	Dirección General de Aguas
EEA	European Environment Agency
ETL	Extract, Transform and Load (Extraer, transformar y cargar)
LE	Estaciones de monitoreo de calidad del agua asociadas a lagos y embalses, en campo xIndChr de la BDB
MLE	Maximum-Likelihood Estimation (Estimación de máxima verosimilitud)
NAWQA	National Water-Quality Assessment
NCh	Norma Chilena
NSCA	Norma Secundaria de Calidad del Agua
ODS	Objetivo de Desarrollo Sostenible
Robust ROS	Robust Regression on Order Statistics (Regresión robusta en estadística de orden)
SQL	Structured Query Language (Lenguaje de consulta estructurada)
USGS	United States Geological Survey
WBGQ	Water Bodies of Good Quality (Cuerpos de agua de buena calidad)

1 INTRODUCCIÓN

Este Informe presenta el contexto, aspectos metodológicos, y principales resultados de la elaboración del Mapa Hidroquímico de Chile. El principal resultado es un conjunto de mapas y una base de datos geoespacial diseñada para ser consultada a través de la plataforma del Observatorio Georreferenciado de la Dirección General de Aguas. Los datos hidroquímicos brutos provienen del registro de mediciones disponibles de la Red de Monitoreo de Calidad de Aguas de la DGA desde 1959 hasta 2018, y que fueron depurados a través criterios y métodos estadísticos presentados más adelante en este informe.

Primero, se presenta el rol de los datos hidroquímicos y el monitoreo en la gestión de la calidad del agua (Sección 1.1), los objetivos del estudio (sección 1.2) y sus alcances (sección 1.3). Posteriormente, se realiza una descripción de la red de monitoreo de la DGA, fuente de los datos utilizados en el desarrollo de este estudio (sección 2).

Luego, se presentan conceptos básicos del análisis de datos de calidad del agua (sección 3.1), incluyendo la descripción estadística de los datos, el análisis temporal de los datos, el desarrollo de indicadores e índices de calidad del agua, la depuración de base de datos de calidad de agua y el manejo de datos censurados. Posteriormente, se presenta la aplicación de estos aspectos a la base de datos de la DGA (sección 3.2), en el cual se detalla la metodología utilizada a través de ejemplos y se presentan los resultados.

Finalmente, se presenta la implementación de la base de datos en SQL (sección 4) y la generación de mapas para visualizar los resultados (sección 5).

1.1 Monitoreo hidroquímico y gestión de la calidad del agua

El mejoramiento y la protección de la calidad del agua es clave en la gestión del agua, en tanto una degradación de la calidad del agua puede limitar la disponibilidad del recurso hídrico tanto para usos humanos (p. ej. consumo humano, agricultura, industria) como para los ecosistemas (United Nations Environment Programme, 2008). En este sentido, la generación de información relativa a calidad del agua, tanto de aguas superficiales como subterráneas, es relevante para la evaluación del estado de los recursos hídricos. En efecto, el monitoreo y vigilancia de la calidad del agua es, a nuestro juicio, parte de un mejoramiento continuo de herramientas y conocimiento para la toma de decisiones y el desarrollo de políticas públicas relacionadas a la gestión de la calidad del agua, junto al desarrollo de modelos conceptuales y modelos cuantitativos (Figura 1).



Figura 1. Enfoque para la toma de decisiones y políticas públicas orientadas a mejorar y proteger la calidad del agua. Fuente: Pastén, Vega, Guerra, Pizarro, & Lizama (2019).

Diversas instituciones a nivel internacional llevan a cabo programas de monitoreo de calidad del agua. Por ejemplo, el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) implementó el proyecto NAWQA (*National Water-Quality Assessment*) en el año 1991, para evaluar "dónde, cuándo, por qué y cómo ha cambiado la calidad del agua de ese país, o puede cambiar en el futuro, en respuesta a actividades humanas y factores naturales" (U.S. Geological Survey, n.d.-a). En relación a aguas superficiales, el USGS genera mapas regionales de la calidad del agua (U.S. Geological Survey, n.d.-b), mapas de tendencias de calidad del agua a nivel nacional (U.S. Geological Survey, n.d.-c) y mapas identificando las principales fuentes de contaminantes (U.S. Geological Survey, n.d.-d).

En Europa, la Directiva Marco del Agua establece que los Estados deberán implementar programas de monitoreo de la calidad del agua, incluyendo el estado químico y ecológico, así como los lineamientos para tales planes (Publication Office of the European Union, 2000). La consolidación de los datos está a cargo de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, por sus siglas en inglés), que estableció una red de monitoreo llamada Eionet-Water (European Environment Agency, n.d.-a). La información generada por esta red está disponible en una base de datos llamada Waterbase, en la cual también se puede acceder a gráficos (de barras y tendencias) con información de calidad del agua (European Environment Agency, n.d.-b).

En el caso de Chile, la Dirección General de Aguas (DGA), a través del Departamento de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos (DCPRH), tiene encargado generar y publicar información de calidad de aguas superficiales y subterráneas, de acuerdo con lo dispuesto en el Código de Aguas. Esta información ha sido utilizada con diversos fines, entre ellos la investigación científica, donde se incluye la publicación de artículos científicos (p. ej. Pizarro et al., 2010) y libros (Pastén et al., 2019, Vega et al., 2018). En esa misma línea, es relevante indicar que en esos dos libros ya se han realizado mapas hidroquímicos de Chile, aunque con un alcance menor al solicitado en este estudio. Otro uso relevante de la información de la DGA es la evaluación del avance en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En particular, la información de la DGA ha sido usada para calcular el indicador ODS 6.3.2 "Porcentaje de cuerpos de agua de buena calidad", aunque sólo en 6 cuerpos de agua (p. ej. Gobierno de Chile, 2017).

A pesar de que la información de la DGA ha sido utilizada previamente con diversos fines, dicha información está principalmente disponible en formato tabular, lo que dificulta su visualización para, por ejemplo, identificar variaciones espaciales y temporales en calidad de agua. Por esto, la DGA encargó la sistematización de los datos de calidad de agua generados por su red de monitoreo en una base de datos, el análisis estadístico y el cálculo de indicadores, y la generación de mapas que presenten los resultados de este análisis.

1.2 Objetivos del estudio

En base a lo anterior, el objetivo principal del presente estudio, denominado "Mapa Hidroquímico de Chile", es contar con mapas hidroquímicos que incorporen una visualización de estadísticas, tendencias e índices de calidad del agua a partir de los datos recogidos desde las estaciones de calidad de aguas superficiales y subterráneas de la DGA.

Los objetivos específicos, en tanto, son:

- Implementar la base de datos en motor de base de datos
- Establecer una metodología de depuración de los datos de calidad del agua
- Generar estadísticas descriptivas de la calidad de aguas superficiales
- Presentar gráficamente la evolución temporal y tendencias de parámetros de calidad del agua
- Calcular indicador ODS 6.3.2 "Proporción de cuerpos de agua de buena calidad"
- Generar mapas para visualizar los resultados obtenidos

1.3 Alcances

Los alcances de este estudio son los siguientes:

- La base de datos de calidad del agua corresponde a la entregada en los anexos de las bases de la licitación; es decir, contiene información hasta el 19 de noviembre de 2018.
- La información relacionada a estaciones de monitoreo y parámetros corresponde a aquella entregada por el Mandante vía correo electrónico, con fecha 9 de octubre y 21 de junio de 2019, respectivamente, reemplazando aquella entregada en los anexos de las bases de la licitación.
- Los análisis realizados están sujetos a las limitaciones impuestas por la información disponible y la metodología solicitada por el mandante. A modo de ejemplo, el cálculo de indicador ODS 6.3.2 "Proporción de cuerpos de agua de buena calidad" se realizó con los datos actualmente disponibles (2015 – 2018), pese a que en teoría debería calcularse con los datos del periodo 2015 – 2019 y con la metodología detallada por la DGA, donde los cuerpos de agua corresponden a las cuencas.
- Las estaciones analizadas corresponden a aguas superficiales – ríos – y aguas subterráneas; es decir, se excluyen aquellas que corresponden a lagos y embalses. El archivo de estaciones corregido entregado por el mandante sólo incluye este tipo de estaciones, estaciones superficiales y subterráneas. Específicamente no se consideran los datos de la base de calidad del agua identificados con "LE" en el tipo y aquellos datos de estaciones no incluidas en el archivo de estaciones.
- Se consideró la entrega de *shapes* para generar los mapas en el Observatorio Georreferenciado de la DGA

2 RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUAS DE LA DGA

2.1 Descripción general

La DGA, en atención a su misión de generar información relativa a calidad del agua, dispone de una red de monitoreo de calidad de agua, tanto para aguas superficiales (ríos, lagos, embalses) como subterráneas. Para ello, se encarga de realizar el monitoreo (medición *in-situ* y toma de muestras), analizar las muestras y la publicación de los resultados, de acuerdo a los pasos indicados en la Figura 2.

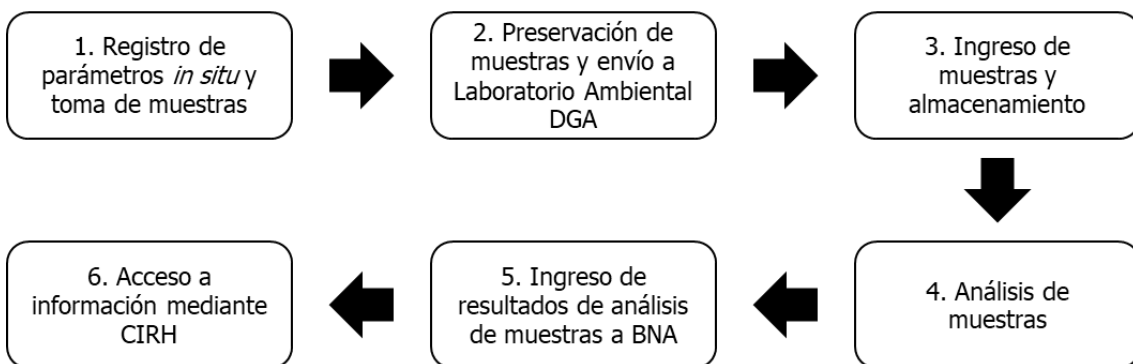


Figura 2. Proceso de generación de datos de calidad de agua de la DGA. Fuente: Dirección General de Aguas (2019b).

De acuerdo con el listado corregido de estaciones entregado por el mandante, la red de monitoreo de la DGA cuenta con 1.472 estaciones de monitoreo de tipo superficiales y subterráneas (sin incluir lagos y embalses), de las cuales 989 se encuentran vigentes y 483 se encuentran suspendidas a octubre de 2019. La distribución nacional de las estaciones que se incluirán en el estudio se puede observar en la Figura 3, las cuales corresponden a estaciones superficiales y subterráneas (según información actualizada por el mandante). En el Anexo 8.1, por su parte, se muestran las estaciones vigentes superficiales que fueron incluidas en el cálculo del ODS 6.3.2.

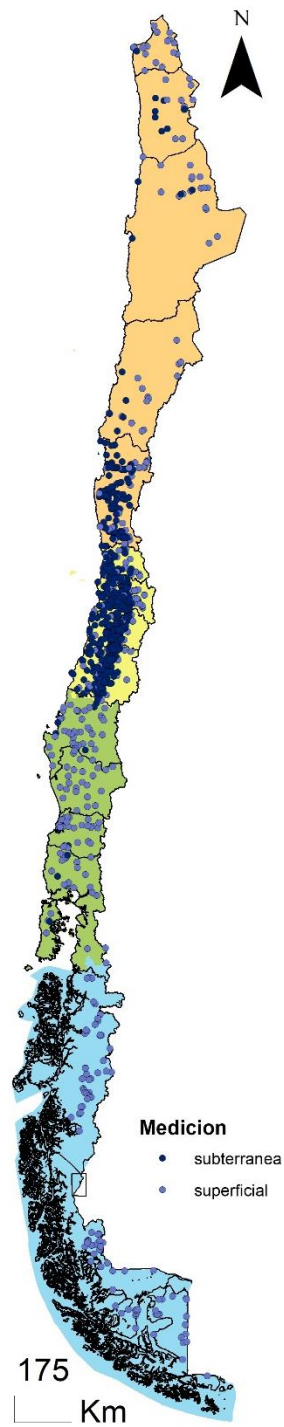


Figura 3. Distribución de estaciones de monitoreo de calidad de agua con medición superficial o subterránea (vigentes y suspendidas). Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA.

2.2 Parámetros y frecuencia de monitoreo

La red de monitoreo de la DGA contempla la medición de diversos parámetros, entre los que se incluyen parámetros básicos, macroelementos, metales, nutrientes y compuestos orgánicos. La Tabla 1 detalla los parámetros que son medidos en forma regular.

Tabla 1. Parámetros medidos en red de monitoreo DGA. Fuente: Elaboración propia en base a Dirección General de Aguas (2014) y Dirección General de Aguas (2017).

Categoría	Parámetros
Parámetros básicos	pH, conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto
Macroelementos	Cloruro, calcio, magnesio, sodio, potasio, sulfato
Metales (totales)	Arsénico, aluminio, cromo, cadmio, cobre, plomo, mercurio, zinc, cobalto, hierro, manganeso, molibdeno, níquel, selenio, plata
Nutrientes	Nitrato, nitrito, ortofosfato (o fosfato), boro
Compuestos orgánicos	Demanda química de oxígeno y/o demanda bioquímica de oxígeno

Además de los parámetros indicados en la tabla anterior, la DGA ocasionalmente ha medido otros parámetros. Un listado completo de los parámetros medidos por la DGA, independiente de su regularidad, se presenta en el Anexo 8.2.

La frecuencia del monitoreo depende principalmente del tipo de cuerpo de agua. Para la mayor parte de las estaciones de la red, 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).

No obstante, tanto los parámetros medidos como la frecuencia pueden variar si la estación está considerada en el plan de monitoreo de una norma secundaria de calidad del agua (NSCA). A la fecha, solo 5 cuencas cuentan con NSCA vigente: Río Serrano, Río Maipo, Río Bío-Bío, Lago Llanquihue, Lago Villarrica.

3 ANÁLISIS Y DEPURACIÓN DE DATOS DE CALIDAD DEL AGUA

3.1 Conceptos básicos

Las bases de datos de recursos hídricos pueden registrar información de diverso tipo (p. ej. caudales, parámetros de calidad, fecha de las mediciones). Estas bases de datos frecuentemente tienen las siguientes características, según Helsel and Hirsch (2002b):

- a) Los valores son todos positivos, no existen valores negativos. Tienen un límite inferior de cero, ya que representan un valor que debe ser posible en la naturaleza y es medido mediante técnicas analíticas. No obstante, existen excepciones como, por ejemplo, mediciones de temperatura.
- b) Presencia de *outliers* o valores extremos. Estos valores corresponden a datos muy altos o bajos con respecto al resto, los que no son frecuentes, pero pueden ocurrir. Los *outliers* en datos de recursos hídricos generalmente son valores altos. Un ejemplo de *outlier*, identificado de acuerdo a un criterio objetivo especificado en la sección 3.2.2 se presenta en la Figura 4.

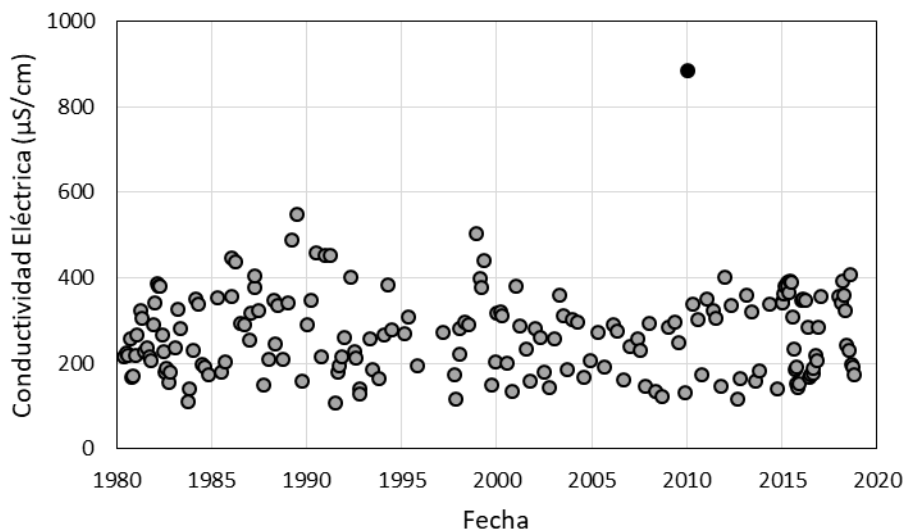


Figura 4. Serie de datos de conductividad eléctrica en estación Mapocho en Los Almendros (1980-2020). El círculo negro indica un valor identificado como *outlier*. Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA.

- c) Existencia de asimetría o sesgo positivo. Debido a a) y b), los valores tienden a agruparse en las primeras clases. Los datos de conductividad eléctrica en Mapocho en Los Almendros (Figura 5) ejemplifican esta tendencia.

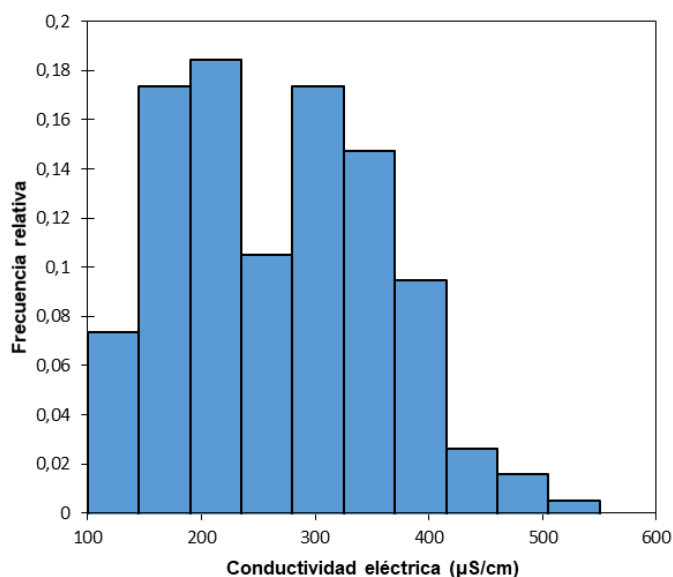


Figura 5. Histograma de conductividad eléctrica en estación Mapocho en Los Almendros (outliers excluidos).

Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA.

- d) Distribución no-normal de los datos, debido a los puntos anteriores. Esto dificulta utilizar test estadísticos que asumen normalidad de los datos.
- e) Existencia de observaciones censuradas, reportadas bajo o sobre un límite, de modo que no es posible conocer su verdadero valor. Usualmente, los datos censurados corresponden a datos bajo un límite de detección o cuantificación, que corresponde a una limitación de las técnicas analíticas utilizadas para medir la calidad del agua.

Estos datos deben ser estimados para poder generar estadísticas de resumen y realizar test estadísticos. A esta dificultad se suma que las técnicas de medición pueden variar en el tiempo o que los análisis se realicen en diferentes laboratorios, pudiendo cambiar sus límites de detección o cuantificación. La Tabla 2 presenta un ejemplo de datos censurados (menores a un límite, que se identifican mediante la variable IndTipo "<") en la estación Mapocho en Los Almendros, que además fueron medidos con técnicas analíticas distintas (ParCodigo 8103 y ParCodigo 8104 representan cadmio total medido por espectrofotometría de absorción atómica e ICP-OES, respectivamente).

Tabla 2. Extracto de datos censurados en estación Mapocho en Los Almendros. Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA.

EstCodigo	ParCodigo	AguFecha	AguHora	AguProfundidad	AguValor	xIndChr	IndTipo
5722002	8103	27-05-2008	15:30:00	0,01	0,01	CA	<
5722002	8103	26-09-2008	11:56:00	0,002	0,002	CA	<
5722002	8104	11-11-2013	14:40:00	0,004	0,004	CA	<

- f) Existencia de tendencias estacionales, es decir, que los valores tiendan a ser más altos o más bajos en ciertas estaciones del año. Esta situación puede observarse en el extracto de mediciones de conductividad eléctrica en la estación Mapocho en Los Almendros para el periodo 1980 - 1985 (Figura 6).

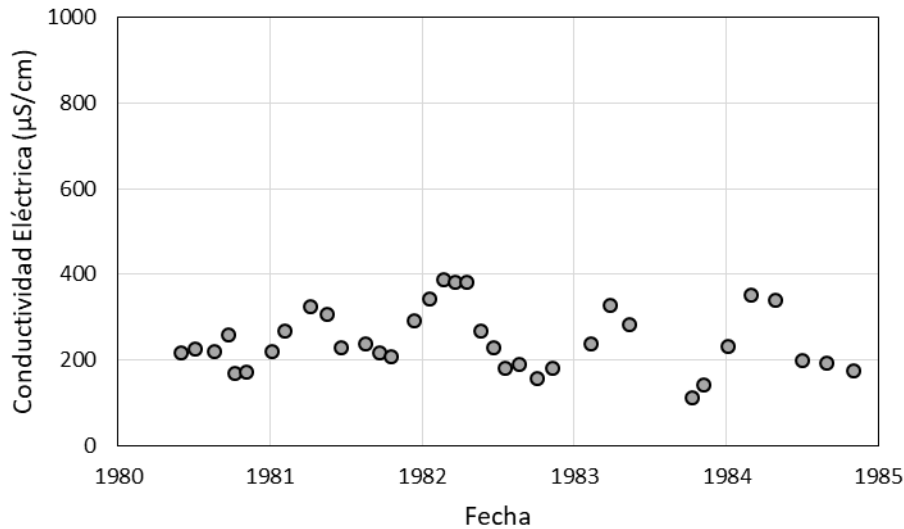


Figura 6. Serie de datos de conductividad eléctrica en estación Mapocho en Los Almendros (1980-1985). Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA.

- g) Autocorrelación, lo cual significa que observaciones consecutivas tienden a estar correlacionadas. En recursos hídricos, esta autocorrelación es usualmente positiva, es decir, mediciones altas son seguidas por valores altos y mediciones bajas son seguidas por valores bajos.
- h) Dependencia con otras variables no medidas. Por ejemplo, se ha visto que variables como los sólidos disueltos totales están relacionadas con el caudal; en particular, que a mayor caudal las concentraciones son menores (por dilución), como puede apreciarse en la Figura 7.

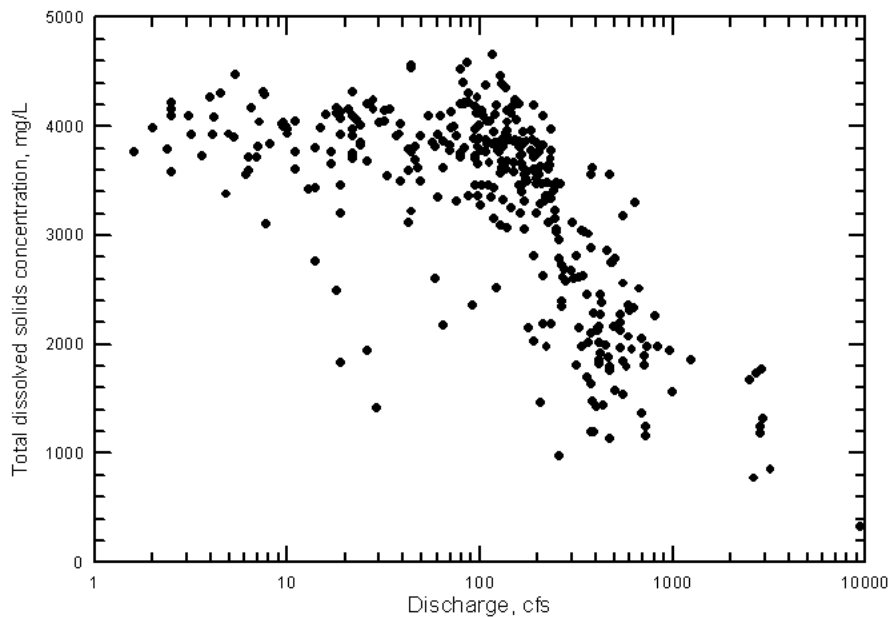


Figura 7. Concentración de Sólidos Disueltos Totales vs Caudal en el Río Arkansas. Fuente: Kansas Geological Survey (2001).

3.1.1 Descripción estadística de datos de calidad del agua

Una base de datos de calidad del agua puede contener una cantidad importante de datos, lo que hace que estos sean difíciles de manejar individualmente. Por esto, es útil resumir la información a través de estadísticos descriptivos que reflejen características relevantes de los datos. En particular, usualmente se describe la ubicación de los datos (medidas de posición como la media), la variabilidad de los datos (medidas de dispersión como la varianza) y la simetría de los datos (medidas de asimetría) (Helsel and Hirsch, 2002b).

Esta descripción estadística también permite escoger apropiadamente procedimientos estadísticos más avanzados para analizar esta información (Helsel and Hirsch, 2002b). Por ejemplo, muchas pruebas estadísticas comunes asumen normalidad en los datos, característica que usualmente no presentan las bases de datos de calidad del agua.

3.1.2 Análisis de evolución temporal

La información contenida en una base de datos de calidad de agua puede constituir una serie de tiempo (registro de un parámetro específico a lo largo del tiempo), por lo que es posible estudiar la presencia de tendencia y estacionalidad, de acuerdo a la siguiente ecuación (Lehmann and Rode, 2001):

$$Y_t = m_t + s_t + X_t$$

donde Y_t corresponde al valor medido de un parámetro de calidad del agua, m_t y s_t corresponden a la tendencia y a la componente estacional, respectivamente, y X_t es un error o ruido aleatorio.

Como se mencionó anteriormente, las series de tiempo de datos de calidad del agua tienen características particulares, que pueden no ser compatibles con los supuestos de las técnicas estadísticas convencionales. Esto incluye falta de normalidad, existencia de tendencias estacionales, datos faltantes, presencia de datos censurados y *outliers* (Schertz et al., 1991). Debido a esto, uno de los test estadísticos ampliamente utilizados en datos hidroquímicos es la prueba no paramétrica de Kendall estacional (Hirsch and Slack, 1984) para detectar tendencias monótonas en series temporales con presencia de estacionalidad, el cual es un test robusto y más conservador ya que requiere menos supuestos en la calidad de los datos (Oelsner et al., 2017). Por otra parte, la presencia de datos censurados puede ser considerada utilizando modelos de regresión Tobit (Schertz et al., 1991).

Los datos de calidad del agua que se recopilan a una frecuencia de muestreo constante y que refleje la variabilidad estacional durante un período de tiempo determinado generan un número uniforme de valores que se pueden comparar fácilmente en una prueba de tendencia como Kendall estacional; sin embargo, cambios en la frecuencia o falta de información puede generar problemas en los análisis.

El USGS generó un paquete estadístico para análisis de series de tiempo de calidad de agua llamado ESTimate TREND (ESTREND), el cual realiza las pruebas de Kendall estacional y Tobit para identificar tendencias en los datos. Las reglas de selección del método se presentan en la Figura 8. Este paquete es compatible con los paquetes estadísticos S-PLUS (S-ESTREND) (Staub et al., 2010) y R (RESTREND) (U.S. Geological Survey, 2016). Adicionalmente, existen otros paquetes de R que permiten realizar el test de Mann-Kendall estacional (Marchetto, 2017, McLeod, 2011, Pohlert, 2018), así como el complemento XLStat de Microsoft Excel (Addinsoft, 2018).

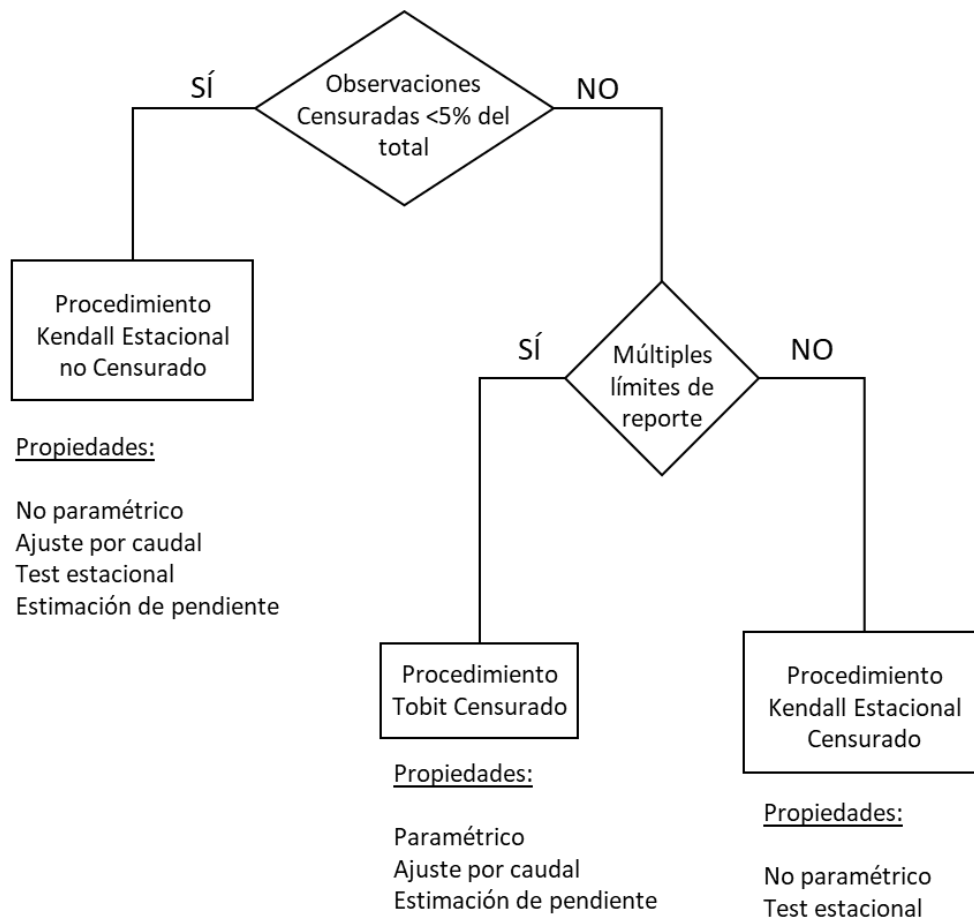


Figura 8. Reglas de decisión para la selección de un test estadístico para análisis de tendencias en ESTREND.
 Fuente: Traducido de Schertz et al. (1991).

3.1.3 Indicadores e índices de calidad del agua

La calidad del agua es compleja de determinar y describir, en tanto esta está determinada por un número importante de parámetros. Más aún, el concepto de “buena” calidad del agua está sujeta al uso del agua, el que determina qué parámetros son relevantes y en qué nivel son adecuados y/o aceptables. Por esto, el uso de indicadores o índices¹ permite resumir la complejidad de la calidad del agua en un valor único que es más fácil de entender. De esta forma, los indicadores e índices de calidad del agua pueden ayudar a la toma de decisiones (p. ej. asignación de recursos), al monitoreo de tendencias, a la presentación de información pública y a la investigación científica (Abassi and Abassi, 2012).

¹ En forma estricta, un índice es un valor que sintetiza y se determina a partir de múltiples indicadores.

3.1.4 Depuración de bases de datos de calidad del agua

Los valores de una base de datos pueden presentar errores de distinto origen, tanto humanos (p. ej. errores de digitación al ingresar datos) como analíticos (p. ej. errores en el muestreo o en la medición instrumental). Así, antes de realizar los análisis indicados en las secciones anteriores, es necesario identificar (en lo posible) y remover estos datos del análisis. Esta depuración puede llevarse a cabo considerando diferentes criterios y las características propias de las bases de datos de calidad del agua. Una comparación de los criterios utilizados en distintos estudios de calidad del agua se presenta en la Tabla 3. Si bien los *outliers* no necesariamente constituyen datos erróneos, si se considera su identificación dentro del proceso de depuración. Además, se debe evaluar su inclusión o exclusión dependiendo del objetivo del análisis a realizar.

Tabla 3. Criterios de depuración utilizados en estudios de calidad del agua. Fuente: Elaboración propia.

Referencia	Identificación / Eliminación de outliers	Cumplimiento de límites físicos	Existencia de relaciones físicas entre parámetros	Existencia de correlaciones entre parámetros	Tratamiento de valores censurados	Otros criterios
CADE-IDEPE (2003)	Test de Dixon	Límites de detección	Balance de carga (equivalencia cationes y aniones)	Correlación entre conductividad eléctrica e iones	-	-
Ministerio de Medio Ambiente (2017)	Valores fuera del rango definido por la media \pm 3 veces la desviación estándar	-	-	-	-	-
Environmental Protection Agency (2000)	Test de Dixon Prueba de discordancia Test de Rosner Test de Walsh	-	-	-	Sustitución de datos Media truncada Ajuste de Cohen Test de proporciones	-
Hem (1985)	-	-	-	Correlación entre sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica	-	-
Brown et al. (2003)	Valores fuera del rango definido por el mínimo de un periodo histórico y el percentil 75 más 1,5 veces el rango intercuartil	-	-	-	-	-

Tabla 3 (continuación). Criterios de depuración utilizados en estudios de calidad del agua.

Oelsner et al. (2017)	Valores fuera del rango definido por la media \pm 6 veces la desviación estándar (luego de transformación logarítmica)	Valores positivos	-	-	Remoción de datos ">" Inclusión de datos "<" o dentro de un intervalo si estos datos son menos del 50% del total. En el caso de datos "<", se reemplaza por el valor de censura reportado o, en caso de no existir, por el menor valor no censurado. No indica tratamiento en el caso de intervalos.	Identificación y remoción de duplicados Remoción de valores estimados en terreno (p. ej. sólidos disueltos estimados a partir de conductividad eléctrica)
Helsel and Hirsch (2002a)	-	-	-	-	Sustitución de datos Ajuste de distribuciones Métodos robustos	-

A continuación se detallan algunos de los criterios indicados en la tabla anterior:

a) Calidad de los datos en base a su metodología

Se debe evaluar que las metodologías utilizadas para la medición de los distintos parámetros hayan sido aplicadas correctamente y que sean adecuadas para el objetivo del estudio.

b) El cumplimiento de límites físicos y analíticos

Los valores reportados deben tener significado físico (e.g. las concentraciones deben ser iguales o mayores a 0) y también deben estar acorde a los límites analíticos que imponen los métodos utilizados para su medición (e.g. valores deben ser superiores al límite de detección de la técnica analítica).

c) El cumplimiento de relaciones físicas y correlaciones entre parámetros

Los valores reportados deben cumplir principios químicos básicos como el de la electroneutralidad (o balance iónico); es decir, que la suma de los aniones debe corresponder a la suma de los cationes, ambos expresados en equivalentes químicos. De acuerdo a Koterba et al. (1991), el error en el balance iónico (EBI) es aceptable si su valor se encuentra dentro de los siguientes límites:

$$[EBI_{P75} + (1,5 \times RIC)] > EBI > [EBI_{P25} - (1,5 \times RIC)],$$

Donde EBI_{P25} y EBI_{P75} corresponden al percentil 25 y 75 de los EBI de todas las muestras y el RIC corresponde al rango intercuartil (diferencia entre EBI_{P75} y EBI_{P25}).

Otro criterio es considerar que el EBI sea menor a un porcentaje de error aceptable, un valor típicamente usado 5% (Freeze and Cherry, 1979).

Además, se debe verificar la presencia de correlaciones entre variables. Por ejemplo, existe una correlación entre la conductividad con los sólidos disueltos totales. Usualmente se considera que la concentración de sólidos disueltos totales (en mg/L) debería ser entre 0,55 y 0,75 veces la conductividad eléctrica (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Hem, 1985).

d) Identificación de outliers

La identificación de *outliers* o valores extremos corresponde a la detección de valores que presentan diferencias significativas con respecto a la totalidad de los datos. Estos valores extremos pueden deberse a un error del monitoreo o análisis (incluidos errores de tipeo o contaminación de la muestra), influencia antrópica (vertido de aguas

residuales o accidente en proceso productivo) o variación natural. El criterio de identificación puede ser la determinación de valores fuera de algún rango definido o la aplicación de un test estadístico (Environmental Protection Agency, 2000). Ejemplos de criterios de identificación de *outliers* y los objetivos para los cuales fueron utilizados se presentan en la Tabla 4. Y dependiendo del objetivo del análisis se debe evaluar si incluirlos o no.

Tabla 4. Aplicación de criterios de identificación de *outliers*. Fuente: Elaboración propia.

Criterio	Objetivo	Referencia
Rango definido por el promedio de los datos ± 3 desviaciones estándar	Para evaluar y definir Normas Secundarias de Calidad de Agua	Ministerio de Medio Ambiente (2017)
Rango definido por el promedio de los datos ± 6 desviaciones estándar	Quitar errores de tipeo para análisis de tendencia	Oelsner et al. (2017)
Rango definido por Q1 - 1,5 Distancia intercuartil y Q3 + 1,5 Distancia intercuartil	Quitar o identificar valores extremos	Criterio típico en estadística, usado para generar representaciones gráficas de los datos (boxplots)
Rango definido por Q1 - 3 Distancia intercuartil y Q3 + 3 Distancia intercuartil	Quitar valores muy extremos	Criterio típico en estadística, usado para generar representaciones gráficas de los datos (boxplots) Recomendación de especialista en estadística para datos de calidad del agua, ya que no distribuyen normal Vega et al. (2018), Pastén et al. (2019)
Test de Dixon	Diagnóstico y clasificación de cuerpos de agua según objetivos de calidad	CADE-IDEPE (2003)
Test estadístico Rosner's test, Dixon's test		Environmental Protection Agency (2000)

3.1.5 Manejo de datos reportados bajo límite de detección o cuantificación

Para trabajar sobre bases de datos que incluyen datos reportados como bajo un límite de cuantificación o detección (" $<$ "), existen tres grandes grupos de métodos para el cálculo de estadísticos descriptivos:

a) Método de sustitución simple

En los métodos de sustitución simple, el valor bajo el límite de cuantificación es sustituido por un valor entre 0 y el límite reportado (Sanford et al., 1993, Helsel and Hirsch, 2002a). El método más utilizado corresponde a sustituir por la mitad del valor límite reportado, es decir, un factor de reemplazo de 0,5 veces el límite reportado (Figura 9).

Posteriormente, los estadísticos son calculados considerando todos los datos, incluidos los datos sustituidos. Es un método ampliamente usado por su simpleza, pero si hay muchos datos bajo el límite de detección, podría entregar resultados no realistas, por lo que se recomienda su uso hasta un máximo de 15% de datos censurados (Environmental Protection Agency, 2000). No obstante, otros autores han reportado buenos resultados hasta un 20% de datos censurados (Sanford et al., 1993).

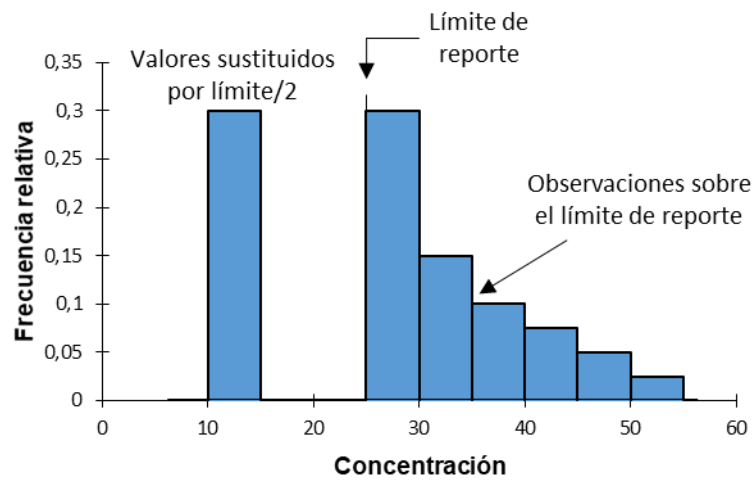


Figura 9. Histograma por método de sustitución simple. Esta figura es solamente referencial, razón por la cual los valores censurados son una fracción superior al 20% recomendado en otros estudios. Fuente: Adaptado de Helsel and Hirsch (2002a).

b) Método de distribución

Los métodos de distribución asumen y ajustan una distribución de probabilidad a los datos, con lo que se busca que los datos bajo sigan la distribución ajustada a los datos conocidos. Usualmente se usa una distribución log-normal y el método de estimación de máxima verosimilitud (MLE, por siglas en inglés *maximum-likelihood estimation*) (Figura 10a). Las estadísticas se calculan en base a la distribución ajustada y no en base a los datos mismos (Figura 10b). Las desventajas de este método son que se debe suponer una distribución (que no siempre se ajusta bien a los datos) y que al transformar a logaritmo (en el caso que se ajuste una distribución log-normal) puede haber un sesgo e imprecisión en el promedio estimado.

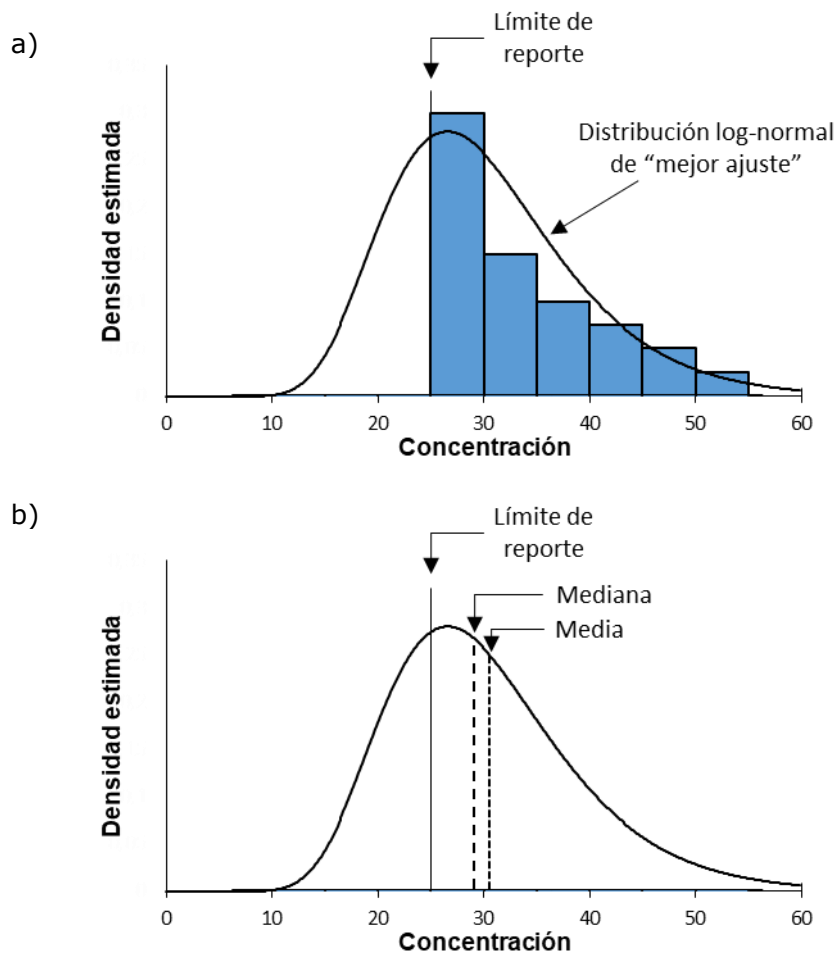


Figura 10. Método de distribución (MLE) para el cálculo de estadísticos descriptivos. Fuente: Adaptado de Helsel and Hirsch (2002a).

c) Método robusto

Los métodos robustos combinan los datos conocidos (*uncensored*) con los datos bajo el límite reportado (*censored*), estos últimos estimados a través del ajuste a una distribución y la extrapolación para el cálculo de los datos censurados (Figura 11a). Los estadísticos finalmente se calculan con los valores conocidos y los estimados (Figura 11b).

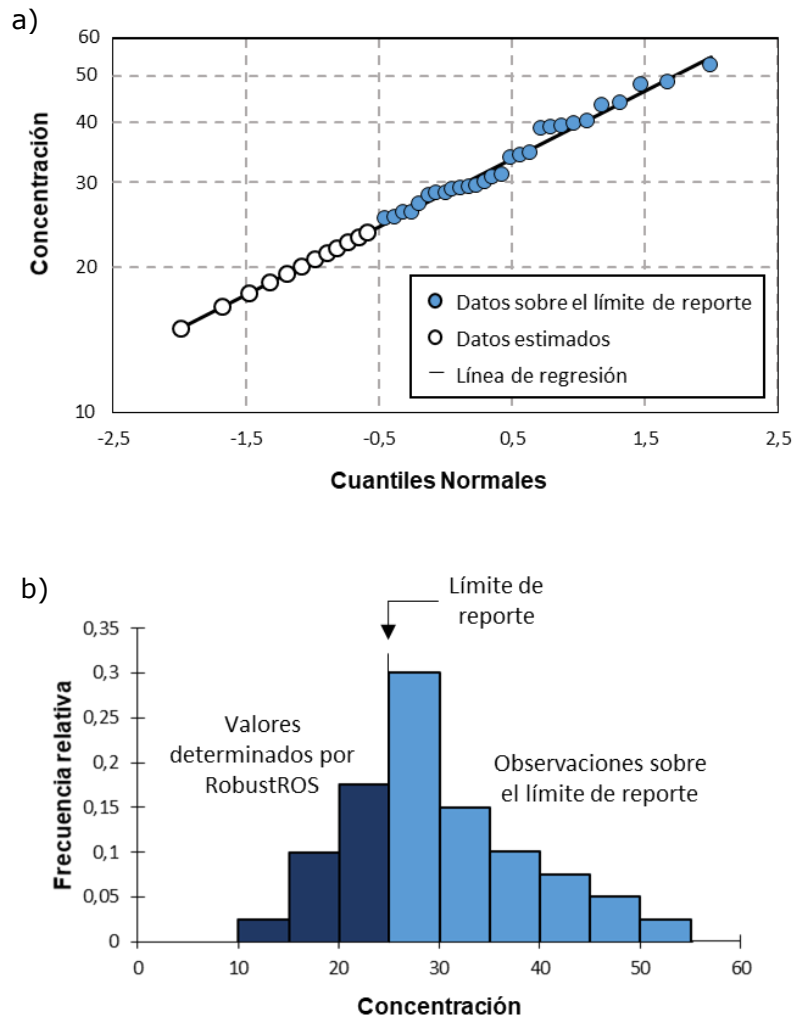


Figura 11. Método robusto para el cálculo de estadísticos descriptivos. (a) QQ plot del logaritmo de la concentración versus normal, usado para extrapolar los valores bajo el límite (censurados). (b) Los datos estimados se transforman a sus unidades originales y se combinan con los datos no censurados para estimar los estadísticos de resumen o descriptivos. Fuente: Helsel and Hirsch (2002a).

3.2 Aplicación a base de datos DGA

Los análisis presentados en la sección previa fueron aplicados a la base de datos de la DGA, la cual contiene la información generada por su red de monitoreo de calidad de agua superficial y subterránea. Esta base de datos, que fue entregada por el mandante durante la licitación, contiene datos desde septiembre de 1959 a noviembre de 2018 de estaciones asociadas a cursos de agua y aguas subterráneas (categorizadas como CA) y asociadas a lagos y embalses (categorizadas como LE), tanto actualmente vigentes como suspendidas. En ella se registran diversos parámetros tales como: pH, conductividad eléctrica, temperatura, cationes (sodio, calcio, potasio, entre otros), aniones (cloruro, sulfato, bicarbonato, entre otros), metales y metaloides (hierro, arsénico, cobre, entre otros) y nutrientes (nitrógeno, fósforo, entre otros). Detalles adicionales sobre la base de datos se presentan en el Anexo 8.3.

La información disponible directamente de esta fuente, sin ningún análisis adicional de validez realizado sobre los datos, constituye la Base de Datos Bruta (BDB). Esta BDB ya tiene un primer filtro por tipo CA y estaciones con ubicación, ya que ese es el alcance de este estudio según licitación. Esto implica que hay 1.037.234 registros, los cuales fueron depurados de acuerdo a lo presentado en la sección 3.2.2.

3.2.1 Variables reportadas en la BDB

La base de datos de calidad del agua bruta (BDB) tiene 1.037.234 observaciones de 8 variables. A modo de ejemplo, la Tabla 5 presenta un extracto de la BDB. Las variables reportadas en la BDB son: "EstCodigo", "ParCodigo", "AguFecha", "AguHora", "AguProfundidad", "AguValor", "xIndChr", "IndTipo" y se describen en la Tabla 6.

Tabla 5. Extracto de datos de la BDB de calidad de agua. Fuente: Elaboración propia.

EstCodigo	ParCodigo	AguFecha	AguHora	AguProfundidad	AguValor	xIndChr	IndTipo
02110005	5020	09-09-1959 0:00	0:00	0	4192	CA	
02110005	6020	09-09-1959 0:00	0:00	0	7,4	CA	
02110005	6080	09-09-1959 0:00	0:00	0	414,929	CA	
02110005	6120	09-09-1959 0:00	0:00	0	0	CA	
02110005	6182	09-09-1959 0:00	0:00	0	1233,66	CA	
02110005	6341	09-09-1959 0:00	0:00	0	177,238	CA	
02110005	8120	09-09-1959 0:00	0:00	0	102,204	CA	
02110005	8260	09-09-1959 0:00	0:00	0	72,322	CA	
02110005	8400	09-09-1959 0:00	0:00	0	27,371	CA	
02110005	8440	09-09-1959 0:00	0:00	0	500,93	CA	D

Tabla 6. Tipos de variables en BDB entregada por DGA. Fuente: Elaboración propia.

Variable	Descripción	Tipo de variable
"EstCodigo"	Código BNA de la estación, sin dígito verificador	Alfanumérico/cadena
"ParCodigo"	Código BNA del parámetro	Numérico
"AguFecha"	Fecha en que se toma el dato o muestra	Fecha
"AguHora"	Hora en que se toma el dato o muestra	Hora
"AguProfundidad"	Profundidad a la que se toma el dato o la muestra	Numérico
"AguValor"	Valor del dato	Numérico
"xIndChr"	Tipo de estación	Alfanumérico/cadena
"IndTipo"	Tipo del dato	Alfanumérico/cadena

La variable "ParCodigo" tiene un rol fundamental, ya que identifica el código del parámetro al cual corresponde el valor del dato y se asocia a una metodología de medición específica. Es decir, dos o más valores de "ParCodigo" pueden referirse al mismo parámetro (p. ej. calcio total) pero medidos con metodologías diferentes (p. ej. espectrofotometría de absorción atómica y titulación con permanganato de potasio). Con el fin de poder analizar conjuntamente observaciones que se refieren al mismo parámetro, independiente de la metodología utilizada para medirlo, es que se agregó a la base de datos una columna "ParDescripcion" (entregada por la DGA en otro archivo) que indica el nombre del parámetro medido.

La variable IndTipo, en tanto, define distintas observaciones sobre los valores, por ejemplo que estén calificados como dudosos (D), erróneos (E), sobre o bajo la sensibilidad del método o límite reportado (> y <, respectivamente), entre otros. Las distintas tipologías de datos se observan en la Tabla 7.

Tabla 7. Caracteres en BDB, que indican el tipo de dato. Fuente: Elaboración propia.

IndTipo		
*	>	7
	0	D
<	2	E
=	3	NA

3.2.2 Depuración de la base de datos bruta

Para la aplicación a la base de datos de la DGA, se optó por utilizar criterios de depuración generales que aplicaran a todas las estaciones, debido al gran volumen de información que imposibilita tener decisiones de procesamiento adaptadas a cada sitio (Oelsner et al., 2017) y como práctica estándar para favorecer la objetividad en el procesamiento de los datos. Adicionalmente, tener criterios generales evita introducir diferencias que invaliden la comparación posterior de los datos.

Para determinar los criterios de depuración a utilizar sobre la base de datos de la DGA se analizaron criterios utilizados en estudios previos de la DGA, como el "Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad" (CADE-IDEPE, 2003), referencias nacionales (Ministerio de Medio Ambiente, 2017), y referencias internacionales (Helsel and Hirsch, 2002b, Oelsner et al., 2017, Environmental Protection Agency, 2000). Los criterios de depuración seleccionados fueron analizados, validados y aceptados formalmente por la DGA, dado que corresponden a un fundamento clave sobre el cual se construye el desarrollo posterior de este trabajo. Específicamente, se evaluaron los siguientes aspectos, que se describen en las secciones siguientes:

- Tipología DGA
- Cumplimiento de límites físicos y analíticos
- Revisión de métodos analíticos y descripción de parámetros
- Identificación de *outliers*

A continuación, se presenta un detalle de cada etapa de depuración.

a) Tipología DGA

Se evaluó con el mandante la pertinencia de incluir aquellos valores que en la BDB estén identificados como dudosos, erróneos, o sobre o bajo la sensibilidad del método (o límite reportado), según lo indicado por la DGA.

Se determinó que aquellos datos identificados por un tipo distinto a los caracteres "=", "<", ">" o "NA " en la base de datos entregada por la DGA fueran eliminados, al ser identificados como dudosos o erróneos por el mandante. Esto implicó que un 0,07% de los datos se eliminó, quedando 1.036.501 datos. Debido al bajo porcentaje de remoción de datos, este criterio de depuración no genera un impacto significativo.

De los datos restantes el 29,2% corresponden a datos bajo (<) o sobre (>) un límite reportado (datos censurados). De ellos, el 99,8% corresponde a datos menores que un valor o "*left-censored*", lo cual es concordante con las características de las bases de datos de calidad del agua. Los datos reportados como "<" se consideraron válidos, y su tratamiento para efectos del análisis de los datos dependió del objetivo y la cantidad de datos censurados. Los datos reportados como ">", en tanto, se eliminaron de la base de datos. Si bien otros autores utilizan un método de sustitución simple, multiplicando por 1,7 el valor reportado, o métodos de máxima verosimilitud (Sanford et al., 1993), en la base de datos de la DGA el 94,6% de estos datos es reportado como > 0, lo que dificulta la estimación del dato y valida su remoción. De esta forma, luego de aplicado este criterio, quedaron 1.035.980 datos.

Ejemplo 1. Depuración por tipología DGA en cuenca del Río Maipo

La aplicación del criterio de tipología DGA en la cuenca del río Maipo implicó la remoción de 8 registros, los cuales se presentan en la Tabla E1-1. Es posible observar que 6 de estos registrados corresponden a mediciones reportadas como mayor a 0, las cuales no podrían haber sido procesadas debido a la imposibilidad de asignarles un valor. Los otros dos registros, en tanto, corresponden a observaciones indicadas con tipología "D", las cuales se consideran erróneas o dudosas por el mandante.

Tabla E1-1. Registros eliminados de la BDB en la cuenca del Río Maipo con la aplicación del criterio de tipología DGA.

EstCodigo	ParCodigo	AguFecha	AguHora	AguValor	IndTipo
5737005	6120	05-11-1973	12:00:00	0	>
5736001	6120	11-04-1974	16:00:00	0	>
5737005	6120	08-10-1974	11:00:00	0	>
5746001	6120	08-10-1974	12:05:00	0	>
5742001	6120	14-11-1974	16:00:00	0	>
5746001	5020	23-07-1975	11:00:00	1685	D
5737005	5020	23-09-1976	15:05:00	1725	D
5746001	6120	17-03-1977	11:00:00	0	>

b) Cumplimiento de límites físicos y analíticos

Los valores utilizados deben tener significado físico (p. ej. las concentraciones deben ser mayores a 0) y también deben estar acorde a los límites analíticos que imponen los métodos utilizados para su medición (p. ej. valores deben ser superiores al límite de detección o cuantificación de la técnica analítica).

En primer lugar, se revisó que no existieran datos negativos, faltantes o cero en el resto de la base de datos. Los valores negativos o cero no son posibles en la medición analítica de parámetros físicos-químicos (exceptuando temperatura y alcalinidad). En la base de datos resultante no existen datos faltantes o negativos; sin embargo, un 2,9% corresponde a datos reportados como 0 (29.629 datos en total). Se discutió con el mandante si asumir que estos datos corresponden a datos "*left-censored*" y asignarles el valor de un dato reportado con tipología "<" en un tiempo cercano en la misma estación o una cercana, (Oelsner et al., 2017), o simplemente borrarlos ya que pueden inducir a errores.

Al analizar en detalle los datos reportados como cero, se observó que algunos corresponden al parámetro de conductividad eléctrica, lo que sugiere que existen errores. En el caso de temperatura son 14 datos, con 9 de ellos reportados como

menores a cero, datos que se validan ya que son posibles. Se decidió eliminar el resto de datos reportados como cero (29.615), debido a que se desconoce el tipo de error (puede ser de tipeo), quedando 1.006.365 datos.

Ejemplo 2. Depuración por cumplimiento de límites físicos y analíticos en cuenca del Río Maipo

La aplicación del criterio de cumplimiento de límites físicos y analíticos en la cuenca del río Maipo implicó la remoción de 689 registros, parte de los cuales se presentan en la Tabla E2-1. Estos registros están asociados a los parámetros boro total (ParCodigo 6100), carbonato (ParCodigo 6120), cloruro total (ParCodigo 6182), fósforo de ortofosfato (ParCodigo 6130), arsénico total (ParCodigo 8041), cobre total (ParCodigo 8145), cromo total (ParCodigo 8152 y 8156) y potasio total (ParCodigo 8400). Estos parámetros, al representar concentraciones de elementos e iones, no pueden ser iguales a 0, y deberían haberse reportado como menor a un límite de cuantificación o detección.

Tabla E2-1. Extracto de registros eliminados de la BDB en la cuenca del Río Maipo con la aplicación del criterio de cumplimiento de límites físicos y analíticos.

EstCodigo	ParCodigo	AguFecha	AguHora	AguValor	IndTipo
5701002	6120	04-06-1966	18:00:00	0	NA
5701002	6100	21-06-1968	10:05:00	0	NA
5701002	6120	21-06-1968	10:05:00	0	NA
5701002	6120	16-02-1971	10:00:00	0	NA
5701002	6120	29-03-1971	10:00:00	0	NA
5701002	6120	08-07-1971	14:00:00	0	NA
5701002	6120	28-12-1971	18:00:00	0	NA
5701002	6100	06-03-1972	13:05:00	0	NA
5701002	6120	06-03-1972	13:05:00	0	NA
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
5716001	8152	23-05-2018	11:16:00	0	<
5748001	8152	23-05-2018	9:00:00	0	<

c) Revisión de métodos analíticos y descripción de parámetros

Los métodos analíticos y códigos de los parámetros de los datos que fueron entregados como insumo para ejecutar el trabajo fueron revisados por la DGA, en particular por su laboratorio y la inspección fiscal. Esta revisión los llevó a modificar la descripción de algunos códigos de parámetros y sus unidades. Las principales modificaciones realizadas por la DGA son las siguientes:

- Se identificó errores en los siguientes códigos de parámetros, los cuales fueron eliminados: 5001, 6300, 5040, 5100, 5160 y 640. Adicionalmente, se identificó que los datos del código 6001 posteriores al año 2002 reportan porcentaje de saturación y no concentración, por lo que también fueron eliminados. De esta forma, se eliminó el 0,6% de los datos, quedando 1.000.775 datos.
- Se identificó la duplicación de resultados para un parámetro, asociados a los códigos de parámetros 8282, 8283, 8320, 8321, 8465 y 8466. A criterio del mandante, se optó por eliminar los datos duplicados, quedando 1.000.757 datos (se eliminaron 18 datos, 0,002%). Los datos eliminados por estar duplicados se muestran en el Anexo 8.3 (Tabla 23).
- Se identificó que uno de los datos era un posible error, dado que la metodología de medición pudo no haber sido aplicada correctamente (código de parámetro 6202, año 2018), quedando 1.000.756 datos.

En relación a temas de unidades diferentes reportadas en el mismo código, estas fueron modificadas de acuerdo a lo indicado por el mandante:

- Para el parámetro código 9901, los datos desde el 08/08/2016 están expresados en mg/L. Se transformaron los datos anteriores (dividiendo por 1.000), dejando todo expresado en la unidad de mg/L.
- Para el parámetro código 6311, hasta la fecha 23/03/2011 los datos fueron cargados como µg/L. Se transformaron los datos hasta esta fecha (dividiendo por 1.000), dejando todo expresado en la unidad de mg/L.

Ejemplo 3. Depuración por revisión de métodos analíticos y descripción de parámetros en cuenca del Río Maipo

La aplicación del criterio de revisión de métodos analíticos y descripción de parámetros en la cuenta del Río Maipo implicó la remoción de 395 registros, parte de los cuales se presentan en la Tabla E3-1. En este caso, este análisis implicó la remoción de una observación asociada al ParCodigo 640 y de 392 observaciones posteriores al 2002 para el oxígeno disuelto (ParCodigo 6001). Además, se eliminaron dos registros duplicados en fecha, hora y parámetro (molibdeno total, ParCodigo 8320 y 8321).

Tabla E3-1. Extracto de registros eliminados de la BDB en la cuenca del Río Maipo con la aplicación del criterio de revisión de métodos analíticos y descripción de parámetros.

EstCodigo	ParCodigo	AguFecha	AguHora	AguValor	IndTipo
5736001	640	08-08-2018	9:45:00	1,651	=
5716001	6001	03-04-2013	12:00:00	84,3	=
5746001	6001	08-04-2013	12:20:00	56,7	=
5737005	6001	08-04-2013	13:20:00	98,3	=
5717005	6001	08-04-2013	12:40:00	84,2	=
5748001	6001	07-05-2013	10:30:00	68,2	=
5701002	6001	08-05-2013	13:00:00	96,7	=
5736001	6001	29-05-2013	11:00:00	35,7	=
5722002	6001	30-05-2013	11:55:00	100,799	=
5701002	6001	19-07-2013	12:00:00	103,2	=
5748001	6001	14-01-2014	8:50:00	95,3	=
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
5716001	8320	20-02-2014	12:30:00	0,002	<
5716001	8321	20-02-2014	12:30:00	0,03	<

d) Identificación de outliers

En la identificación de *outliers* se buscó detectar valores muy atípicos, por lo que se adoptó el criterio del percentil 25 de los datos (o cuartil 1, Q1) - 3 veces el rango o distancia intercuartil (límite inferior) y el percentil 75 (cuartil 3, Q3) + 3 veces la distancia intercuartil (límite superior) (Vega et al., 2018, Pastén et al., 2019). Este criterio se aplicó a nivel de estación y por parámetro, considerando además el método de sustitución simple para manejar datos censurados. Aplicando este criterio, el 3,7% de los datos de la BDB es considerado *outlier* (37.195 datos de 1.000.756).

Ejemplo 4. Identificación de *outliers* para fósforo de ortofosfato en estación Mapocho en Los Almendros

La identificación de *outliers* bajo el criterio utilizado requiere el cálculo de 3 estadísticos descriptivos: el percentil 25, el percentil 75 y la distancia intercuartil. No obstante, antes del cálculo de estos estadísticos, es necesario realizar la sustitución de valores censurados, para lo cual se usa el método de sustitución simple. Un extracto de los datos de fósforo de ortofosfato en la estación Mapocho en Los Almendros, mostrando tanto valores originales como sustituidos (filas destacadas indican registros censurados) se presenta en la Tabla E4-1.

Tabla E4-1. Extracto de registros asociados a fósforo de ortofosfato (ParCodigo 6310 y 6220, este último sin datos) en la estación Mapocho en Los Almendros.

EstCodigo	ParCodigo	AguFecha	AguHora	AguValor	IndTipo	ValorSust
5722002	6310	03-07-1987	12:21:00	0,005	<	0,0025
5722002	6310	06-10-1987	12:55:00	0,036	=	0,036
5722002	6310	07-01-1988	12:45:00	0,005	<	0,0025
5722002	6310	06-04-1988	16:40:00	0,005	<	0,0025
5722002	6310	06-07-1988	14:30:00	0,005	<	0,0025
5722002	6310	07-10-1988	13:17:00	0,012	=	0,012
5722002	6310	04-01-1989	14:15:00	0,005	<	0,0025
5722002	6310	04-04-1989	15:30:00	0,005	<	0,0025
5722002	6310	04-07-1989	16:50:00	0,006	=	0,006
5722002	6310	16-10-1989	13:50:00	0,025	=	0,025
5722002	6310	03-07-1987	12:21:00	0,005	<	0,0025
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
5722002	6310	09-10-2018	9:30:00	0,023	=	0,023
5722002	6310	06-11-2018	10:18:00	0,006	=	0,006

Ya sustituidos los valores (columna ValorSust), se calcularon los estadísticos antes mencionados. En el caso de este ejemplo, la Tabla E4-2 presenta estos estadísticos.

Tabla E4-2. Estadísticos necesarios para la identificación de *outliers* para fósforo de ortofosfato en la estación Mapocho en Los Almendros.

Estadístico	Valor
Percentil 25	0,003
Percentil 75	0,035
Distancia Intercuartil	0,032

Ejemplo 4 (continuación). Identificación de *outliers* para fósforo de ortofosfato en estación Mapocho en Los Almendros

De esta forma, el límite inferior (percentil 25 - 3 veces la distancia intercuartil) y el límite superior (percentil 75 + 3 veces la distancia intercuartil) corresponden a los presentados en la Tabla E4-3.

Tabla E4-3. Límites inferior y superior para la identificación de *outliers* para fósforo de ortofosfato en la estación Mapocho en Los Almendros.

Límite	Valor
Inferior	-0,093
Superior	0,131

Aquellos registros que presenten un valor menor a -0,093 (lo cual no ocurre debido a que valores negativos o cero fueron eliminados bajo criterio anterior) o mayor a 0,131 serán considerados *outliers* según el criterio de identificación escogido. En consecuencia, los registros considerados *outliers*, se presentan en la Tabla E4-4.

Tabla E4. Observaciones identificadas como *outliers* para fósforo de ortofosfato en la estación Mapocho en Los Almendros.

EstCodigo	ParCodigo	AguFecha	AguHora	AguValor	xIndChr	IndTipo
5722002	6310	09-07-1991	15:00:00	0,158	CA	=
5722002	6310	06-07-1993	17:10:00	0,153	CA	=
5722002	6310	26-10-1993	15:50:00	0,195	CA	=
5722002	6310	10-12-1998	9:46:00	0,339	CA	=
5722002	6310	22-03-1999	11:21:00	0,489	CA	=
5722002	6310	06-12-1999	15:51:00	0,222	CA	=
5722002	6310	12-05-2006	10:00:00	2,649	CA	=
5722002	6310	02-01-2007	11:35:00	2,649	CA	=
5722002	6310	26-09-2008	11:56:00	3,07	CA	<
5722002	6310	09-07-1991	15:00:00	0,158	CA	=
5722002	6310	06-07-1993	17:10:00	0,153	CA	=

3.2.3 Criterios utilizados para datos censurados

Dependiendo del objetivo, se emplearon diferentes métodos de tratamiento de datos bajo el límite de cuantificación o de detención (datos censurados en la base de datos de calidad del agua) en este trabajo:

a) Representación gráfica: cuando el objetivo es visualizar promedios en mapa de Chile y tener información de la calidad de agua en las estaciones graficadas

Para generar una representación gráfica de los datos que permita una comparación visual entre estaciones de la DGA, es decir, mapas con valores promedio, gráficos de boxplot y evolución temporal (concentración vs. tiempo), se escogió el método de sustitución simple por su simplicidad y versatilidad al permitir fácilmente continuar incluyendo datos, además de tener una precisión suficiente para una representación visual y permitir incluir la mayoría de los datos (no así en las fichas, que requieren mayor precisión). Sin embargo, este análisis no se realizó para aquellos parámetros que, por estación, tuvieron un porcentaje de datos censurados mayor o igual a 80% (Sanford et al., 1993, Bolks et al., 2014). Los datos generados con el método de sustitución simple se incorporarán en una nueva columna en la base de datos depurada (BDD) en SQL.

b) Estadísticas descriptivas (fichas): cuando el objetivo es ver datos resumidos en detalle por estación y parámetro

En el caso de las fichas resumen por estación y parámetro, se utilizó sustitución simple para los parámetros que tienen hasta 20% de datos censurados (incluido) (Environmental Protection Agency, 2000, Sanford et al., 1993). Como valor de sustitución se utilizó la mitad del valor reportado. Entre un 20% y un 80% de datos censurados, se utilizó un método robusto (Robust ROS) de acuerdo a la sugerencia de Helsel and Hirsch (2002a) y Bolks et al. (2014). Para utilizar Robust ROS, además, se exige que haya al menos 10 datos en total y al menos 3 datos censurados por estación y parámetro. Para parámetros que, por estación, no cumplan el requisito anterior o presenten un 80% o superior de datos censurados no se realizaron cálculos (Sanford et al., 1993, Bolks et al., 2014), lo cual es indicado en la ficha resumen junto con el número de datos, el porcentaje de datos censurados y las fechas de inicio y término de la medición.

Los promedios acumulados por año se estimaron usando sustitución simple para parámetros que tienen hasta 80% de datos censurados.

3.2.4 Estadísticas descriptivas

La información de la BDD se describió a través de distintos estadísticos, cuyo cálculo se realizó mediante el software R y sus paquetes estadísticos. El manejo de datos censurados para estos efectos se realizó de acuerdo a lo indicado en la sección 3.2.3.

3.2.4.1 Cálculo de estadísticas descriptivas

La descripción estadística de los datos se realizó con los siguientes estadísticos: promedio, desviación estándar, máximo, mínimo, percentiles 25, 50 y 75, y promedios acumulados por año. Estos estadísticos fueron determinados considerando la exclusión de *outliers*. A continuación, se presentan consideraciones relevantes en la determinación de algunos de estos estadísticos. Estos estadísticos se calcularon sólo para parámetros que presentaran un nivel de censura menor al 80%.

a) Mínimo

La determinación del valor mínimo depende de la existencia de datos censurados y del método de tratamiento de datos censurados correspondiente, dando lugar a tres casos:

- Cuando no existen datos censurados la determinación del valor mínimo es directa, correspondiendo al menor valor de toda la serie.
- Cuando existen datos censurados tratados con sustitución simple, el mínimo es especificado como menor a 2 veces el menor valor de todos los datos sustituidos, dada la imposibilidad de determinar con exactitud el valor mínimo. Es importante destacar que no siempre el valor mínimo de los datos sustituidos coincide con la observación censurada, lo cual se puede observar en el Ejemplo 5.
- Cuando los datos censurados fueron tratados mediante Robust ROS, el valor mínimo es especificado como el percentil 5 de los datos.

Ejemplo 5. Determinación del valor mínimo para parámetros con datos censurados tratados mediante sustitución simple en estación Mapocho en Los Almendros

Existe la posibilidad de que el valor sustituido más pequeño no coincida con la observación censurada, lo cual puede impactar la especificación del valor mínimo. Este tipo de ocurrencias y la forma en que impactan la presentación de resultados se puede observar a través de los siguientes parámetros: hierro total y aluminio total.

Hierro total

La Tabla E5-1 presenta un extracto de los menores registros de hierro total en la estación Mapocho en Los Almendros. En este caso, el menor valor luego de sustituidos los datos por el método de sustitución simple (columna ValorSust) coincide con la observación censurada (fila naranja), por lo que el valor mínimo se reporta como el doble de este valor (<0,01).

Tabla E5-1. Extracto de registros de hierro total en Mapocho en Los Almendros, ordenados de menor a mayor.

EstCodigo	ParCodigo	AguFecha	AguHora	AguValor	xIndChr	IndTipo	ValorSust
5722002	8203	06-07-1988	14:30:00	0,01	CA	<	0,005
5722002	8203	27-01-1998	8:45:00	0,02	CA	=	0,02
5722002	8203	18-11-1997	10:00:00	0,03	CA	=	0,03
5722002	8203	26-05-2009	12:26:00	0,04	CA	=	0,04
5722002	8203	21-07-1998	14:45:00	0,06	CA	=	0,06
5722002	8203	31-05-2007	12:26:00	0,06	CA	=	0,06
5722002	8203	28-04-1993	11:50:00	0,08	CA	=	0,08
5722002	8203	07-08-2007	10:00:00	0,11	CA	=	0,11
5722002	8203	12-05-2006	10:00:00	0,14	CA	=	0,14
5722002	8203	26-05-2011	11:29:00	0,179	CA	=	0,179

Hierro total

La Tabla E5-2 presenta un extracto de los menores registros de aluminio total en la estación Mapocho en Los Almendros. En este caso, existe un valor no censurado que es menor al valor sustituido del dato censurado (fila naranja), por lo que el mínimo se reporta como menor al doble del valor del dato no censurado más pequeño (<0,2).

Ejemplo 5 (continuación). Determinación del valor mínimo para parámetros con datos censurados tratados mediante sustitución simple en estación Mapocho en Los Almendros

Tabla E5-2. Extracto de registros de hierro total en Mapocho en Los Almendros, ordenados de menor a mayor.

EstCodigo	ParCodigo	AguFecha	AguHora	AguValor	IndTipo	ValorSust
5722002	8021	21-07-1998	14:45:00	0,1	=	0,1
5722002	8021	26-09-2008	11:56:00	0,25	=	0,25
5722002	8021	25-07-2001	13:30:00	0,3	=	0,3
5722002	8021	30-04-2010	12:00:00	0,3	<	0,15
5722002	8021	26-05-2011	11:29:00	0,396	=	0,396
5722002	8021	31-05-2007	12:26:00	0,4	=	0,4
5722002	8021	07-08-2007	10:00:00	0,4	=	0,4
5722002	8021	30-07-2010	10:00:00	0,499	=	0,499
5722002	8021	12-05-2006	10:00:00	0,7	=	0,7
5722002	8021	26-05-2009	12:26:00	0,7	=	0,7

b) Máximo

La determinación del valor máximo depende de la existencia de datos censurados y del método de tratamiento de datos censurados correspondiente, dando lugar a dos casos:

- Cuando no existen datos censurados, o existen pero son tratados mediante sustitución simple, la determinación del valor máximo es directa, correspondiendo al mayor valor de toda la serie.
- Cuando los datos censurados fueron tratados mediante Robust ROS, el valor máximo es especificado como el percentil 95 de los datos.

c) Promedios acumulados por año

El cálculo de promedios se realizó calculando la media de todas las observaciones comprendidas entre el inicio de los registros y la última observación del año que se está determinando (esta última inclusive). Para este efecto, los datos censurados fueron tratados con el método de sustitución simple.

Ejemplo 6. Determinación de los promedios acumulados por año para fósforo de ortofosfato en estación Mapocho en Los Almendros

La Tabla E6-1 muestra un extracto de los registros de fósforo de ortofosfato en la estación Mapocho en Los Almendros. Los promedios acumulados por año se calculan mediante la media de todos los datos acumulados hasta cierto año. Así, el promedio acumulado hasta el año 1987 se calcula de la siguiente forma:

$$Promedio\ Acumulado_{1987} = \frac{\overbrace{0,0025 + 0,036}^{Datos\ 1987}}{2} = 0,019$$

Mientras que el promedio acumulado hasta el año 1988 se calcula de la siguiente forma:

$$Promedio\ Acumulado_{1988} = \frac{\overbrace{0,0025 + 0,036}^{Datos\ 1987} + \overbrace{0,0025 + 0,0025 + 0,0025}^{Datos\ 1988}}{5} = 0,010$$

Tabla E6-1. Extracto de registros de fósforo de ortofosfato en Mapocho en Los Almendros y cálculo de promedios acumulados por año.

EstCodigo	ParCodigo	AguFecha	AguHora	AguValor	IndTipo	ValorSust	Prom. Acc.
5722002	6310	03-07-1987	12:21:00	0,005	<	0,0025	
5722002	6310	06-10-1987	12:55:00	0,036	=	0,036	0,019
5722002	6310	07-01-1988	12:45:00	0,005	<	0,0025	
5722002	6310	06-04-1988	16:40:00	0,005	<	0,0025	
5722002	6310	06-07-1988	14:30:00	0,005	<	0,0025	
5722002	6310	07-10-1988	13:17:00	0,012	=	0,012	0,010
5722002	6310	04-01-1989	14:15:00	0,005	<	0,0025	
5722002	6310	04-04-1989	15:30:00	0,005	<	0,0025	
5722002	6310	04-07-1989	16:50:00	0,006	=	0,006	
5722002	6310	16-10-1989	13:50:00	0,025	=	0,025	0,009
5722002	6310	04-01-1990	10:50:00	0,005	<	0,0025	
5722002	6310	03-04-1990	11:30:00	0,039	=	0,039	
5722002	6310	10-07-1990	16:10:00	0,024	=	0,024	
5722002	6310	02-10-1990	11:45:00	0,011	=	0,011	0,012
5722002	6310	02-01-1991	16:30:00	0,019	=	0,019	
5722002	6310	02-04-1991	11:45:00	0,005	<	0,0025	
5722002	6310	01-10-1991	14:30:00	0,085	=	0,085	0,016

3.2.4.2 Presentación de los datos

Los estadísticos descriptivos se estimaron tanto para las estaciones vigentes como suspendidas. Los resultados de estos análisis estadísticos se presentaron en fichas resumen y gráficos boxplot. Los análisis se realizaron en R y las fichas y gráficos se entregan en pdf. Estos últimos también se entregan en formato imagen extensión "png". La ficha sigue el formato entregado por el mandante, con pequeñas modificaciones.

a) Fichas

En la Tabla 8 se presenta un ejemplo para un parámetro en una estación con un porcentaje de datos censurados menor o igual a 20%. En Tabla 9 y Tabla 10 se muestra el ejemplo para un parámetro entre 20-80% y > 80% de datos censurados, respectivamente.

Tabla 8. Resumen estadístico de ejemplo para estación y parámetro con menos de 20% de datos censurados. Fuente: Elaboración propia.

IDENTIFICACIÓN ESTACIÓN (Cod. BNA)		01700096-9				
Región	TARAPACA					
Nombre estación	POZO QUEBRADA DE CHACARILLA					
Estado	VIGENTE					
Cuenca	PAMPA DEL TAMARUGAL					
Coordenadas	Latitud	-20,646	Longitud	-69,339		
PARÁMETRO:		Manganeso total		mg/L		
Periodo registro	Inicio 19-12-1997		Fin 17-04-2018			
% Datos censurados	1,8 con outlier		1,9 sin outlier			
Número de datos	55		Número outliers	1		
Promedio	0,1		Desv. estándar	0,1		
Mínimo	< 0.01		Máximo	0,4		
Percentil 25	0,04		Percentil 50	0,1		
Percentil 75	0,2		Rango intercuartil	0,1		
Promedios acumulados, x sustitución simple						
Prom. ac.	0,050	año	1997			
	0,127	año	1998			
	0,160	año	1999			
	0,149	año	2000			
	0,127	año	2001			
	0,108	año	2002			
	0,098	año	2003			
	0,103	año	2004			
	0,095	año	2005			
	0,093	año	2006			
	0,085	año	2007			
	0,082	año	2008			
	0,082	año	2009			
	0,086	año	2010			
	0,099	año	2011			
	0,103	año	2012			
	0,120	año	2013			
	0,119	año	2014			
0,122	año	2015				
0,125	año	2016				
0,125	año	2017				
0,126	año	2018				

Tabla 9. Resumen estadístico por estación y parámetro de ejemplo para estación y parámetro con entre un 20% y 80% de datos censurados. Fuente: Elaboración propia.

IDENTIFICACIÓN ESTACIÓN (Cod. BNA)				01700096-9			
Región	TARAPACA						
Nombre estación	POZO QUEBRADA DE CHACARILLA						
Estado	VIGENTE						
Cuenca	PAMPA DEL TAMARUGAL						
Coordenadas	Latitud	-20,646			Longitud	-69,339	
PARÁMETRO:				Aluminio total		mg/L	
Periodo registro	Inicio 19-12-1997			Fin 17-04-2018			
% Datos censurados	35,4 con outlier		36,2 sin outlier				
Número de datos	48			Número outliers	1		
Promedio	0,4			Desv. estándar	0,3		
Mínimo	percentil 5	0,09		Máximo	percentil 95	0,7	
Percentil 25	0,2			Percentil 50	0,3		
Percentil 75	0,5			Rango intercuartil	0,3		
Promedios acumulados, x sustitución simple							
Prom. ac.	0,10	año	1997				
	0,10	año	1998				
	0,19	año	1999				
	0,19	año	2000				
	0,31	año	2001				
	0,35	año	2002				
	0,33	año	2003				
	0,42	año	2004				
	0,39	año	2005				
	0,39	año	2006				
	0,41	año	2007				
	0,41	año	2008				
	0,39	año	2009				
	0,37	año	2010				
	0,35	año	2011				
	0,35	año	2012				
	0,36	año	2013				
	0,36	año	2014				
0,35	año	2017					
0,35	año	2018					

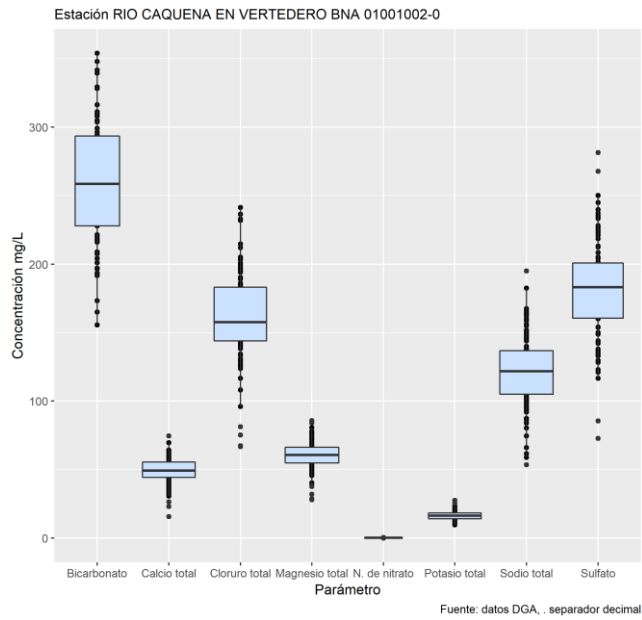
Tabla 10. Resumen estadístico por estación y parámetro de ejemplo para estación y parámetro con más de 80% de datos censurados. Fuente: Elaboración propia.

IDENTIFICACIÓN ESTACIÓN (Cod. BNA)		01700096-9		
Región	TARAPACA			
Nombre estación	POZO QUEBRADA DE CHACARILLA			
Estado	VIGENTE			
Cuenca	PAMPA DEL TAMARUGAL			
Coordenadas	Latitud	-20,646	Longitud	-69,339
PARÁMETRO:		Cobalto total	mg/L	
Periodo registro	Inicio	28-09-1998	Fin	17-04-2018
% Datos censurados	94,3 con outlier	100,0 sin outlier	POCOS DATOS SIN CENSURA, No se muestran estadísticas	
Número de datos	53		Número outliers	12
Promedio	-	Desv. estándar	-	
Mínimo	-		Máximo	-
Percentil 25	-		Percentil 50	-
Percentil 75	-		Rango intercuartil	-

b) Boxplots

Se generaron *boxplots* que presentan en forma gráfica el resumen estadístico de cada estación (Figura 12). En un boxplot (Figura 12a) se muestran algunos iones (bicarbonato, calcio total, cloruro total, magnesio total, nitrógeno de nitrato, potasio total, sodio total y sulfato) y en el otro (Figura 12b) se muestran elementos traza (arsénico total, boro total, hierro total, fluoruro total, manganeso total, molibdeno total, plomo total y zinc total). Esta agrupación se realizó con acuerdo del mandante.

(a)



(b)

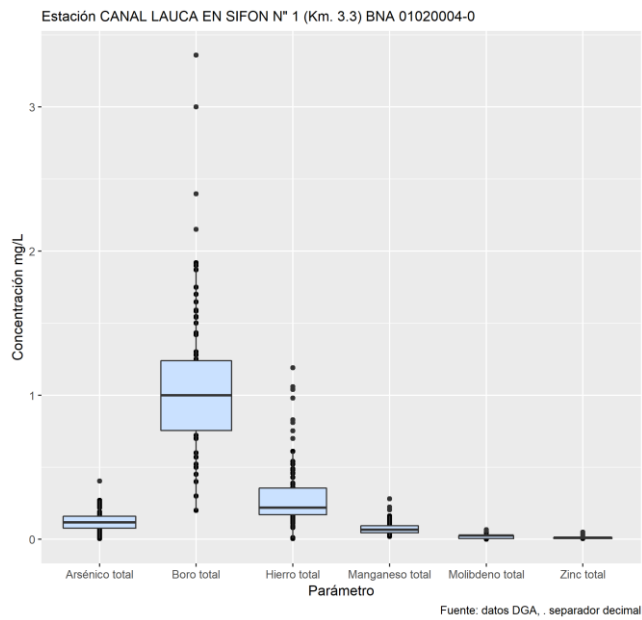


Figura 12. Ejemplo de gráfico boxplot para calidad del agua. (a) Iones (b) Elementos traza. Fuente: Elaboración propia.

3.2.5 Evolución temporal y tendencias

El análisis de las series de datos se realizó a través de dos enfoques: uno gráfico, mediante la elaboración de gráficos de concentración vs. tiempo, y uno estadístico, mediante la aplicación de test estadísticos para determinar la existencia y significancia de tendencias.

3.2.5.1 Elaboración de gráficos de concentración vs. tiempo

A partir de la BDD, excluyendo *outliers*, se generaron gráficos de concentración vs. tiempo para todas las estaciones vigentes y suspendidas, siguiendo el ejemplo de la Figura 13. Estos se generaron para los siguientes parámetros, de acuerdo a los términos de referencia: conductividad eléctrica, temperatura, pH, oxígeno disuelto, fósforo total, fosforo de ortofosfato, nitrógeno de nitrato, arsénico total, hierro total, aluminio total, calcio total, magnesio total, sodio total, potasio total, sulfato, cloruro total y bicarbonato.

Para generar los gráficos, se exigió que existan al menos 10 datos y que el porcentaje de datos censurados sea menor o igual al 80%.

Estación RIO CAQUENA EN VERTEDERO BNA 01001002-0 Parámetro Arsénico total

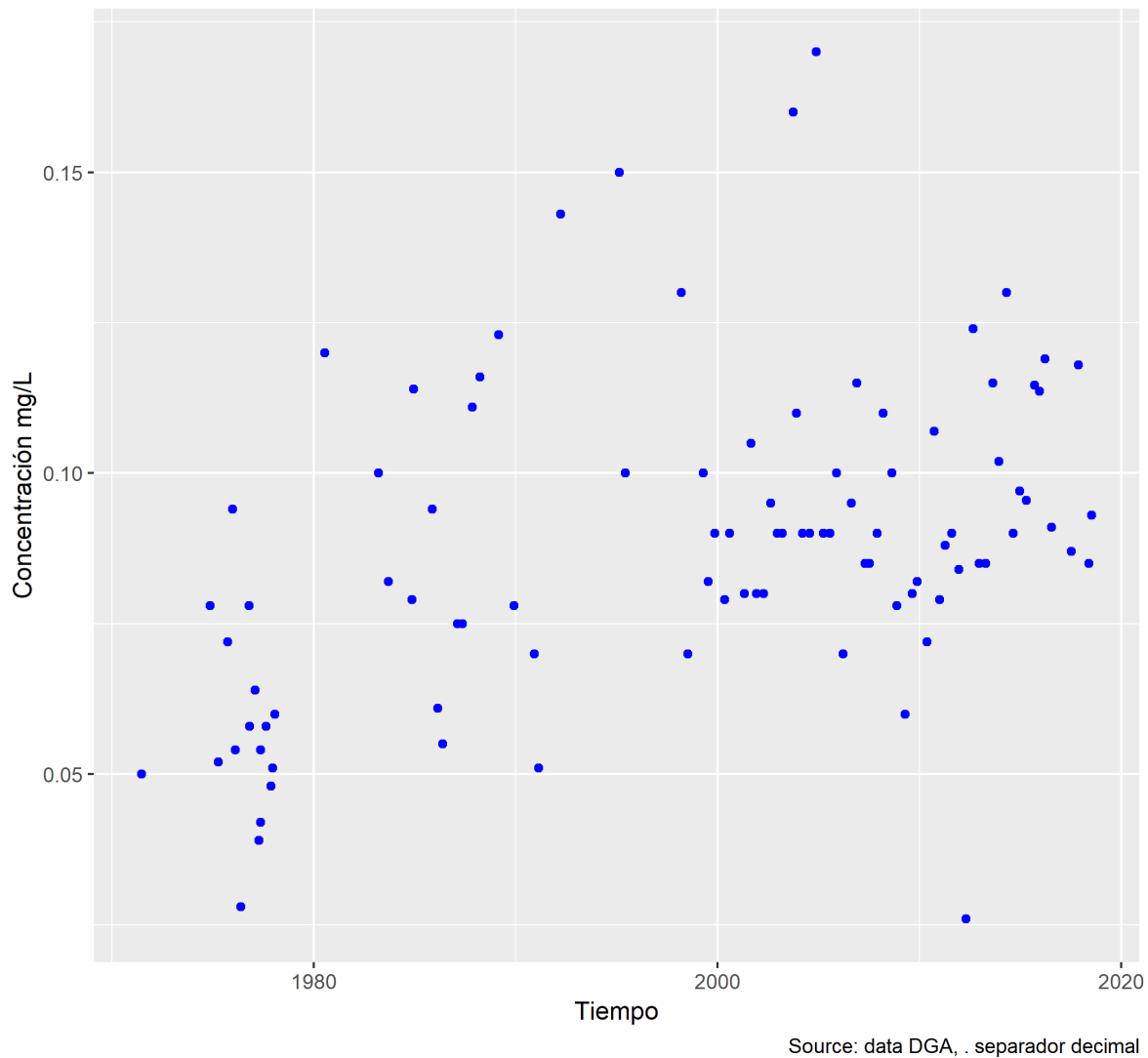


Figura 13. Ejemplo de gráfico concentración v/s tiempo. Fuente: Elaboración propia.

3.2.5.2 Determinación estadística de tendencias

Para la estimación de tendencias se utilizó RESTREND, considerando como periodo de análisis de enero de 1990 a enero de 2018, en base a la disponibilidad de datos y una frecuencia de muestreo que permita reflejar la variación estacional, con los datos sin *outliers*. El procedimiento estadístico se selecciona en base a los criterios de la Figura 8, escogiéndose Kendall estacional. El modelo luego selecciona entre Kendall estacional censurado o no censurado en base al porcentaje de datos censurados (<5% para usar método no censurado). De acuerdo al protocolo de Oelsner et al. (2017), no se realizará análisis de tendencias para parámetros que, por estación, tengan una proporción de datos censurados mayor a 50% durante el periodo de análisis. Adicionalmente se requirió (1) que el parámetro analizado en la estación tuviera datos al menos trimestrales en alguno de los primeros años (1990, 1991 o 1992) y los últimos años (2015, 2016 y 2017) y (2) que el 70% de los años durante el período de análisis de tendencia tuviera muestras al menos trimestrales. Estos criterios difieren levemente del protocolo mencionado anteriormente, en cuanto este exigía muestras trimestrales en los 2 primeros y 2 últimos años del periodo considerado. No se consideraron otras restricciones adicionales presentadas en el estudio mencionado. Lo anteriormente explicado se aplica para estaciones superficiales y subterráneas, pero en este último caso, debido a que el muestreo definido en general es semestral, es esta la frecuencia que se exige, en vez de trimestral.

La definición de muestreos trimestrales se realizó utilizando tres divisiones diferentes en el año de inicio, como se muestra en Tabla 11. Se consideró que un parámetro está medido de forma trimestral si las muestras cubrían las 4 estaciones considerando las 3 divisiones de la Tabla 11, pudiendo variar de año en año. De esta forma, un muestreo semestral realizado en abril (trimestre 1 en división II y III, trimestre 2 en división I) y octubre (trimestre 3 en división II y III, trimestre 4 en división I) se consideraría cubriendo los 4 trimestres. Esto es para poder incorporar las variaciones en los planes de muestreo reales realizados por la DGA, tanto en cantidad de muestras como en época de muestreo.

Tabla 11: Definición de trimestres usada para evaluar la suficiencia de número de muestras por estación para el análisis de tendencias. Fuente: Elaboración propia a partir de Oelsner et al. (2017).

Definición de trimestre basado en la división del año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
División I	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4
División II	4	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4
División III	4	4	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4

Ejemplo 7. Evaluación de criterios preliminares (porcentaje de datos censurados y presencia suficiente de datos trimestrales) para la determinación de tendencias.

La Tabla E7-1 muestra un extracto de los registros de magnesio total en la estación Mapocho en Los Almendros para el periodo 2000-2017 (n=96). Es importante notar que este registro no considera observaciones identificadas como *outliers*.

Tabla E7-1. Extracto de registros de magnesio total en Mapocho en Los Almendros entre años 2000 y 2017.

EstCodigo	ParCodigo	AguFecha	AguHora	AguValor	IndTipo
5722002	8260	04-01-1990	10:50:00	5,6	=
5722002	8260	03-04-1990	11:30:00	6,4	=
5722002	8260	10-07-1990	16:10:00	7,6	=
5722002	8260	02-10-1990	11:45:00	3,4	=
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
5722002	8263	20-04-2015	12:20	7,434	=
5722002	8263	12-08-2015	14:10	6,799	=
5722002	8263	05-10-2015	13:42	4,18850975	=
5722002	8263	12-04-2016	10:10	6,208	=
5722002	8263	11-07-2016	11:00	5,068	=
5722002	8263	12-10-2016	10:00	4,665	=
5722002	8263	16-01-2017	11:20	6,343	=

Del total de 96 registros, ninguno corresponde a algún dato censurado (IndTipo "<"). De esta forma, el magnesio total en Mapocho en Los Almendros cumple el primer criterio de que la cantidad de datos censurados sea menor al 50%.

El segundo criterio a evaluar corresponde a la existencia de muestras trimestrales durante los años 1990, 1991 o 1992 (uno de los tres) y 2015, 2016 y 2017 (uno de los tres), de acuerdo a las divisiones planteadas en la Tabla 11.

La Tabla E7-2 muestra la identificación de los trimestres para las muestras presentadas en la Tabla E7-1. En ella, se puede identificar que las muestras del año 1990 cubren los 4 trimestres. En el caso del año 2015, la muestra de abril podría corresponder a los trimestres 1 o 2, la muestra de agosto a los trimestres 2 o 3, y la muestra de octubre a los trimestres 4 o 1. De esta forma, a pesar de sólo contener 3 muestras, sí sería posible representar los 4 trimestres del año, con alguna muestra representando dos trimestres. Una situación similar se observa en el año 2016, mientras que en el año 2017, que cuenta con una sola muestra, en el mejor caso se podrían representar dos trimestres (1 y 4).

Ejemplo 7. Evaluación de criterios preliminares (porcentaje de datos censurados y presencia suficiente de datos trimestrales) para la determinación de tendencias.

Tabla E7-2. Identificación de trimestres cubiertos por las muestras presentadas en la Tabla E7-1.

EstCodigo	ParCodigo	AguFecha	Trimestre según Div. I	Trimestre según Div. II	Trimestre según Div. III
5722002	8260	04-01-1990	1	4	4
5722002	8260	03-04-1990	2	1	1
5722002	8260	10-07-1990	3	2	2
5722002	8260	02-10-1990	4	3	3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
5722002	8263	20-04-2015	2	1	1
5722002	8263	12-08-2015	3	3	2
5722002	8263	05-10-2015	4	3	3
5722002	8263	12-04-2016	2	1	1
5722002	8263	11-07-2016	3	2	2
5722002	8263	12-10-2016	4	3	3
5722002	8263	16-01-2017	1	4	4

En consecuencia, la estación cuenta con al menos un año del periodo 1990-1992 con suficientes muestras para representar los 4 trimestres (en este caso, el año 1990 analizado en la Tabla E7-2), así como 2 años durante el periodo 2015-2017 con suficientes muestras para representar los 4 trimestres (en este caso, 2015 y 2016). Así, el magnesio total en Mapocho en Los Almendros cumple el segundo criterio.

Finalmente, el tercer criterio preliminar es que el 70% de los años presenten muestras al menos trimestrales. La Tabla E7-3 muestra la cantidad de trimestres que se pueden representar con las muestras de cada año.

Ejemplo 7. Evaluación de criterios preliminares (porcentaje de datos censurados y presencia suficiente de datos trimestrales) para la determinación de tendencias.

Tabla E7-3. Cantidad de trimestres representados por año para magnesio total en estación Mapocho en Los Almendros.

Año	# Trimestres Representados	Año	# Trimestres Representados	Año	# Trimestres Representados
1990	4	2000	4	2010	4
1991	4	2001	4	2011	4
1992	4	2002	4	2012	4
1993	4	2003	4	2013	4
1994	0	2004	4	2014	4
1995	0	2005	3	2015	4
1996	0	2006	4	2016	4
1997	3	2007	4	2017	2
1998	4	2008	3		
1999	4	2009	4		

Del total de 28 años, siete (1994, 1995, 1996, 1997, 2005, 2008, 2017); es decir, el 75% de las estaciones tienen datos trimestrales, cumpliendo el criterio establecido.

La definición de los periodos estacionales para el análisis de Kendall se realizó a partir de la estimación automática del modelo en base a los datos disponibles. Esta definición puede ser realizada por el usuario en base al conocimiento de la variabilidad estacional en la calidad del agua en la zona de estudio. Sin embargo, esto está acotado por la definición de la estacionalidad de las campañas de muestreo, que deberían considerar esta variabilidad, por lo que la estimación del modelo es la mejor disponible dada la gran cantidad de estaciones a analizar.

Además, en ESTREND se establecen criterios para evaluar si un registro de calidad del agua tiene un número suficiente de observaciones y una densidad de datos suficiente durante el período de interés para evaluar la tendencia, y sólo para estos datos se estiman las tendencias. Así, para cada estación y parámetro se realizó una validación de los criterios establecidos para verificar que tuvieran una disponibilidad de datos adecuada. Un extracto de esta validación se presenta en la Tabla 12. El detalle completo de esta validación puede revisarse en el Anexo 8.4 (Tabla 25).

Cabe señalar que una limitación del análisis es la falta de toma de muestras con frecuencias adecuadas y similares en los distintos años del periodo de análisis y la falta de datos de caudal que permitan corregir el modelo mediante esta importante variable.

Tabla 12. Extracto de validación de suficiencia de datos en estaciones y parámetros para análisis de tendencias. Fuente: Elaboración propia.

	Arsenico	Calcio	Cloruro	Hierro	CE	Mg	OD	pH	Potasio	Sodio	Sulfato	Temp
03404001-K	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK
03414001-4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	no data	OK	OK	OK	OK
03421001-2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK
03802001-3	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK
03803001-9	no data	OK	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK
03806001-5	OK	OK	OK	short record	OK	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK
03815001-4	OK	OK	OK	no data	OK	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK
03823001-8	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK
03826001-4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK
04301001-8	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04302001-3	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04302003-K	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04302004-8	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Finalmente, se procedió a realizar el cálculo de tendencias. La Tabla 13 muestra un extracto de los resultados de este análisis. En ella se muestra, para cada estación y parámetro que cumple las condiciones establecidas, la tendencia como cambio en unidades reales (Tend) y porcentuales (% Tend), el valor p o significancia estadística (un valor $p < 5\%$ se considera significativo) y la dirección de la tendencia. El detalle completo de la dirección de la tendencia puede revisarse en el Anexo 8.4 (Tabla 26).

Tabla 13. Extracto de resultados de análisis de tendencia. Fuente: Elaboración propia.

Estación	Parámetro	Prueba	N° años	Temporadas por año	N °obs	Tend	Tend %	P.value	Tend dirección
03404001-K	Arsenico	uncensored seasonal Kendall	28	6	89	0.000	0.391	0.669	none
03404001-K	Calcio	uncensored seasonal Kendall	28	6	87	2.791	1.753	0.000	up
03404001-K	Cloruro	uncensored seasonal Kendall	28	6	85	1.005	1.287	0.000	up
03404001-K	Hierro	uncensored seasonal Kendall	28	6	87	-0.004	-0.239	0.949	none
03404001-K	CE	uncensored seasonal Kendall	28	6	89	13.253	0.919	0.001	up
03404001-K	Mg	uncensored seasonal Kendall	28	6	88	0.499	1.465	0.000	up
03404001-K	pH	uncensored seasonal Kendall	28	6	95	0.013	0.165	0.114	none
03404001-K	Potasio	uncensored seasonal Kendall	28	6	85	0.051	0.963	0.055	none
03404001-K	Sodio	uncensored seasonal Kendall	28	6	82	1.654	1.406	0.000	up
03404001-K	Sulfato	uncensored seasonal Kendall	28	6	82	6.166	1.191	0.003	up
03404001-K	Temp	uncensored seasonal Kendall	28	6	95	-0.043	-0.266	0.234	none
03414001-4	Arsenico	censored seasonal Kendall	28	6	91	0.000	2.381	0.021	up
03414001-4	Calcio	uncensored seasonal Kendall	28	6	86	1.391	1.705	0.000	up
03414001-4	Cloruro	uncensored seasonal Kendall	28	6	85	0.227	1.388	0.011	up
03414001-4	Hierro	uncensored seasonal Kendall	28	6	85	0.047	5.177	0.007	up
03414001-4	CE	uncensored seasonal Kendall	28	6	87	5.183	0.843	0.000	up
03414001-4	Mg	uncensored seasonal Kendall	28	6	88	0.314	1.916	0.000	up
03414001-4	Potasio	uncensored seasonal Kendall	28	6	84	0.044	1.896	0.003	up
03414001-4	Sodio	uncensored seasonal Kendall	28	6	86	0.087	0.395	0.115	none
03414001-4	Sulfato	uncensored seasonal Kendall	28	6	82	3.267	1.778	0.000	up
03414001-4	Temp	uncensored seasonal Kendall	28	6	97	-0.142	-0.922	0.003	down
03421001-2	Arsenico	censored seasonal Kendall	28	6	89	0.000	3.704	0.004	up

3.2.6 Cálculo de indicadores

De acuerdo a lo indicado en los términos de referencia del estudio, se calculó el indicador ODS 6.3.2 "Porcentaje de cuerpos de agua de buena calidad", considerando estaciones superficiales se encuentren vigentes (excluyendo lagos y embalses). Lo que se entiende por cuerpo de agua es delimitado por cada país; en este caso, la DGA decidió utilizar la cuenca como cuerpo de agua. Este indicador fue calculado utilizando los datos de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

La metodología de cálculo del indicador se presenta en la minuta DCPRH N°11/2019 (Dirección General de Aguas, 2019a); no obstante, esta se detalla a continuación:

3.2.6.1 Parámetros a considerar

La metodología recomienda algunos parámetros básicos a considerar para cuerpos de agua superficial: oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, nitrógeno oxidado total (nitrito + nitrato), ortofosfato y pH. En caso que algún parámetro básico no disponga de datos suficientes, es posible utilizar los parámetros alternativos indicados en la Tabla 14. No obstante, en el caso particular del nitrógeno y del fósforo cada país puede incluir las fracciones de estos elementos que sean más relevantes en el contexto nacional.

Tabla 14. Parámetros alternativos a los parámetros básicos recomendado. Fuente: Adaptado de Dirección General de Aguas (2019a).

Parámetro básico	Parámetro alternativo
Oxígeno disuelto	No tiene
Conductividad eléctrica	Salinidad, Sólidos disueltos totales
Nitrógeno oxidado total (nitrito + nitrato)	Nitrógeno total, nitrito, nitrógeno amoniacal
Ortofosfato	Fósforo total
pH	No tiene

En la base de datos de la DGA, la mayoría de las estaciones cuenta con los parámetros básicos oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, fósforo de ortofosfato y pH, por lo que se usaron estos parámetros. En el caso del nitrógeno, las formas medidas por la DGA en forma más sistemática son nitrógeno de nitrato y nitrógeno de nitrito + nitrato. En atención a que cada país puede determinar la especie más relevante para nitrógeno y fósforo, estas dos especies fueron utilizadas en el caso del nitrógeno (por solicitud del mandante). Junto con el mandante, se determinó que, en caso de haber ambas mediciones en una misma fecha, la medición de nitrógeno de nitrato tiene prioridad.

3.2.6.2 Determinación de umbrales de calidad

Los valores de las mediciones deben ser comparados con umbrales, los cuales permiten definir si los valores observados indican una calidad buena o no buena del agua. Estos umbrales se definieron para cada estación y parámetro de acuerdo a la siguiente prioridad:

- 1) Valores indicados en las Normas Secundarias de Calidad de Agua²
- 2) Percentiles 5 (umbral inferior, para pH y oxígeno disuelto) y 95 (umbral superior, para pH y el resto de los parámetros). Los umbrales deben calcularse con un mínimo de un año de datos y con un mínimo de 20 datos. Debido a esto, el cálculo de los umbrales se realizó con los datos generados entre el 2000 y 2014 (inclusive), excluyendo *outliers*.
- 3) Valores indicados en normas de uso de agua, como puede ser la norma de riego (NCh 1.333/78), la norma para agua de contacto directo (D.S. 143/2009), la norma de agua para vida acuática (NCh 1.333/78). Es importante notar que los umbrales determinados con este criterio son iguales para todas las estaciones.

En relación a los umbrales utilizados obtenidos de norma:

- 1) Se cambió la unidad de expresión de las concentraciones de ortofosfato contenidas en las normas de las cuencas del Biobío y Valdivia para que las unidades sean coherentes con las de la BDD. Los valores indicados en la norma se multiplicaron por 0,33 para convertirlos de mg/L PO₄ a mg/L PO₄-P, de acuerdo al factor de conversión indicado en la minuta.
- 2) La norma de riego no presenta un valor único para conductividad eléctrica, sino distintos rangos. En este caso, se optó por el segundo umbral definido por la norma (1.500 µS/cm), ya que este nivel sólo presenta efectos adversos en cultivos sensibles.

² Las normas secundarias de calidad de agua vigentes corresponden a: cuenca del río Biobío, cuenca del río Maipo, lago Villarica, lago Llanquihue, y cuenca del río Serrano. Hay una NSCA asociada a la cuenca del río Valdivia no vigente, pero que se considera para efectos del cálculo del indicador.

Ejemplo 7. Identificación de umbrales de calidad del agua en estación Mapocho en Los Almendros para cálculo de indicador 6.3.2

La estación Mapocho en Los Almendros cuenta con valores establecidos en la NSCA de la cuenca del Río Maipo, los cuales se presentan en la Tabla E7-1. Pese a esto, el siguiente ejemplo contempla el cálculo de umbrales a partir de los datos de calidad del agua del periodo 2000 – 2014 (segundo criterio).

Tabla E7-1. Umbrales para parámetros de calidad del agua en estación Mapocho en Los Almendros.

Parámetro	Unidad	Límite Inferior	Límite Superior
Oxígeno disuelto	mg/l O ₂	8	NA
Conductividad específica 25 ^a C	μS/cm	NA	400
Nitrógeno de nitrato	mg/l N-NO ₃	NA	1,5
Fosforo de ortofosfato	mg/l P-PO ₄	NA	0,08
pH	unid. pH	6,5	8,5

La Tabla E7-2 presenta un extracto de los valores medidos de nitrógeno de nitrato (ParCódigo 6240) y nitrógeno de nitrito + nitrato (ParCodigo 6250) en la estación Mapocho en Los Almendros. Como esta presenta más de 20 datos en el periodo utilizado como referencia (2000 – 2014), pueden calcularse los umbrales a partir de este criterio. El cálculo de los umbrales mediante este criterio (percentiles 5 y 95) se realiza excluyendo *outliers*, por lo que estos son identificados (fila naranja) y eliminados de los valores a utilizar (columna ValorCálculo).

Tabla E7-2. Extracto de registros asociados a pH (ParCodigo 6310) en la estación Mapocho en Los Almendros.

EstCodigo	ParCodigo	AguFecha	AguHora	AguValor	Outlier	ValorCálculo
5722002	6240	05-02-1986	10:45:00	0,22		0,22
5722002	6240	05-01-1987	15:50:00	0,7		0,7
5722002	6240	03-07-1987	12:21:00	0,43		0,43
5722002	6240	06-04-1988	16:40:00	0,39		0,39
5722002	6240	06-07-1988	14:30:00	0,75		0,75
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
5722002	6240	26-09-2008	11:56:00	5	Outlier	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
5722002	6250	06-11-2012	14:50:00	0,568		0,568
5722002	6250	30-05-2013	11:55:00	1,068		1,068
5722002	6250	14-10-2014	10:50:00	0,615		0,615

Ejemplo 7 (continuación). Identificación de umbrales de calidad del agua en estación Mapocho en Los Almendros para cálculo de indicador 6.3.2

Una vez identificados los valores con los que se calcularán los umbrales, es posible calcular los percentiles 5 y 95. En el caso del nitrógeno, este solo contempla umbral superior, por lo que sólo debería calcularse el percentil 95. No obstante, ambos umbrales (inferior y superior) se presentan en la Tabla E7-3.

Tabla E7-3. Umbrales inferior y superior para nitrógeno en estación Mapocho en Los Almendros a partir de datos históricos de la estación (2000 – 2014).

Parámetro	Unidad	Límite Inferior	Límite Superior
Nitrógeno de nitrato	mg/l N-NO ₃	0,326*	1,222

* NOTA: Si bien es posible calcular el umbral inferior (percentil 5 de los datos) para nitrógeno, este valor no se utiliza dado que este parámetro solo contempla umbral superior.

En la eventualidad que la estación no cuente con valores indicados en una NSCA o con información suficiente para establecer los umbrales a partir de información histórica, los umbrales se determinan a través de distintas normas de uso de agua. La Tabla E7-4 presenta los umbrales según la norma de agua para riego (NCh1333/78), agua para recreación con contacto directo (D.S. 143/20009) y para vida acuática (NCh1333/78).

Tabla E4-2. Umbrales Extracto de registros asociados a pH (ParCodigo 6310) en la estación Mapocho en Los Almendros.

Parámetro	Agua para riego		Agua para recreación con contacto directo		Agua para vida acuática	
	Límite Inferior	Límite Superior	Límite Inferior	Límite Superior	Límite Inferior	Límite Superior
Oxígeno disuelto	NA	NA	NA	NA	5	NA
Conductividad específica 25°C	NA	1500	NA	NA	NA	NA
Nitrógeno de nitrato	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Fosforo de ortofosfato	NA	NA	NA	NA	NA	NA
pH	5,5	9,0	6,0	8,5	6,0	9,0

3.2.6.3 Evaluación de la calidad

La evaluación de la calidad se realizó mediante la comparación de los resultados (incluyendo *outliers*, considerando un criterio conservador) de las mediciones de calidad de agua con los valores umbrales determinados en el paso anterior. Esta comparación se realiza mediante un porcentaje de cumplimiento, el que se calculará, para cada parámetro y por estación, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$C_{wq} = \frac{n_c}{n_m} \times 100$$

Donde:

C_{wq} es el porcentaje de cumplimiento (%)

n_c es el número de valores monitoreados que cumplen el umbral

n_m es el número de mediciones realizadas

El porcentaje de cumplimiento para cada estación se determinó como el promedio aritmético (sin ponderación) entre los porcentajes de cumplimiento de cada parámetro básico. Es importante notar que una estación no siempre va a tener el porcentaje de cumplimiento asociado para cada uno de los 5 parámetros, por ejemplo, por la falta de datos o la falta de un valor umbral. Se optó, en conjunto con el mandante, por calcular el cumplimiento para todas las estaciones, independiente de esta falta de datos. Finalmente, la calidad del agua en la cuenca se determina como el promedio aritmético (sin ponderación) de las estaciones en la cuenca.

La calidad del agua, tanto a nivel de estación como de cuenca, fue evaluada como "buena" si el porcentaje de cumplimiento es igual o superior al 80%; en caso contrario, fue evaluado como "no buena".

Se consideran estaciones vigentes y superficiales (Figura 18). Los resultados de este análisis se presentaron por estación, siguiendo el ejemplo de la Tabla 15, según lo indicado en los términos de referencia del estudio. Adicionalmente, se presentaron los resultados del indicador por cuenca, también calculado en este estudio, siguiendo el ejemplo de la Tabla 16. Las estaciones con resultados se presentan en la Tabla 27 del Anexo 8.5

Tabla 15. Resultado de indicador de aguas superficiales por estación (ejemplo). Fuente: Elaboración propia.

Código BNA	Año	Parámetros	C _{wq_} estación % cumpl.	N° de parámetros
01001002-0	2015	CE,N,OD,pH	75	4
01001002-0	2016	CE,N,OD,pH	92	4
01001002-0	2017	CE,N,OD,pH	88	4
01001002-0	2018	CE,OD,pH	83	3
01010002-K	2015	CE,N,OD,pH	92	4
01010002-K	2016	CE,N,OD,pH	92	4
01010002-K	2017	CE,N,OD,pH	83	4
01010002-K	2018	CE,N,OD,pH	79	4
01020002-4	2015	CE,N,OD,pH	92	4
01020002-4	2016	CE,N,OD,pH	92	4
01020002-4	2017	CE,N,OD,pH	75	4
01020004-0	2015	CE,N,OD,pH	92	4
01020004-0	2016	CE,N,OD,pH	83	4
01020004-0	2017	CE,OD,pH	100	3
01020004-0	2018	CE,OD,pH	83	3

Tabla 16. Resultado de indicador de aguas superficiales por cuenca (ejemplo). Fuente: Elaboración propia.

COD_CUEN	Nombre	Año	C _{wq_} cuenca %	N° Parámetros considerados	N° Estaciones	Tipo (1 o 0)
10	ALTIPLANICAS	2015	89	41	11	Buena
10	ALTIPLANICAS	2016	88	44	11	Buena
10	ALTIPLANICAS	2017	90	42	11	Buena
10	ALTIPLANICAS	2018	83	34	9	Buena
12	RIO LLUTA	2015	78	15	4	No Buena
12	RIO LLUTA	2016	73	17	5	No Buena
12	RIO LLUTA	2017	82	15	5	Buena
12	RIO LLUTA	2018	70	18	5	No Buena
13	RIO SAN JOSE	2015	79	4	1	No Buena
13	RIO SAN JOSE	2016	92	4	1	Buena
13	RIO SAN JOSE	2017	78	3	1	No Buena
13	RIO SAN JOSE	2018	92	4	1	Buena

Ejemplo 8. Evaluación de la calidad del agua en estación Mapocho en Los Almendros y cuenca del Río Maipo

La Tabla E8-1 presenta un extracto de los registros de nitrógeno de nitrato y nitrógeno de nitrato + nitrito en la estación Mapocho en Los Almendros para el periodo de evaluación (2015 – 2018). De acuerdo a la metodología, en el caso de que ambos parámetros estén medidos en un mismo día, el nitrógeno de nitrato toma preferencia, por lo cual los registros indicados en naranja no se consideran en el cálculo (columna ValorCálculo).

Tabla E8-1. Extracto de los registros de nitrógeno de nitrato y nitrógeno de nitrito en estación Mapocho en Los Almendros, 2015 - 2018.

EstCodigo	ParCodigo	AguFecha	AguHora	AguValor	ValorCálculo
5722002	6240	14-01-2015	11:50:00	0,267	0,267
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
5722002	6240	12-10-2016	10:00:00	0,562	0,562
5722002	6250	12-10-2016	10:00:00	0,573	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
5722002	6240	16-01-2017	11:20:00	0,492	0,492
5722002	6250	16-01-2017	11:20:00	0,535	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
5722002	6240	06-11-2018	10:18:00	0,393	0,393

Posteriormente se calcula el cumplimiento del parámetro, comparando con los umbrales identificados. En este caso en particular, se considera que los registros cumplen si los valores son inferiores a 1,5 mg/l N-NO₃, valor indicado en la NSCA. La Tabla E8-2 presenta la evaluación del cumplimiento para el año 2016.

Tabla E8-2. Evaluación de cumplimiento para nitrógeno de nitrato y nitrógeno de nitrito en estación Mapocho en Los Almendros, 2016.

EstCodigo	ParCodigo	AguFecha	AguHora	ValorCálculo	Cumplimiento
5722002	6240	26-01-2016	10:15:00	0,453	1
5722002	6240	10-02-2016	12:05:00	0,336	1
5722002	6250	12-04-2016	10:10:00	0,207	1
5722002	6240	18-05-2016	9:51:00	0,649	1
5722002	6250	13-06-2016	11:07:00	1,199	1
5722002	6250	11-07-2016	11:00:00	0,9	1
5722002	6240	23-08-2016	11:01:00	0,819	1
5722002	6240	12-09-2016	11:40:00	0,76	1
5722002	6240	12-10-2016	10:00:00	0,562	1
5722002	6240	02-11-2016	9:50:00	0,628	1
5722002	6240	14-12-2016	11:10:00	0,614	1

Ejemplo 8 (continuación). Evaluación de la calidad del agua en estación Mapocho en Los Almendros y cuenca del Río Maipo

El cálculo del cumplimiento por parámetro se determina a partir de la división entre el total de observaciones que cumplen y el total de mediciones. En este caso, el cumplimiento para nitrógeno sería el siguiente:

$$C_{wq} = \frac{n_c}{n_m} \times 100 = \frac{11}{11} \times 100 = 100\%$$

El cumplimiento para los 5 parámetros se presenta en la Tabla E8-3.

Tabla E8-3. Cumplimiento por parámetro en estación Mapocho en Los Almendros, año 2016.

Parametro	Observaciones con cumplimiento	Total de observaciones	Cumplimiento (%)
pH	9	11	81,8
Conductividad eléctrica	11	11	100,0
Oxígeno disuelto	11	11	100,0
Nitrógeno de nitrato	11	11	100,0
Fósforo de ortofosfato	9	10	90,0

Luego, el cumplimiento por estación se calcula como el promedio aritmético de los cumplimientos por parámetro, es decir:

$$C_{wq,estación} = \frac{81,8 + 100 + 100 + 100 + 90}{5} = 94,4$$

Posteriormente se calcula el cumplimiento por cuenca, como el promedio aritmético de los cumplimientos por estación. La Tabla E8-4 presenta un extracto de los cumplimientos por estación en la cuenca del Río Maipo para el año 2016.

Tabla E8-4. Cumplimiento por estación en cuenca Río Maipo, año 2016.

Estación	Cumplimiento (%)
05701002-9	92,7
05702006-7	93,8
05703003-8	93,8
⋮	⋮
05746001-6	94,5
05748001-7	98,0

Ejemplo 8 (continuación). Evaluación de la calidad del agua en estación Mapocho en Los Almendros y cuenca del Río Maipo

De esta forma, el cumplimiento a nivel de cuenca es:

$$C_{wq,cuenca} = \frac{92,7 + 93,8 + 93,8 + \dots + 94,5 + 98,0}{22} = 92,8$$

El cumplimiento a nivel de la cuenca es superior al 80%, por lo que es calificada como cuerpo de agua con calidad "buena".

3.2.6.4 Cálculo del indicador 6.3.2

El indicador de "cuerpos de agua de buena calidad" del país se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$WBGQ = \frac{n_g}{n_t} \times 100$$

Donde:

WBGQ es el porcentaje de cuerpos de agua (cuencas) clasificados como de buena calidad

n_g es el número de cuerpos de agua (cuencas) con una buena calidad

n_t es el número total de cuerpos de agua (cuencas) monitoreados y clasificados

Los resultados del indicador se presentan en la Tabla 17, donde se indica el número de cuencas con buena calidad de agua (ng_cuenca), el total de cuencas (nt_cuenca) y el indicador respectivo (WBGQ).

Tabla 17. Resultado de indicador de aguas superficiales a nivel país. Fuente: Elaboración propia.

Año	ng_cuenca	nt_cuenca	WBGQ
2015	25	49	51
2016	36	50	72
2017	36	50	72
2018	38	50	76

Ejemplo 9. Cálculo del indicador 6.3.2 “Proporción de cuerpos de agua de buena calidad”

La Tabla E9-1 presenta un extracto de los cumplimientos por cuenca para el año 2016, junto con la evaluación de la calidad en las categorías “buena” o “no buena”.

Tabla E9-1. Cumplimiento por estación en cuenca Río Maipo, año 2016.

Código Cuenca	Cumplimiento (%)	Clasificación
10	87,9	Buena
12	73,3	No Buena
13	91,7	Buena
⋮	⋮	⋮
128	91,1	Buena
129	100,0	Buena

El número de cuencas con buena calidad en 2016 es de 36, sobre un total de 50 cuencas evaluadas. De esta forma, el indicador 6.3.2 es el siguiente, de acuerdo a la fórmula:

$$WBGQ = \frac{n_g}{n_t} \times 100 = \frac{36}{50} \times 100 = 72,0$$

Pese a que se optó con el mandante por considerar todas las estaciones, independiente de la cantidad de parámetros con la que se pudo calcular el indicador, la Tabla 18 muestra los resultados del indicador considerando únicamente aquellas estaciones que cuentan con los 5 parámetros básicos. Se puede notar una disminución importante en el número de cuencas con las que se calcula el indicador (de 50 a 3 para 2016), además de una mayor variabilidad en el valor del indicador.

Tabla 18. Resultado de indicador de aguas superficiales a nivel país, considerando cuencas con % cumplimiento para los 5 parámetros. Fuente: Elaboración propia.

Año	ng_cuenca	nt_cuenca	WBGQ
2015	1	1	100
2016	2	3	67
2017	2	3	67
2018	1	3	33

4 IMPLEMENTACIÓN SQL

Los datos entregados por la DGA fueron traspasados a una base de datos relacional, montada sobre un motor de base de datos (PostgreSQL), mediante un proceso de Extract, Transform and Load («extraer, transformar y cargar», frecuentemente abreviado ETL). Durante este proceso se genera rechazo de datos que fue revisado y validado (el caso de la hora indicado como 24, fue modificado a 0). Inicialmente el principal rechazo se debía principalmente a parámetros sin descripción; sin embargo, el nuevo archivo de parámetros entregado por la DGA disminuyó el número de datos rechazados. El rechazo actualmente se debe a datos de estaciones que no tienen descripción en el archivo de estaciones, ya que probablemente corresponden a Lagos, pero no se eliminan al filtrar por CA y a los datos identificados por LE. El rechazo es de 9,8%, donde 9,5% es por ser LE.

El almacenamiento de los datos se realizó de manera centralizada y con un formato estandarizado. Para ello se utilizó un diseño de la base de datos con orientación analítica, denominada *Data Mart* (o *Data Warehouse* en su caso más general). Un *Data Mart* corresponde a una base de datos relacional con un modelo de datos conocido como dimensional (o estrella). Los modelos dimensionales permiten modelar lógicamente los datos en base a sus características, facilitando el entendimiento de su estructura, simplificando la generación de reportes, y optimizando el tiempo de respuesta ante consultas. Este se compone de una tabla de hechos, las cuales almacenan las métricas (en este caso, los valores de las mediciones realizadas en cada estación), rodeadas de tablas dimensionales, las cuales caracterizan a cada hecho almacenado, ya que contienen información detallada en cuanto a cada una de las propiedades del dato que se pretende almacenar (en este caso, las dimensiones almacenan datos de contextos en relación a cada medición). Los atributos de cada dimensión permiten crear alternativas de visualización para los hechos, por ejemplo, que se pueda observar con facilidad la evolución semestral, anual o quinquenal de una medición, agrupada por cuencas.

La Figura 14 muestra un bosquejo del modelo dimensional de la BDB con orientación analítica que se construyó.

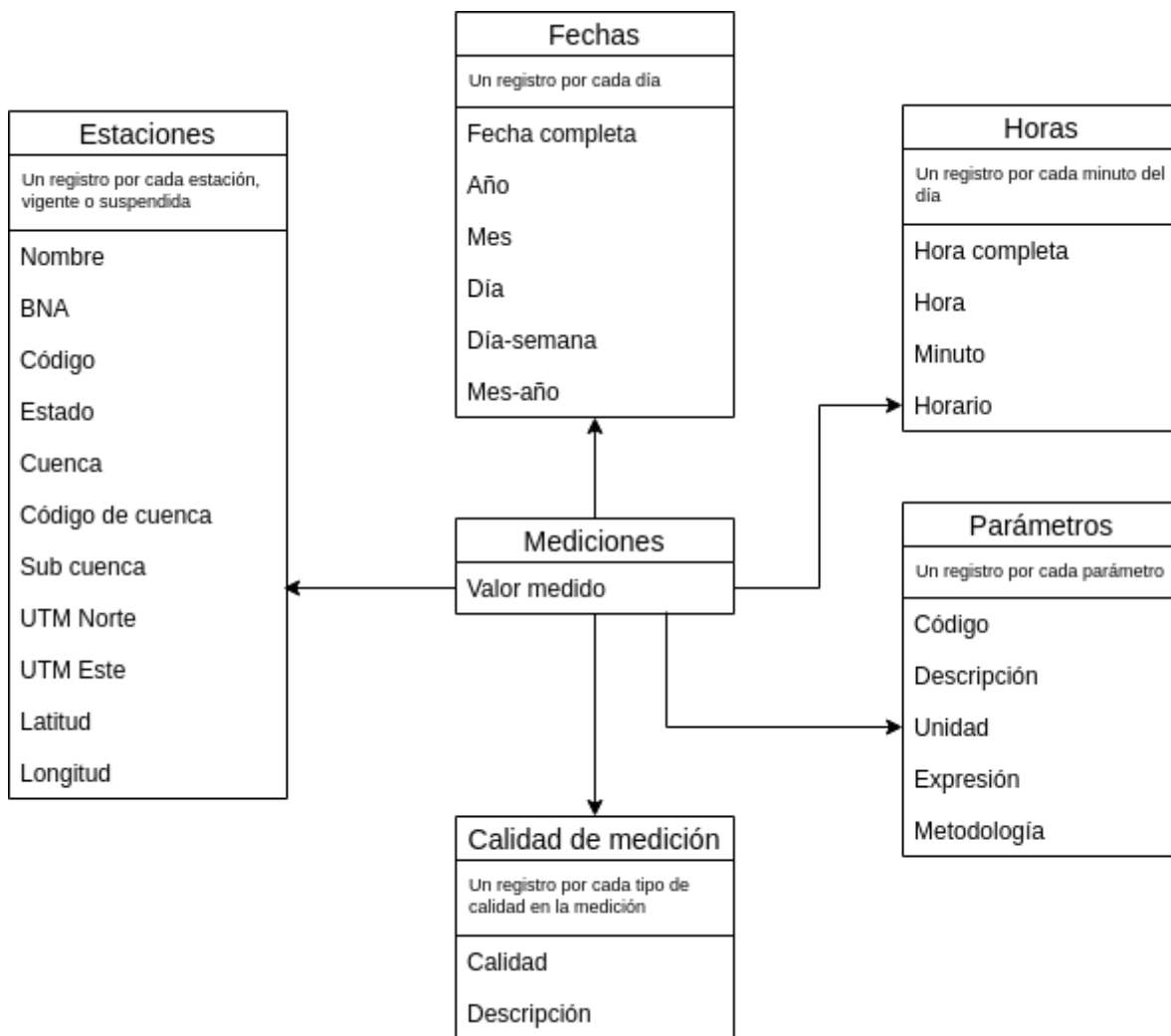


Figura 14. Bosquejo diseño base de datos con orientación analítica para almacenar mediciones históricas brutas (BDB). Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente los datos fueron sometidos a validación experta (criterios de depuración, ver sección 3.2.2) implementada en R y se genera la base de datos depurada (BDD) (Figura 15). Esta BDD es utilizada para generar análisis estadísticos y la Geodatabase para generar mapas (Figura 16).

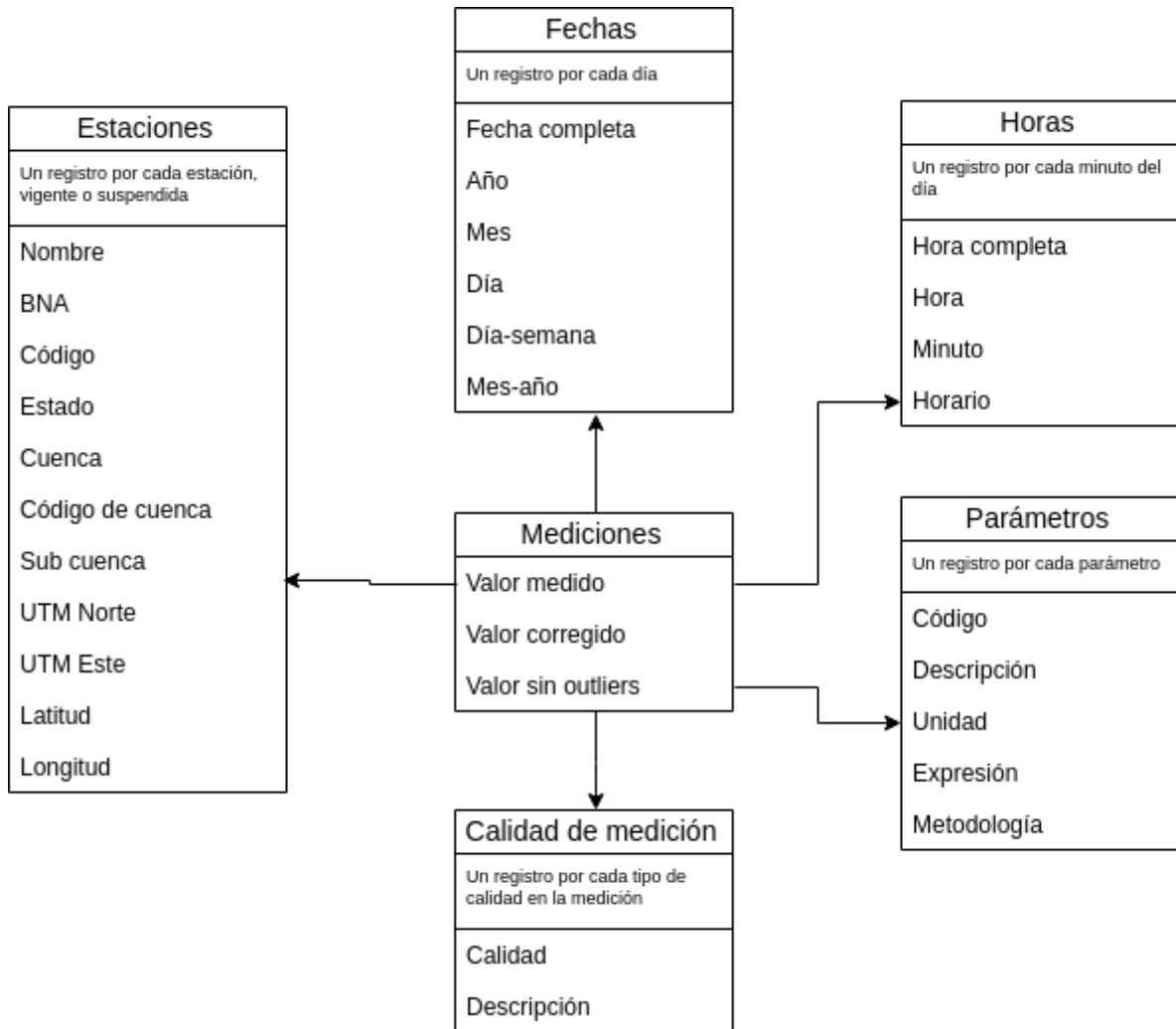


Figura 15. Bosquejo diseño base de datos con orientación analítica para almacenar mediciones históricas depuradas (BDD). Fuente: Elaboración propia.

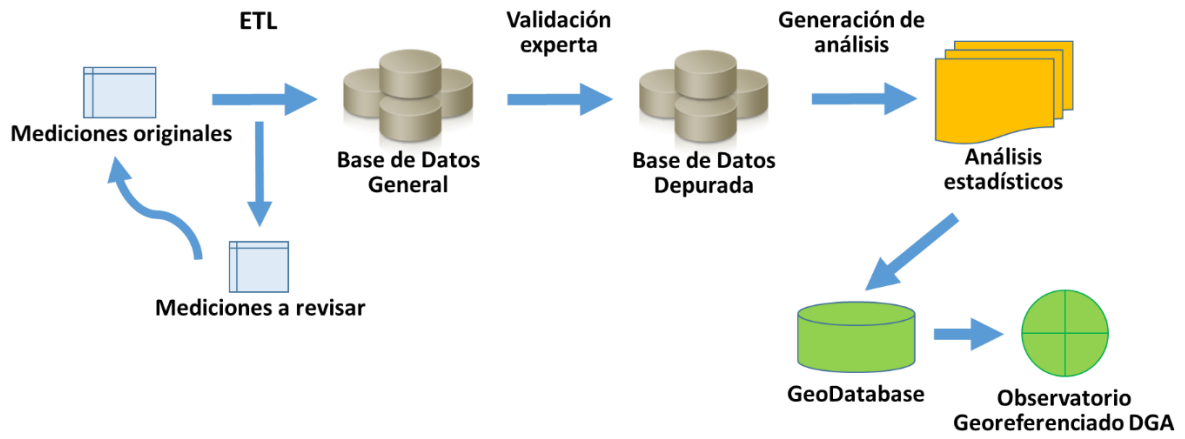


Figura 16. Esquema de manejo de datos. Fuente: Elaboración propia.

5 GENERACIÓN DE MAPAS

Utilizando la plataforma acordada con el mandante (ArcGIS 10.3.1), se elaboró diversos mapas con la información generada en las etapas anteriores. Específicamente, se generó 5 capas con información geoespacial, las que serán implementados en la plataforma del Observatorio Georeferenciado de la DGA, en forma de visor de mapas y SQLServer como gestor de base de datos.

Las capas de información geoespacial elaboradas son: promedios de concentraciones, nombres de gráficos (boxplot, evolución temporal y ficha), ICA por estación, ICA por cuenca y tendencia temporal. Estas capas fueron almacenadas en formato *shapefile*.

Además de la entrega de la información geoespacial en formato *shapefile*, se construyó una base de datos geoespacial para alimentar un visor de mapas web. El esquema inicial se construyó a partir de las entidades de base disponibles en la Mapoteca de la DGA: estaciones, cuencas y drenaje. Este esquema fue volcado en una Geodatabase (GDB) de archivos (File GDB), que permite almacenar datos espaciales y no espaciales. En este caso, los datos no espaciales corresponden a las tablas de síntesis para los parámetros de la BDD estudiados y analizados en la etapa anterior. Esta GDB también almacena internamente las fichas y boxplot asociados a cada estación, en forma de dato adjunto.

La principal ventaja de trabajar con una GDB de archivos es que, al tratarse de una base de datos relacional, permite la integración en una sola base de datos de las capas geográficas y de las tablas de datos, además de todas las reglas de integridad geográficas. Otra ventaja de este formato es que permite almacenar los metadatos de los elementos de la GDB en sus propias tablas. Esto significa, por ejemplo, que las capas geográficas pueden ser copiadas o compartidas con los metadatos de la capa. Para este trabajo se usó el estándar de metadatos ISO 19115 o ISO 19139. Finalmente, otra ventaja de trabajar con una GDB es la facilidad de integración con Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), como por ejemplo la IDE del Ministerio de Obras Públicas.

6 TALLER DE DIFUSIÓN

De acuerdo a lo estipulado en las bases, el día 26 de noviembre de 2019 se realizó un Taller de difusión de los resultados, en Los Nogales Hotel & Convention Center, ubicado en Los Nogales 741, Providencia, Santiago. El Taller contó con el programa que se detalla en la Figura 17. Un registro de este taller se encuentra en el Anexo 8.6.

Se destaca la participación de Stuart Warner, del UN Environment – GEMS/Water Capacity Development Centre, miembro del equipo encargado del desarrollo de la metodología internacional para el cálculo del indicador ODS 6.3.2.

	10:00-10:30 Acreditación
MODULO 1	10:30-10:45 Bienvenida
	10:45-11:00 Mapa hidroquímico de Chile: contexto institucional (DGA)
	11:00-11:20 Mapa hidroquímico de Chile: metodología y resultados (DICTUC)
	11:20-11:40 Coffee Break
MODULO 2	11:40-11:55 Piloto Visualización en Plataforma DGA (DGA)
	11:55-12:15 Comentarios ODS 6.3.2 (UN Environment-GEMS/Water team)
	12:15-12:30 Comentarios y cierre



Figura 17. Programa del taller de difusión de los resultados.

7 REFERENCIAS

- ABASSI, T. & ABASSI, S. A. 2012. Why Water-Quality Indices. *In: ABASSI, T. & ABASSI, S. A. (eds.) Water Quality Indices*. Elsevier.
- ADDINSOFT 2018. Prueba de tendencias Mann-Kendall en Excel.
- BOLKS, A., DEWIRE, A. & HARCUM, J. B. 2014. Baseline assessment of left-censored environmental data using R.
- BROWN, G. A., PUSTAY, E. A. & GIBBS, J. 2003. Methods for Quality-Assurance Review of Water-Quality Data in New Jersey. West Trenton, NJ.
- CADE-IDEPE. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. 2003.
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS 2019a. Metodología de cálculo indicador 6.3.2 y consideraciones nacionales- Objetivo ODS 6. *In: HÍDRICOS, D. D. C. Y. P. D. R. (ed.)*.
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS 2019b. Resolución DGA (Exenta) N° 309 Aprueba bases administrativas y técnicas; y designa comisión de evaluación de la prestación de servicios personales denominada "Mapa Hidroquímico de Chile".
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, D. 2014. Análisis crítico de la red de calidad de aguas superficiales y subterráneas de la DGA. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos.
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, D. 2017. Diagnóstico y Desafíos de la Red de Calidad de Aguas Subterráneas de la DGA. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, U. S. 2000. Guidance for Data Quality Assessment: Practical Methods for Data Analysis (EPA QA/G-9 - QA00 Update).
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY n.d.-a. Eionet water and Waterbase.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY n.d.-b. Waterbase - Water quality.
- FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A. 1979. *Groundwater*.
- GOBIERNO DE CHILE 2017. Informe de Diagnóstico e Implementación de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Chile.
- HELSEL, D. R. & HIRSCH, R. M. 2002a. Methods for Data Below the Reporting Limit. *Statistical Methods in Water Resources*. United States Geological Survey.
- HELSEL, D. R. & HIRSCH, R. M. 2002b. Statistical methods in water resources. *In: SURVEY, U. S. G. (ed.) Techniques of Water-Resources Investigations Reports, Book 4: Hydrologic Analysis and Interpretation*.
- HEM, J. D. 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water.
- HIRSCH, R. M. & SLACK, J. R. 1984. A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data With Serial Dependence. *Water Resources Research*, 20, 727-732.
- KANSAS GEOLOGICAL SURVEY 2001. Water Quality of the Arkansas River in Southwest Kansas. *Open-file Report*.
- KOTERBA, M. T., SHEDLOCK, R. J., BACHMAN, L. J. & PHILLIPS, P. J. 1991. Regional and Targeted Groundwater Quality Networks in the Delmarva Peninsula. *In: NASH, R., G. & LESLIE, A. R. (eds.) Groundwater Residue Sampling Design*. Washington, D.C.: American Chemical Society.

- LEHMANN, A. & RODE, M. 2001. Long-term behaviour and cross-correlation water quality analysis of the river Elbe, Germany. *Water Research*, 35, 2153-2160.
- MARCHETTO, A. 2017. rkt: Mann-Kendall Test, Seasonal and Regional Kendall Tests. Paquete R versión 1.5.
- MCLEOD, A. I. 2011. Kendall: Kendall rank correlation and Mann-Kendall trend test. Paquete R versión 2.2.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, C. 2017. Guía para la elaboración de normas secundarias de calidad ambiental en aguas continentales y marinas. Santiago, Chile.
- OELSNER, G. P., SPRAGUE, L. A., MURPHY, J. C., ZUELLIG, R. E., JOHNSON, H. M., RYBERG, K. R., FALCONE, J. A., STETS, E. G., VECCHIA, A. V., RISKIN, M. L., DE CICCIO, L. A., MILLS, T. J. & FARMER, W. H. 2017. Water-Quality Trends in the Nation's Rivers and Streams, 1972–2012—Data Preparation, Statistical Methods, and Trend Results.
- PASTÉN, P., VEGA, A. S., GUERRA, P., PIZARRO, J. & LIZAMA, K. 2019. Water Quality in Chile: Progress, Challenges and Perspectives. In: VAMMEN, K., VAUX, H. & DE LA CRUZ MOLINA, A. (eds.) *Water Quality in the Americas: Risks and Opportunities*. Mexico: The Inter-American Network of Academies of Sciences (IANAS-IAP)
- PIZARRO, J., VERGARA, P. M., RODRÍGUEZ, J. A. & VALENZUELA, A. M. 2010. Heavy metals in northern Chilean rivers: Spatial variation and temporal trends. *Journal of Hazardous Materials*, 181, 747-754.
- POHLERT, T. 2018. trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. Paquete R versión 1.1.1.
- PUBLICATION OFFICE OF THE EUROPEAN UNION 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.
- SANFORD, R. F., PIERSON, C. T. & CROVELLI, R. A. 1993. An objective replacement method for censored geochemical data. *Mathematical Geology*, 25, 59-80.
- SCHERTZ, T. L., ALEXANDER, R. B. & OHE, D. J. 1991. The Computer Program Estimate Trend (ESTREND), a System for the Detection of Trends in Water-Quality Data. Reston, VA.
- STAUB, E. L., PEAK, K. L., TIGHE, K. C., SADORF, E. M. & HARNED, D. A. 2010. Data Used in Analyses of Trends, and Nutrient and Suspended-Sediment Loads for Streams in the Southeastern United States, 1973–2005.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY 2016. USGS-R Packages.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY. n.d.-a. *National Water-Quality Assessment (NAWQA)* [Online]. Available: <https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/national-water-quality-assessment-nawqa> 18/03/2019 [Accessed 18 de marzo de 2019 2019].
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY. n.d.-b. *RSQA: Regional Stream Quality Assessment (RSQA)* [Online]. Available: <https://webapps.usgs.gov/rsqa> 18/03/2019 [Accessed Recuperado 18 de marzo de 2019 2019].
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY. n.d.-c. *Water-Quality Changes in the Nation's Streams and Rivers* [Online]. Available: <https://nawqatrends.wim.usgs.gov/swtrends/> 18/03/2019 [Accessed].
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY n.d.-d. SPARROW modeling: Estimating nutrient, sediment and dissolved solids transport.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME 2008. Water Quality for Ecosystem and Human Health.

VEGA, A. S., LIZAMA, K. & PASTÉN, P. A. 2018. Water Quality: Trends and Challenges. *In: DONOSO, G. (ed.) Water Policy in Chile*. Cham: Springer.

8 ANEXOS

8.1 Estaciones de calidad del agua superficiales vigentes

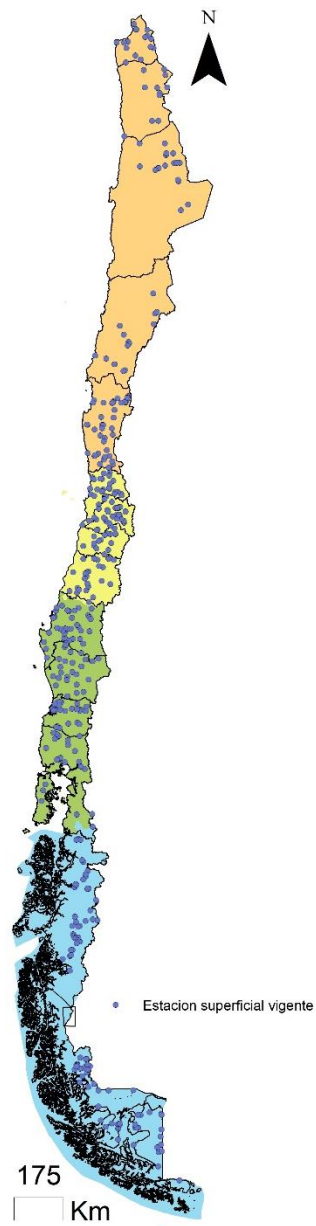


Figura 18. Ubicación de estaciones superficiales vigentes. Fuente: Elaboración propia.

8.2 Parámetros medidos en red de monitoreo DGA

La Tabla 19 corresponde a algunas columnas de la información corregida entregada por el mandante sobre los parámetros incluidos en la base de datos de calidad del agua. Inicialmente el mandante entregó el archivo "BNAT_Parametro.xlsx" (disponible en la licitación). Este archivo fue modificado y corregido durante la ejecución del proyecto por el mandante (por errores). Específicamente el archivo fue reemplazado por "Copia de Agrupacion_parametros_2019_comAV_dsm.xlsx". Este archivo contiene las claves con los datos de los parámetros medidos (nombre del parámetro, metodología de medición, unidad y expresión de la medición, y comentarios que indican si hay errores en su carga al BNA, principalmente de unidad).

Tabla 19. Parámetros y su metodología. Fuente: Información entregada por Dirección General de Aguas.

Código parámetro	Descripción	Metodología
8020	Aluminio disuelto	Espectrofotometria de absorción atomica
8025	Aluminio disuelto	Plasma
8021	Aluminio total	Espectrofotometria de absorción atomica
8022	Aluminio total	ICP-OES
8024	Aluminio total	Plasma
8041	Arsénico total	Manchas de bromuro de mercurio
8045	Arsénico total	Espectrofotometria de absorción atomica
6080	Bicarbonato	Titulacion
6100	Boro total	Curcumin colorimetria
8103	Cadmio total	Espectrofotometria de absorción atomica
8104	Cadmio total	ICP-OES
8120	Calcio total	Permanganato de potasio titulacion
8125	Calcio total	Espectrofotometria de absorción atomica
6120	Carbonato	Titulacion
6141	Cianuro total	Colorimetría piridina ácido barbiturico
5181	Clorofila a	?
6182	Cloruro total	Potenciométrico argentométrico titulacion
6183	Cloruro total	SM 4110 B
9911	Cobalto total	Espectrofotometria de absorción atomica
8140	Cobre disuelto	Neocuproina
8148	Cobre disuelto	Plasma
8145	Cobre total	Espectrofotometria de absorción atomica
8149	Cobre total	Plasma
7080	Coliformes fecales	Tubos múltiples
7082	Coliformes fecales	SM 9221 E

Código parámetro	Descripción	Metodología
7100	Coliformes totales	Tubos múltiples
5001	Color Verdadero	Platino Cobalto
5050	Compuestos Fenolicos	SM 5530 C
5020	Conductividad específica 25°C	Conductivímetro
8150	Cromo hexavalente disuelto	Espectrofotometria de absorción atómica
8151	Cromo hexavalente total	Espectrofotometria de absorción atómica
8152	Cromo total	Colorimetría
8153	Cromo total	ICP-OES
8156	Cromo total	Plasma
7020	DBO5	Incubación
7040	DQO	Reflujo dicromato de potasio colorimetría
8000	Dureza CaCO3	EDTA
6202	Fluoruro total	Electrodo
6220	Fosforo de ortofosfato	Colorimetría vanadomolibdofosforico
6310	Fosforo de ortofosfato	ácido ascórbico colorimetría
6311	Fosforo total	Espectrometría de absorción molecular
8200	Hierro disuelto	Fenantrolina colorimetría
8203	Hierro total	Espectrofotometria de absorción atómica
8240	Litio disuelto	Fotometría de llama
8260	Magnesio total	gravimetría
8263	Magnesio total	Espectrofotometria de absorción atómica
8280	Manganeso disuelto	Colorimetría persulfato
8281	Manganeso total	Colorimetría persulfato
8282	Manganeso total	ICP-OES
8283	Manganeso total	ICP-OES
8284	Manganeso disuelto	Plasma
8285	Manganeso total	Plasma
8300	Mercurio total	Ditizona
8303	Mercurio total	Espectrofotometria de absorción atómica
8320	Molibdeno total	Espectrofotometria de absorción atómica
8321	Molibdeno total	ICP-OES
8340	Niquel disuelto	Espectrofotometria de absorción atómica
8341	Niquel total	Espectrofotometria de absorción atómica
8342	Niquel total	ICP-OES
5010	Nitrogeno de amonio	SM 4500 NH3 BD
5011	Nitrogeno de amonio	SM 4500 NH3 BD

Código parámetro	Descripción	Metodología
6282	Nitrogeno de amonio	Titulaciòn
6240	Nitrogeno de nitrato	Espectrofotometria ultravioleta
6241	Nitrogeno de nitrato	SM 4500 NO3 B
6260	Nitrogeno de nitrito	NED-Dicloruro-Colorimetria
6261	Nitrogeno de nitrito	SM 4500 NO B
6250	Nitrogeno de nitrito + nitrato	Espectrofotometria de absorciòn atomica
9900	Nitrogeno Kjeldahl	?
6300	Nitrogeno organico	Kjeldahl titulacion
9901	Nitrogeno total	?
9902	Nitrogeno total	SM 4500 D N-org B
6000	Oxigeno disuelto	Yodometrico azida - titulacion
6001	Oxigeno disuelto	Electrodo de membrana
6020	pH	Potenciometrico
8361	Plata total	Espectrofotometria de absorciòn atomica
8380	Plomo disuelto	Ditizona-Colorimetria
8383	Plomo total	Espectrofotometria de absorciòn atomica
8384	Plomo total	ICP-OES
8400	Potasio total	Fotometria de llama
8403	Potasio total	Espectrofotometria de absorciòn atomica
9921	RAS	Calculo
5040	Salinidad	Electrometria
8420	Selenio total	Diaminobencidina
8422	Selenio total	Espectrofotometria de absorciòn atomica
8423	Selenio total	Espectrofotometria de absorciòn atomica
6321	Silice	Molibdosilicato colorimetria
8440	Sodio total	Espectrofotometria de absorciòn atomica
8441	Sodio total	Espectrofotometria de absorciòn atomica
5100	Solidos suspendidos totales	Gravimetria 103-105 °C
5101	Solidos suspendidos totales	SM 2540 D
6341	Sulfato	Turbidimetro
6342	Sulfato	SM 4110 B
5140	Temperatura del agua	Termometro
5180	Transparencia	Disco Secchi
5160	Turbiedad	Nefelometria
8460	Zinc disuelto	Ditizona
8468	Zinc disuelto	Plasma

Código parámetro	Descripción	Metodología
8465	Zinc total	Espectrofotometria de absorción atómica
8466	Zinc total	ICP-OES
8469	Zinc total	Plasma

8.3 Información adicional sobre la BDB y su depuración

La base de datos entregada por el mandante corresponde a un archivo de texto plano en formato csv (del inglés *comma-separated values*).

Esta base de datos contiene 1006 estaciones con datos de calidad (sin incluir aquellos datos marcados como LE), las cuales se muestran en la Tabla 20. Adicionalmente, contiene 99 códigos de parámetros únicos, que se presentan en la Tabla 21.

Tabla 20. Estaciones con datos. Fuente: Elaboración propia.

1000001	1700096	3940008	4714001	5704001	5744019	6041008	7376001	9102001	10904001	12865001
1000002	1720003	4120018	4715003	5704002	5744020	6043001	7376004	9104001	10904004	12872001
1000003	1720005	4120019	4715004	5704003	5745004	6053001	7378001	9105001	10904006	12876001
1000004	1730001	4301001	4716001	5704008	5745005	6054001	7379001	9106001	10906003	12876004
1001002	1730003	4301002	4716004	5704012	5745006	6055001	7379002	9107001	11020005	12878001
1001004	1730005	4301004	4721001	5706001	5746001	6055002	7379004	9111001	11022001	12930001
1010001	1730006	4302001	4723001	5707002	5746007	6056001	7383001	9113001	11024000	
1010002	1730010	4302002	4724000	5707004	5746008	6056002	7384001	9113002	11034002	
1010003	1730012	4302003	4725001	5710001	5746009	6120003	7410000	9116001	11040002	
1010004	1730013	4302004	4726001	5710003	5747008	6132001	8104001	9123001	11144001	
1010005	1730014	4302005	4730002	5710004	5747009	7000001	8105001	9127001	11147002	
1010006	1750001	4302007	4730003	5710005	5747011	7000002	8106001	9129002	11302001	
1020001	2101002	4302008	4735001	5710009	5748001	7000005	8106002	9129003	11303002	
1020002	2102004	4302009	4810001	5710011	5748002	7000012	8112001	9131001	11305001	
1020003	2103001	4302010	4901001	5711001	5800001	7100002	8113002	9132001	11307001	
1020004	2103005	4302011	5100001	5711005	5800005	7100003	8114001	9135001	11308002	
1020005	2104002	4302012	5100002	5712001	5800006	7100004	8115001	9140001	11310002	
1020006	2104003	4302013	5101001	5712002	5800007	7101001	8117001	9150001	11315001	
1020007	2104005	4303001	5101003	5712003	6003002	7101002	8117004	9400001	11315005	
1020009	2104006	4303002	5110001	5712007	6003003	7101003	8117005	9402001	11316001	
1020010	2104012	4304002	5120001	5712009	6005001	7101004	8117006	9404001	11317002	
1020011	2104013	4306001	5120002	5712010	6005002	7101005	8117007	9412001	11317003	
1021001	2105002	4308001	5200001	5712011	6006002	7101006	8117008	9414001	11335001	

1021002	2105005	4308002	5200002	5712012	6006003	7102001	8118001	9416001	11336001
1021003	2105006	4311001	5200003	5713002	6006004	7102002	8118005	9417006	11337001
1021004	2105007	4311002	5200004	5713003	6006005	7102003	8118006	9418001	11342001
1021006	2110001	4313002	5200009	5713004	6007001	7102004	8119001	9420001	11505001
1030001	2110002	4314001	5211001	5714003	6007002	7103001	8119002	9423001	11514001
1030002	2110003	4314002	5220002	5714004	6007003	7104002	8122001	9433001	11514002
1041001	2110004	4320001	5220003	5714006	6007004	7104003	8123001	9434001	11516001
1041002	2110005	4320002	5220004	5715005	6007005	7104004	8123002	9437002	11517001
1044001	2110007	4323001	5221001	5715006	6007006	7105001	8124001	10100002	11520002
1050002	2110008	4323004	5221002	5715007	6007007	7105003	8124002	10102001	11521001
1050004	2110011	4323006	5221003	5715008	6007008	7106003	8130001	10104001	11521004
1050006	2110012	4331001	5221004	5715009	6007009	7106004	8130002	10105002	11522000
1051001	2111002	4331002	5310002	5716001	6007010	7106005	8132001	10106007	11530000
1051002	2112001	4331003	5320004	5716012	6007011	7106006	8133001	10106010	11533002
1070001	2112002	4335001	5400001	5717003	6008002	7106016	8135002	10106011	11535000
1110012	2112004	4335011	5400003	5717005	6008005	7112001	8140003	10106012	11535001
1110013	2112007	4335012	5401002	5717011	6008006	7115001	8140004	10107001	11536004
1201001	2113001	4335013	5401003	5717012	6008007	7116001	8141001	10108007	11536006
1201002	2120001	4400001	5402001	5720001	6008008	7116002	8200001	10108008	11539000
1201003	2210001	4501001	5402004	5721001	6009002	7117001	8210001	10110001	11539001
1201005	2500002	4501002	5402005	5721002	6010001	7117002	8220001	10111001	11539002
1201008	2500004	4502001	5402006	5721003	6010002	7118001	8220002	10111009	11539003
1201009	2500005	4503001	5402007	5721004	6010003	7118002	8220003	10113002	11544000
1202002	2500006	4506001	5402008	5721005	6010004	7119003	8307001	10122001	11545000
1202003	2500012	4506002	5402009	5721006	6010005	7119004	8317001	10122004	11548000
1202004	2500013	4511002	5402010	5721007	6010006	7119005	8317002	10123007	11548001
1202005	2510001	4512001	5402011	5721008	6010007	7119006	8319001	10130002	11549000
1202006	2710001	4513001	5402013	5721009	6010008	7121001	8323001	10134001	11711000
1202007	3022001	4513002	5403002	5721018	6010009	7121002	8323002	10134003	12125002
1202008	3041001	4514001	5403003	5722001	6010010	7123001	8330001	10134004	12271000
1210001	3041003	4514002	5403004	5722002	6010011	7123002	8330003	10134006	12280002
1210002	3041004	4515003	5403005	5722006	6010012	7123003	8332001	10135002	12281000
1210003	3041005	4516001	5406001	5730003	6010013	7123007	8333004	10137001	12284002
1210004	3041006	4520003	5406002	5730006	6010020	7123009	8334001	10139000	12284003
1210005	3041007	4522001	5410002	5730011	6010021	7125001	8341002	10144001	12284005
1211001	3041008	4522002	5410004	5730040	6011001	7303000	8342001	10144002	12284006
1211003	3041011	4523001	5410005	5730041	6011002	7320001	8343001	10144003	12284007

1211004	3050001	4523002	5410022	5730042	6012001	7321002	8344001	10303001	12284011
1211005	3401001	4523003	5411001	5730043	6012002	7321003	8350001	10304001	12285001
1300003	3403001	4524008	5411002	5730044	6012020	7322001	8351001	10304005	12285003
1310002	3404001	4530001	5411003	5730045	6013001	7322002	8352002	10304006	12285004
1310003	3414001	4531001	5413001	5730046	6013003	7322004	8352003	10306001	12286002
1310004	3421001	4531002	5414001	5730047	6013004	7330001	8358001	10310001	12287001
1310006	3430001	4532001	5414002	5730048	6014002	7331001	8359002	10311004	12289001
1310007	3430004	4532002	5414003	5730058	6015001	7335001	8363001	10313002	12289002
1310008	3430017	4532003	5415001	5730060	6015020	7336001	8366001	10322001	12289004
1310009	3431001	4532004	5415003	5731008	6016001	7336002	8370005	10322003	12291001
1310010	3434002	4532005	5420002	5732014	6016002	7336004	8375003	10323001	12400003
1310011	3434004	4534001	5420003	5734001	6017001	7336005	8380001	10328001	12400004
1310012	3434010	4535002	5421001	5734016	6017004	7339001	8380002	10330001	12448001
1310013	3450001	4535004	5421004	5735002	6018005	7340001	8380004	10340001	12452001
1310075	3450003	4537001	5422001	5735017	6018007	7341001	8381010	10343001	12561001
1410001	3450018	4540001	5423003	5735018	6018019	7343001	8381013	10344002	12563001
1410002	3451001	4540003	5423004	5735019	6018020	7350001	8383001	10350002	12582001
1410004	3451002	4540004	5423005	5735020	6018021	7350002	8385004	10356001	12585001
1410007	3451022	4540013	5423006	5735022	6018022	7350003	8386001	10362001	12585002
1410008	3453001	4550001	5423007	5736001	6018023	7351001	8386003	10362002	12586001
1410009	3453003	4550003	5424002	5736005	6018024	7354001	8390000	10362003	12586002
1410010	3453004	4551001	5424003	5736006	6019001	7355001	8391001	10362005	12586003
1502001	3453005	4551002	5424013	5736007	6019002	7355002	8394003	10364001	12586008
1502002	3453006	4551003	5426001	5736010	6019003	7355003	8394004	10405002	12600001
1502003	3453008	4552001	5426002	5737002	6019004	7356001	8394005	10411002	12622001
1502004	3602000	4553001	5426003	5737005	6028001	7356002	8410003	10411005	12660001
1502005	3802001	4553002	5427001	5737017	6030001	7357001	8430002	10411006	12802001
1610002	3803001	4554002	5427002	5737018	6032001	7358001	8430003	10411008	12805001
1700001	3806001	4556001	5427003	5737020	6033001	7358004	8510001	10411009	12806001
1700002	3815001	4557002	5427004	5737021	6033002	7358005	8530001	10414001	12806002
1700003	3815003	4558001	5427017	5737025	6033003	7359001	8530003	10430008	12806003
1700004	3820001	4702001	5428001	5740001	6033010	7359002	8720001	10432001	12808000
1700005	3820003	4703002	5428002	5740010	6034002	7359003	8820001	10454001	12808001
1700006	3823001	4704001	5701002	5740016	6034019	7359004	8821001	10454006	12808002
1700007	3823009	4704002	5702004	5741001	6034020	7371001	8821002	10454007	12808003
1700091	3825001	4711001	5702005	5742001	6035001	7372001	8821003	10461000	12820001
1700092	3825002	4712001	5702006	5742002	6035007	7372003	8822001	10503002	12825002

1700093	3825003	4713001	5703002	5743000	6037011	7373001	8822006	10520001	12860001
1700094	3826001	4713003	5703003	5744016	6038001	7373002	8910001	10702002	12861001
1700095	3826011	4713006	5703005	5744017	6041001	7374001	9101001	10711001	12863002

Tabla 21. Parámetros con datos. Fuente: Elaboración propia.

640	5160	6202	6311	8020	8125	8200	8285	8383	8465
5001	6000	6220	6321	8021	8140	8203	8300	8384	8466
5010	6001	6240	6341	8022	8145	8240	8303	8400	8468
5011	6020	6241	6342	8024	8148	8260	8320	8403	8469
5020	6080	6250	7020	8025	8149	8263	8321	8420	9900
5040	6100	6260	7040	8041	8150	8280	8340	8422	9901
5050	6120	6261	7080	8045	8151	8281	8341	8423	9902
5100	6141	6282	7082	8103	8152	8282	8342	8440	9911
5101	6182	6300	7100	8104	8153	8283	8361	8441	9921
5140	6183	6310	8000	8120	8156	8284	8380	8460	

Adicionalmente, el mandante entregó dos archivos "BNAT_Parametro.xlsx" y "20190226_RedHidrometrica_Anexo7.xlsx" al inicio de la licitación. Estos fueron modificados y corregidos por el mandante durante la ejecución del proyecto (por errores). El primer archivo se describió en la sección anterior. Mientras que el segundo contiene las claves con los datos de las estaciones de calidad (estado [suspendida o vigente], código BNA con dígito verificador, nombre de la estación, región, y coordenadas geográficas).

La BDB contiene estos tres archivos (Datos de calidad del agua, datos de parámetros y estaciones). Al generar la relación entre los datos de calidad y los datos de las estaciones, se eliminan 22 estaciones que no tienen descripción en el Excel (sin incluir LE). Esta BDB contiene 984 estaciones con datos de calidad, las cuales se muestran en la Tabla 22. Además, contiene 99 códigos de parámetros únicos, ya presentados en la Tabla 21.

Tabla 22. Estaciones en BDB. Fuente: Elaboración propia.

01000001-7	01720005-4	04301001-8	04716001-4	05704012-2	05745006-1	06056001-3	07383001-K	09113002-5	11335001-6
01000002-5	01730001-6	04301002-6	04716004-9	05706001-8	05746001-6	06056002-1	07384001-5	09116001-3	11336001-1
01000003-3	01730003-2	04301004-2	04721001-1	05707002-1	05746007-5	06120003-7	07410000-7	09123001-1	11337001-7
01000004-1	01730005-9	04302001-3	04723001-2	05707004-8	05746008-3	06132001-6	08104001-K	09127001-3	11342001-4
01001002-0	01730006-7	04302002-1	04724000-K	05710001-K	05746009-1	07000001-6	08105001-5	09129002-2	11505001-K
01001004-7	01730010-5	04302003-K	04725001-3	05710003-6	05747008-9	07000002-4	08106001-0	09129003-0	11514001-9
01010002-K	01730012-1	04302004-8	04726001-9	05710004-4	05747009-7	07000005-9	08106002-9	09131001-5	11514002-7
01010003-8	01730013-K	04302005-6	04730002-9	05710005-2	05747011-9	07000012-1	08112001-3	09132001-0	11516001-K
01010004-6	01730014-8	04302007-2	04730003-7	05710009-5	05748001-7	07100002-8	08113002-7	09135001-7	11517001-5
01010005-4	01750001-5	04302008-0	04735001-8	05710011-7	05748002-5	07100003-6	08114001-4	09140001-4	11520002-K
01010006-2	02101002-2	04302009-9	04810001-5	05711001-5	05800001-9	07100004-4	08115001-K	09150001-9	11521001-7
01020002-4	02102004-4	04302010-2	04901001-K	05711005-8	05800005-1	07101001-5	08117001-0	09400001-7	11521004-1
01020003-2	02103001-5	04302011-0	05100001-3	05712001-0	05800006-K	07101002-3	08117004-5	09402001-8	11522000-4
01020004-0	02103005-8	04302012-9	05100002-1	05712002-9	05800007-8	07101003-1	08117005-3	09404001-9	11530000-8
01020005-9	02104002-9	04302013-7	05101001-9	05712003-7	06003002-2	07101004-K	08117006-1	09412001-2	11533002-0
01020006-7	02104003-7	04303001-9	05101003-5	05712007-K	06003003-0	07101005-8	08117007-K	09414001-3	11535000-5
01020007-5	02104005-3	04303002-7	05110001-8	05712009-6	06005001-5	07101006-6	08117008-8	09416001-4	11535001-3
01020009-1	02104006-1	04304002-2	05120001-2	05712010-K	06005002-3	07102001-0	08118001-6	09418001-5	11536004-3
01020010-5	02104012-6	04306001-5	05120002-0	05712011-8	06006002-9	07102002-9	08118005-9	09420001-6	11536006-K
01020011-3	02104013-4	04308001-6	05200001-7	05712012-6	06006003-7	07102003-7	08118006-7	09423001-2	11539000-7

01021001-1	02105002-4	04308002-4	05200002-5	05713002-4	06006004-5	07102004-5	08119001-1	09433001-7	11539001-5
01021002-K	02105005-9	04311001-2	05200003-3	05713003-2	06006005-3	07103001-6	08119002-K	09434001-2	11539002-3
01021003-8	02105006-7	04311002-0	05200004-1	05713004-0	06007001-6	07104002-K	08122001-8	09437002-7	11539003-1
01021004-6	02105007-5	04313002-1	05200009-2	05714003-8	06007002-4	07104003-8	08123001-3	10100002-8	11544000-4
01021006-2	02110001-3	04314001-9	05211001-7	05714004-6	06007003-2	07104004-6	08123002-1	10102001-0	11545000-K
01030001-0	02110002-1	04314002-7	05220002-4	05714006-2	06007004-0	07105001-7	08124001-9	10104001-1	11548000-6
01030002-9	02110003-K	04320001-1	05220003-2	05715005-K	06007005-9	07105003-3	08124002-7	10107001-8	11548001-4
01041001-0	02110004-8	04320002-K	05220004-0	05715006-8	06007006-7	07106003-9	08130001-1	10110001-4	11549000-1
01041002-9	02110005-6	04323001-8	05221001-1	05715007-6	06007007-5	07106004-7	08130002-K	10111001-K	11711000-1
01044001-7	02110007-2	04323004-2	05221002-K	05715008-4	06007008-3	07106005-5	08132001-2	10113002-9	12125002-0
01050002-8	02110008-0	04323006-9	05221003-8	05715009-2	06007009-1	07106006-3	08133001-8	10122001-K	12271000-9
01050004-4	02110011-0	04331001-1	05221004-6	05716001-2	06007010-5	07106016-0	08135002-7	10122004-4	12280002-4
01050006-0	02110012-9	04331002-K	05310002-3	05716012-8	06007011-3	07112001-5	08140003-2	10123007-4	12281000-3
01051001-5	02111002-7	04331003-8	05320004-4	05717003-4	06008002-K	07115001-1	08140004-0	10130002-1	12284002-6
01051002-3	02112001-4	04335001-3	05400001-4	05717005-0	06008005-4	07116001-7	08141001-1	10134001-5	12284003-4
01070001-9	02112002-2	04335011-0	05400003-0	05717011-5	06008006-2	07116002-5	08200001-1	10134003-1	12284005-0
01110012-0	02112004-9	04335012-9	05401002-8	05717012-3	06008007-0	07117001-2	08210001-6	10134004-K	12284006-9
01110013-9	02112007-3	04335013-7	05401003-6	05720001-4	06008008-9	07117002-0	08220001-0	10134006-6	12284007-7
01201001-K	02113001-K	04400001-6	05402001-5	05721001-K	06009002-5	07118001-8	08220002-9	10135002-9	12284011-5
01201002-8	02120001-8	04501001-5	05402004-K	05721002-8	06010001-2	07118002-6	08220003-7	10137001-1	12285001-3
01201003-6	02210001-7	04501002-3	05402005-8	05721003-6	06010002-0	07119003-K	08307001-3	10139000-4	12285003-K

01201005-2	02500002-1	04502001-0	05402006-6	05721004-4	06010003-9	07119004-8	08317001-8	10144001-K	12285004-8
01201008-7	02500004-8	04503001-6	05402007-4	05721005-2	06010004-7	07119005-6	08317002-6	10144002-8	12286002-7
01201009-5	02500005-6	04506001-2	05402008-2	05721006-0	06010005-5	07119006-4	08319001-9	10144003-6	12287001-4
01202002-3	02500006-4	04506002-0	05402009-0	05721007-9	06010006-3	07121001-4	08323001-0	10304001-9	12289001-5
01202003-1	02500012-9	04511002-8	05402010-4	05721008-7	06010007-1	07121002-2	08323002-9	10306001-K	12289002-3
01202004-K	02500013-7	04512001-5	05402011-2	05721009-5	06010008-K	07123001-5	08330001-9	10310001-1	12289004-K
01202005-8	02510001-8	04513001-0	05402013-9	05721018-4	06010009-8	07123002-3	08330003-5	10311004-1	12291001-6
01202006-6	02710001-5	04513002-9	05403002-9	05722001-5	06010010-1	07123003-1	08332001-K	10313002-6	12400003-3
01202007-4	03022001-3	04514001-6	05403003-7	05722002-3	06010011-K	07123007-4	08333004-K	10322001-7	12400004-1
01202008-2	03041001-7	04514002-4	05403004-5	05722006-6	06010012-8	07123009-0	08334001-0	10322003-3	12448001-9
01210001-9	03041003-3	04515003-8	05403005-3	05730003-5	06010013-6	07125001-6	08341002-7	10323001-2	12452001-0
01210002-7	03041004-1	04516001-7	05406001-7	05730006-K	06010020-9	07303000-5	08342001-4	10328001-K	12561001-3
01210003-5	03041005-K	04520003-5	05406002-5	05730011-6	06010021-7	07320001-6	08343001-K	10330001-0	12563001-4
01210004-3	03041006-8	04522001-K	05410002-7	05730040-K	06011001-8	07321002-K	08344001-5	10340001-5	12582001-8
01210005-1	03041007-6	04522002-8	05410004-3	05730041-8	06011002-6	07321003-8	08350001-8	10343001-1	12585001-4
01211001-4	03041011-4	04523001-5	05410005-1	05730042-6	06012001-3	07322001-7	08351001-3	10344002-5	12585002-2
01211003-0	03050001-6	04523002-3	05410022-1	05730043-4	06012002-1	07322002-5	08352002-7	10350002-8	12586001-K
01211004-9	03401001-3	04523003-1	05411001-4	05730044-2	06012020-K	07322004-1	08352003-5	10356001-2	12586002-8
01211005-7	03403001-4	04524008-8	05411002-2	05730045-0	06013001-9	07330001-0	08358001-1	10362001-5	12586003-6
01300003-4	03404001-K	04530001-3	05411003-0	05730046-9	06013003-5	07331001-6	08359002-5	10362002-3	12586008-7
01310002-0	03414001-4	04531001-9	05413001-5	05730047-7	06013004-3	07335001-8	08363001-9	10362003-1	12600001-4

01310003-9	03421001-2	04531002-7	05414001-0	05730048-5	06014002-2	07336001-3	08366001-5	10362005-8	12622001-4
01310004-7	03430001-1	04532001-4	05414002-9	05730058-2	06015001-K	07336002-1	08375003-0	10364001-6	12660001-1
01310006-3	03430004-6	04532002-2	05414003-7	05730060-4	06015020-6	07336004-8	08380001-1	10405002-6	12802001-2
01310007-1	03430017-8	04532003-0	05415001-6	05731008-1	06016001-5	07336005-6	08380002-K	10411002-9	12805001-9
01310008-K	03431001-7	04532004-9	05415003-2	05732014-1	06016002-3	07339001-K	08380004-6	10411005-3	12806001-4
01310009-8	03434002-1	04532005-7	05420002-1	05734001-0	06017001-0	07340001-5	08381010-6	10411006-1	12806002-2
01310010-1	03434004-8	04534001-5	05420003-K	05734016-9	06017004-5	07341001-0	08381013-0	10411008-8	12806003-0
01310011-K	03434010-2	04535002-9	05421001-9	05735002-4	06018005-9	07343001-1	08383001-8	10411009-6	12808000-7
01310012-8	03450001-0	04535004-5	05421004-3	05735017-2	06018007-5	07350001-K	08385004-3	10414001-7	12808001-5
01310013-6	03450003-7	04537001-1	05422001-4	05735018-0	06018019-9	07350002-8	08386001-4	10432001-5	12808002-3
01310075-6	03450018-5	04540001-8	05423003-6	05735019-9	06018020-2	07350003-6	08386003-0	10454001-5	12808003-1
01410001-6	03451001-6	04540003-4	05423004-4	05735020-2	06018021-0	07351001-5	08390000-8	10461000-5	12820001-0
01410002-4	03451002-4	04540004-2	05423005-2	05735022-9	06018022-9	07354001-1	08391001-1	10503002-9	12825002-6
01410004-0	03451022-9	04540013-1	05423006-0	05736001-1	06018023-7	07355001-7	08394003-4	10520001-3	12860001-9
01410007-5	03453001-7	04550001-2	05423007-9	05736005-4	06018024-5	07355002-5	08394004-2	10702002-0	12861001-4
01410008-3	03453003-3	04550003-9	05424002-3	05736006-2	06019001-1	07355003-3	08394005-0	10711001-1	12863002-3
01410009-1	03453004-1	04551001-8	05424003-1	05736007-0	06019002-K	07356001-2	08410003-K	10904001-0	12865001-6
01410010-5	03453005-K	04551002-6	05424013-9	05736010-0	06019003-8	07356002-0	08430002-0	10904004-5	12872001-4
01502001-6	03453006-8	04551003-4	05426001-6	05737002-5	06019004-6	07357001-8	08430003-9	10904006-1	12876001-6
01502002-4	03453008-4	04552001-3	05426002-4	05737005-K	06028001-0	07358001-3	08510001-7	10906003-8	12876004-0
01502003-2	03602000-8	04553001-9	05426003-2	05737017-3	06030001-1	07358004-8	08530001-6	11020005-6	12878001-7

01502004-0	03802001-3	04553002-7	05427001-1	05737018-1	06032001-2	07358005-6	08530003-2	11022001-4	12930001-9
01502005-9	03803001-9	04554002-2	05427002-K	05737020-3	06033001-8	07359001-9	08720001-9	11024000-7	
01610002-1	03806001-5	04556001-5	05427003-8	05737021-1	06033002-6	07359002-7	08820001-2	11034002-8	
01700001-2	03815001-4	04557002-9	05427004-6	05737025-4	06033003-4	07359003-5	08821001-8	11040002-0	
01700002-0	03815003-0	04558001-6	05427017-8	05740001-3	06033010-7	07359004-3	08821002-6	11144001-8	
01700003-9	03820001-1	04702001-8	05428001-7	05740010-2	06034002-1	07371001-4	08821003-4	11147002-2	
01700004-7	03820003-8	04703002-1	05428002-5	05740016-1	06034019-6	07372001-K	08822001-3	11302001-6	
01700005-5	03823001-8	04704001-9	05701002-9	05741001-9	06034020-K	07372003-6	08822006-4	11303002-K	
01700006-3	03823009-3	04704002-7	05702004-0	05742001-4	06035001-9	07373001-5	08910001-1	11305001-2	
01700007-1	03825001-9	04711001-7	05702005-9	05742002-2	06035007-8	07373002-3	09101001-1	11307001-3	
01700091-8	03825002-7	04712001-2	05702006-7	05743000-1	06037011-7	07374001-0	09102001-7	11308002-7	
01700092-6	03825003-5	04713001-8	05703002-K	05744016-3	06038001-5	07376001-1	09104001-8	11310002-8	
01700093-4	03826001-4	04713003-4	05703003-8	05744017-1	06041001-1	07376004-6	09105001-3	11315001-7	
01700094-2	03826011-1	04713006-9	05704001-7	05744019-8	06041008-9	07378001-2	09106001-9	11315005-K	
01700095-0	03940008-1	04714001-3	05704002-5	05744020-1	06043001-2	07379001-8	09107001-4	11316001-2	
01700096-9	04120018-9	04715003-5	05704003-3	05745004-5	06055001-8	07379002-6	09111001-6	11317002-6	
01720003-8	04120019-7	04715004-3	05704008-4	05745005-3	06055002-6	07379004-2	09113001-7	11317003-4	

La Tabla 23 muestra los datos eliminados por estar duplicados.

Luego del proceso de depuración no se eliminó ninguna estación. No obstante, cabe destacar que hay dos códigos de estación que tienen el mismo nombre (7123007 y 7123009 - Pozo Sector Lora), que son tratadas como estaciones distintas. De los 99 parámetros iniciales, que corresponden a 62 descripciones de parámetros o parámetros de calidad del agua, luego de la depuración quedan 90 códigos de parámetro (correspondiente a 57 parámetros). Se eliminaron los parámetros de código 8140 (cobre disuelto), 8282 y 8283 (ambos manganeso total), y 5001, 6300, 5040, 5100, 5160,640. El código 8140 tiene sólo 5 mediciones u observaciones en la BDB cuyo valor reportado es 0, con 4 valores de ellos indicados como "<", mientras que el código 8282 y 8283 tienen 7 valores cada uno que se eliminan por duplicidad. Los últimos 6 códigos fueron eliminados al ser identificados como errores por el mandante. En relación a la descripción de parámetros, se eliminaron por decisión del mandante: Color verdadero, Nitrógeno orgánico, Salinidad, Turbiedad y Humedad.

Tabla 23: Detalle de datos duplicados en base de datos DGA. Fuente: Elaboración propia.

EstCodigo	AguFecha	AguHora	AguValor	IndTipo	Nombre	ParDescripcion
5716001	20-02-2014	12:30:00	0,002	<	RIO ANGOSTURA EN VALDIVIA DE PAINE	Molibdeno total
5716001	20-02-2014	12:30:00	0,03	<	RIO ANGOSTURA EN VALDIVIA DE PAINE	Molibdeno total
5730040	14-07-2015	12:20:00	0,01	<	POZO CLUB DE GOLF	Zinc total
5730040	14-07-2015	12:20:00	2,46	=	POZO CLUB DE GOLF	Zinc total
12861001	28-03-2007	14:00:00	0,05	=	RIO CULLEN EN FRONTERA	Manganeso total
12861001	28-03-2007	14:00:00	14,787	=	RIO CULLEN EN FRONTERA	Manganeso total
12861001	26-07-2007	17:00:00	0,06	=	RIO CULLEN EN FRONTERA	Manganeso total
12861001	26-07-2007	17:00:00	17,807	=	RIO CULLEN EN FRONTERA	Manganeso total
12861001	20-11-2007	15:00:00	0,04	=	RIO CULLEN EN FRONTERA	Manganeso total
12861001	20-11-2007	15:00:00	15,747	=	RIO CULLEN EN FRONTERA	Manganeso total
12861001	20-03-2008	15:50:00	0,05	=	RIO CULLEN EN FRONTERA	Manganeso total
12861001	20-03-2008	15:50:00	1,824	=	RIO CULLEN EN FRONTERA	Manganeso total
12861001	22-07-2008	17:00:00	0,22	=	RIO CULLEN EN FRONTERA	Manganeso total
12861001	22-07-2008	17:00:00	15,051	=	RIO CULLEN EN FRONTERA	Manganeso total
12861001	26-03-2009	16:00:00	0,02	=	RIO CULLEN EN FRONTERA	Manganeso total
12861001	26-03-2009	16:00:00	6,2	=	RIO CULLEN EN FRONTERA	Manganeso total
12861001	24-06-2009	17:10:00	0,06	=	RIO CULLEN EN FRONTERA	Manganeso total
12861001	24-06-2009	17:10:00	18,8	=	RIO CULLEN EN FRONTERA	Manganeso total

8.4 Tendencias

Los parámetros incorporados en el análisis de tendencia corresponden a los indicados en las bases (nombres según la descripción de parámetro de la DGA): Conductividad específica 25^aC, Temperatura del agua, pH, Oxígeno disuelto, Fosforo total, Fosforo de ortofosfato, Nitrogeno de nitrato, Arsénico total, Hierro total, Aluminio total, Calcio total, Magnesio total, Sodio total, Potasio total, Sulfato, Cloruro total y Bicarbonato. En la Tabla 24 se muestra relación con los nombres utilizados en el análisis de tendencia.

Tabla 24. Relación de nombres. Fuente: Elaboración propia.

Nombre DGA	Nombre análisis tendencia
Arsénico total	Arsénico
Calcio total	Calcio
Cloruro total	Cloruro
Hierro total	Hierro
Conductividad específica 25 ^a C	CE
Magnesio total	Mg
Nitrogeno de nitrato	Nitrato
Oxígeno disuelto	OD
pH	pH
Potasio total	Potasio
Sodio total	Sodio
Sulfato	Sulfato
Temperatura del agua	Temp
Fosforo total	Fosforot
Fosforo de ortofosfato	Fosfato
Aluminio total	Aluminio
Bicarbonato	Bicarbonato

La Tabla 25 muestra, para las estaciones superficiales que cumplen con los criterios mencionados en la sección 3.2.5.2, el análisis realizado por el programa (por estación y parámetro) para incluir los datos en el análisis de tendencia. Es importante notar que algunos parámetros no se consideran ya que no cumplen con los criterios en ninguna estación (no incluidos en la tabla) y hay otros parámetros que no se consideran sólo para algunas estaciones, ya que se eliminan previamente por no cumplir los criterios (identificados como "no data" o "short record" en tabla).

La Tabla 26 muestra los resultados del análisis de tendencia de las estaciones superficiales y parámetros que cumplen los criterios. En ella se presentan las pendientes de las tendencias, expresado como cambio en unidades originales por año (Tend) y

anuales porcentuales (% Tend), junto con el valor p y la dirección del cambio. Si el valor p es <5%, el cambio es significativo y se considera una dirección de cambio; en caso de pendiente 0, se indica un asterisco.

Para las estaciones subterráneas no se calculan tendencias ya que los criterios se cumplen sólo para una estación y dos parámetros (pH y temperatura).

Tabla 25. Inclusión de estaciones superficiales en análisis de tendencia. Fuente: Elaboración propia.

	Arsenico	Calcio	Cloruro	Hierro	CE	Mg	OD	pH	Potasio	Sodio	Sulfato	Temp
02104002-9	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK
02110004-8	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK
02111002-7	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data
03404001-K	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK
03414001-4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	no data	OK	OK	OK	OK
03421001-2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK
03802001-3	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK
03803001-9	no data	OK	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK
03806001-5	OK	OK	OK	short record	OK	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK
03815001-4	OK	OK	OK	no data	OK	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK
03823001-8	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK
03826001-4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK
04301001-8	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04302001-3	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04302003-K	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04302004-8	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04302005-6	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04302007-2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04302011-0	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK	no data	OK
04303001-9	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04304002-2	no data	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04306001-5	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04308001-6	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04311001-2	no data	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04314002-7	no data	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04320001-1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

	Arsenico	Calcio	Cloruro	Hierro	CE	Mg	OD	pH	Potasio	Sodio	Sulfato	Temp
04323001-8	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04331003-8	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04335001-3	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04501001-5	no data	short record	no data	no data	short record	short record	no data	short record	no data	short record	no data	short record
04503001-6	no data	no data	no data	no data	short record	short record	no data	short record	no data	no data	no data	short record
04511002-8	short record	short record	short record	no data	short record	short record	no data	short record	short record	short record	no data	short record
04514001-6	no data	short record	no data	no data	short record	short record	no data	short record	no data	no data	no data	short record
04522001-K	short record	no data	no data	no data	short record	short record	no data	short record	no data	no data	no data	short record
04523002-3	short record	short record	no data	no data	short record	short record	short record	short record	no data	short record	no data	short record
04530001-3	no data	short record	no data	no data	short record	short record	no data	short record	short record	no data	no data	short record
04558001-6	short record	short record	short record	no data	short record	short record	no data	short record	short record	no data	no data	short record
04703002-1	OK	OK	no data	no data	OK	OK	no data	OK	no data	OK	no data	OK
04711001-7	OK	OK	OK	no data	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK
04712001-2	short record	short record	no data	short record	short record	short record	no data	short record	short record	short record	no data	short record
04716004-9	OK	OK	OK	no data	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK
04721001-1	OK	OK	OK	no data	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK
04725001-3	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
04726001-9	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
05100001-3	no data	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK
05200001-7	no data	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK
05402001-5	OK	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
05406001-7	no data	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK	no data	no data	no data	OK
05410002-7	no data	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK	no data	no data	no data	OK
05410005-1	OK	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK	no data	no data	no data	OK
05411001-4	OK	OK	no data	no data	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK

	Arsenico	Calcio	Cloruro	Hierro	CE	Mg	OD	pH	Potasio	Sodio	Sulfato	Temp
05414001-0	OK	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK	no data	no data	no data	OK
05421004-3	OK	no data	no data	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	no data	OK
05422001-4	OK	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK	no data	no data	no data	OK
05423003-6	OK	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
05426003-2	no data	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK	no data	no data	no data	OK
05427001-1	no data	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
05701002-9	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
05703003-8	no data	OK	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
05707002-1	no data	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
05710001-K	no data	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
05716001-2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
05717005-0	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
05720001-4	no data	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
05721001-K	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK
05721002-8	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK	OK	no data	OK	OK
05722001-5	OK	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK	OK	OK
05722002-3	no data	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
05730006-K	OK	OK	OK	no data	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK
05737002-5	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK
05737005-K	no data	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
05746001-6	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
05748001-7	no data	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
06007011-3	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK
06012001-3	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK	OK	OK	no data	OK
06015001-K	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	no data	OK
06018007-5	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
06028001-0	OK	no data	no data	OK	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
06041001-1	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK

	Arsenico	Calcio	Cloruro	Hierro	CE	Mg	OD	pH	Potasio	Sodio	Sulfato	Temp
07117001-2	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
07335001-8	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
07336001-3	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
07339001-K	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
07351001-5	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
07356002-0	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
07358004-8	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
07359001-9	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
07376001-1	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
07379001-8	no data	no data	no data	OK	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
07379002-6	no data	no data	no data	OK	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
07383001-K	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
08114001-4	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
08123001-3	no data	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
08124002-7	no data	no data	no data	no data	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
08132001-2	OK	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
08135002-7	OK	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
08141001-1	OK	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
08220002-9	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
08307001-3	no data	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
08317001-8	no data	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
08323002-9	OK	no data	no data	OK	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
08334001-0	no data	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
08341002-7	no data	no data	no data	OK	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
08344001-5	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
08351001-3	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
08358001-1	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
08366001-5	no data	no data	no data	OK	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK

	Arsenico	Calcio	Cloruro	Hierro	CE	Mg	OD	pH	Potasio	Sodio	Sulfato	Temp
08375003-0	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
08383001-8	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
08391001-1	no data	no data	no data	OK	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
08394003-4	no data	no data	no data	OK	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
08394004-2	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
08510001-7	no data	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
09102001-7	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
09105001-3	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
09106001-9	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
09113002-5	no data	no data	no data	OK	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
09116001-3	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
09123001-1	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
09127001-3	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
09129003-0	no data	no data	no data	no data	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
09135001-7	no data	no data	no data	no data	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
09140001-4	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
09150001-9	no data	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
09402001-8	OK	no data	no data	no data	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
09404001-9	OK	no data	no data	no data	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
09418001-5	no data	no data	no data	no data	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
09420001-6	no data	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
09434001-2	no data	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
09437002-7	no data	no data	no data	OK	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
10107001-8	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	no data
10134001-5	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	no data
10144001-K	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
10304001-9	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK

	Arsenico	Calcio	Cloruro	Hierro	CE	Mg	OD	pH	Potasio	Sodio	Sulfato	Temp
10306001-K	OK	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
10310001-1	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
10322001-7	no data	no data	no data	no data	OK	no data	OK	OK	no data	no data	no data	OK
10330001-0	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
10340001-5	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
10356001-2	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK
10362001-5	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK
10364001-6	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK
10454001-5	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	no data
12280002-4	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	no data
12287001-4	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	no data
12585001-4	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	no data
12600001-4	no data	no data	no data	OK	OK	no data	no data	OK	no data	no data	no data	no data
12622001-4	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	no data
12805001-9	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	OK	no data	no data	no data	no data

Tabla 26. Análisis de tendencia en estaciones superficiales. Fuente: Elaboración propia.

	Calcio	Hierro	Mg	pH	Potasio	Temp	Sodio	Arsenico	CE	OD	Cloruro	Sulfato
02104002-9	-999	-999	-999	-999	-999	none	-999	-999	none	-999	-999	-999
02110004-8	-999	-999	-999	-999	-999	none	-999	-999	none	-999	-999	-999
02111002-7	-999	none	-999	-999	-999	-999	-999	*	-999	-999	-999	-999
03404001-K	up	none	up	none	none	none	up	none	up	-999	up	up
03414001-4	up	up	up	-999	up	down	none	up	up	-999	up	up
03421001-2	up	none	up	up	none	down	up	up	none	-999	none	-999
03802001-3	up	none	up	up	up	none	up	up	up	-999	up	-999
03803001-9	up	-999	up	none	up	none	up	-999	up	-999	-999	-999
03806001-5	up	-999	up	none	up	none	up	up	up	-999	none	up
03815001-4	up	-999	up	up	none	none	up	none	up	-999	none	up
03823001-8	up	none	up	none	up	none	up	*	up	-999	-999	-999
03826001-4	none	down	none	none	none	none	up	down	none	-999	none	-999
04301001-8	up	none	up	up	none	up	up	none	none	none	none	up
04302001-3	up	none	up	down	none	up	up	down	up	none	up	up
04302003-K	down	none	up	none	down	up	down	none	up	none	down	up
04302004-8	none	down	none	up	none	down	up	none	none	none	none	none
04302005-6	up	down	up	down	none	down	up	none	up	none	up	up
04302007-2	none	none	up	down	down	up	none	none	up	none	none	up
04302011-0	none	none	none	*	-999	none	up	up	up	none	none	-999
04303001-9	none	down	up	up	none	up	up	down	none	none	none	none
04304002-2	up	none	up	up	none	up	up	-999	up	none	none	up
04306001-5	up	down	up	up	none	up	up	down	none	down	none	none
04308001-6	up	down	up	up	none	up	up	down	none	down	none	up
04311001-2	none	none	up	up	none	none	up	-999	none	*	down	up
04314002-7	none	none	up	up	none	none	none	-999	none	none	down	up
04320001-1	up	none	up	up	none	up	up	none	none	none	none	up

	Calcio	Hierro	Mg	pH	Potasio	Temp	Sodio	Arsenico	CE	OD	Cloruro	Sulfato
04323001-8	up	down	up	up	none	up	up	down	none	down	none	up
04331003-8	up	down	up	up	none	none	up	none	up	down	none	up
04335001-3	up	down	up	none	none	up	up	down	up	down	none	up
04703002-1	up	-999	up	none	-999	none	up	up	none	-999	-999	-999
04711001-7	up	-999	up	none	none	none	up	*	none	-999	none	-999
04716004-9	up	-999	up	none	none	none	up	*	up	-999	none	-999
04721001-1	none	-999	up	none	none	none	up	*	none	-999	NA	-999
04725001-3	-999	-999	-999	none	-999	up	-999	-999	up	-999	-999	-999
04726001-9	-999	-999	-999	none	-999	none	-999	-999	none	-999	-999	-999
05100001-3	none	none	none	none	*	none	none	-999	none	down	-999	-999
05200001-7	none	*	none	none	none	up	none	-999	none	down	-999	-999
05402001-5	-999	down	-999	none	-999	up	-999	down	up	down	-999	-999
05406001-7	up	up	up	none	-999	down	-999	-999	up	none	-999	-999
05410002-7	up	none	up	none	-999	none	-999	-999	up	none	-999	-999
05410005-1	up	none	up	none	-999	none	-999	none	none	none	-999	-999
05411001-4	up	-999	-999	none	-999	none	-999	none	up	none	-999	-999
05414001-0	up	none	up	none	-999	none	-999	none	up	none	-999	-999
05421004-3	-999	down	up	none	down	none	-999	*	up	none	-999	-999
05422001-4	up	none	up	none	-999	none	-999	*	up	none	-999	-999
05423003-6	-999	none	-999	none	-999	none	-999	*	up	none	-999	-999
05426003-2	up	none	up	none	-999	up	-999	-999	up	none	-999	-999
05427001-1	-999	down	-999	none	-999	none	-999	-999	none	none	-999	-999
05701002-9	none	none	up	up	none	none	none	*	none	none	none	none
05703003-8	none	-999	none	up	none	none	none	-999	none	down	none	none
05707002-1	up	none	up	up	none	none	up	-999	none	down	none	none
05710001-K	up	none	up	up	none	none	up	-999	up	down	up	up
05716001-2	up	none	up	up	none	down	up	*	up	down	up	up
05717005-0	up	none	up	up	none	none	up	*	up	down	up	up

	Calcio	Hierro	Mg	pH	Potasio	Temp	Sodio	Arsenico	CE	OD	Cloruro	Sulfato
05720001-4	none	none	none	up	none	down	up	-999	none	down	down	none
05721001-K	up	none	up	up	none	down	up	*	up	-999	none	up
05721002-8	none	none	up	up	none	down	-999	up	none	-999	up	none
05722001-5	up	none	up	up	-999	none	up	none	up	down	-999	up
05722002-3	none	none	none	up	*	down	up	-999	none	none	none	none
05730006-K	none	-999	none	up	down	none	none	*	none	up	down	-999
05737002-5	none	none	none	up	none	none	up	none	up	up	none	-999
05737005-K	none	none	none	up	none	none	up	-999	up	none	up	up
05746001-6	up	none	none	none	up	none	up	*	up	down	up	up
05748001-7	up	none	up	none	up	none	up	-999	up	down	up	up
06007011-3	none	none	none	up	none	none	none	none	none	-999	-999	-999
06012001-3	up	down	up	up	none	none	up	none	up	-999	none	-999
06015001-K	up	down	up	up	none	none	up	none	up	none	up	-999
06018007-5	up	none	up	up	up	none	up	*	up	none	up	up
06028001-0	-999	none	-999	up	-999	down	-999	none	up	-999	-999	-999
06041001-1	-999	none	-999	up	-999	down	-999	-999	-999	-999	-999	-999
07117001-2	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	-999	up	-999	-999	-999
07335001-8	-999	-999	-999	none	-999	none	-999	-999	none	-999	-999	-999
07336001-3	-999	-999	-999	none	-999	*	-999	-999	-999	-999	-999	-999
07339001-K	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	-999	none	-999	-999	-999
07351001-5	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	-999	up	-999	-999	-999
07356002-0	-999	-999	-999	up	-999	up	-999	-999	none	-999	-999	-999
07358004-8	-999	-999	-999	none	-999	none	-999	-999	none	-999	-999	-999
07359001-9	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	-999	none	-999	-999	-999
07376001-1	-999	-999	-999	none	-999	none	-999	-999	up	-999	-999	-999
07379001-8	-999	none	-999	up	-999	none	-999	-999	up	-999	-999	-999
07379002-6	-999	none	-999	none	-999	none	-999	-999	up	-999	-999	-999
07383001-K	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	-999	none	-999	-999	-999

	Calcio	Hierro	Mg	pH	Potasio	Temp	Sodio	Arsenico	CE	OD	Cloruro	Sulfato
08114001-4	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	-999	none	-999	-999	-999
08123001-3	-999	none	-999	up	-999	none	-999	-999	*	none	-999	-999
08124002-7	-999	-999	-999	up	-999	down	-999	-999	*	none	-999	-999
08132001-2	-999	none	-999	none	-999	none	-999	down	none	none	-999	-999
08135002-7	-999	none	-999	up	-999	down	-999	down	none	none	-999	-999
08141001-1	-999	up	-999	up	-999	none	-999	down	none	none	-999	-999
08220002-9	-999	-999	-999	up	-999	down	-999	-999	up	-999	-999	-999
08307001-3	-999	none	-999	none	-999	none	-999	-999	down	none	-999	-999
08317001-8	-999	none	-999	none	-999	none	-999	-999	down	none	-999	-999
08323002-9	-999	none	-999	up	-999	none	-999	down	down	-999	-999	-999
08334001-0	-999	down	-999	up	-999	none	-999	-999	none	none	-999	-999
08341002-7	-999	*	-999	none	-999	none	-999	-999	none	-999	-999	-999
08344001-5	-999	-999	-999	none	-999	none	-999	-999	-999	-999	-999	-999
08351001-3	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	-999	down	-999	-999	-999
08358001-1	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	-999	down	-999	-999	-999
08366001-5	-999	none	-999	up	-999	none	-999	-999	down	-999	-999	-999
08375003-0	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	-999	none	-999	-999	-999
08383001-8	-999	-999	-999	none	-999	none	-999	-999	-999	-999	-999	-999
08391001-1	-999	none	-999	up	-999	none	-999	-999	up	-999	-999	-999
08394003-4	-999	down	-999	up	-999	none	-999	-999	none	-999	-999	-999
08394004-2	-999	down	-999	up	-999	*	-999	-999	-999	-999	-999	-999
08510001-7	-999	none	-999	none	-999	none	-999	-999	*	none	-999	-999
09102001-7	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	-999	-999	-999	-999	-999
09105001-3	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	-999	none	-999	-999	-999
09106001-9	-999	-999	-999	up	-999	down	-999	-999	none	-999	-999	-999
09113002-5	-999	none	-999	none	-999	none	-999	-999	down	-999	-999	-999
09116001-3	-999	none	-999	none	-999	none	-999	-999	-999	-999	-999	-999
09123001-1	-999	-999	-999	none	-999	none	-999	-999	down	-999	-999	-999

	Calcio	Hierro	Mg	pH	Potasio	Temp	Sodio	Arsenico	CE	OD	Cloruro	Sulfato
09127001-3	-999	-999	-999	none	-999	none	-999	-999	down	-999	-999	-999
09129003-0	-999	-999	-999	up	-999	*	-999	-999	down	none	-999	-999
09135001-7	-999	-999	-999	none	-999	none	-999	-999	down	none	-999	-999
09140001-4	-999	-999	-999	none	-999	none	-999	-999	-999	-999	-999	-999
09150001-9	-999	none	-999	none	-999	none	-999	-999	down	none	-999	-999
09402001-8	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	*	down	none	-999	-999
09404001-9	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	*	down	none	-999	-999
09418001-5	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	-999	down	none	-999	-999
09420001-6	-999	none	-999	up	-999	none	-999	-999	down	none	-999	-999
09434001-2	-999	none	-999	up	-999	none	-999	-999	down	none	-999	-999
09437002-7	-999	none	-999	none	-999	*	-999	-999	down	none	-999	-999
10107001-8	-999	-999	-999	none	-999	-999	-999	-999	none	-999	-999	-999
10134001-5	-999	-999	-999	none	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999
10144001-K	-999	none	-999	up	-999	none	-999	-999	-999	-999	-999	-999
10304001-9	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	-999	-999	-999	-999	-999
10306001-K	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	*	-999	-999	-999	-999
10310001-1	-999	none	-999	none	-999	none	-999	-999	-999	none	-999	-999
10322001-7	-999	-999	-999	none	-999	none	-999	-999	none	none	-999	-999
10330001-0	-999	-999	-999	up	-999	none	-999	-999	-999	-999	-999	-999
10340001-5	-999	-999	-999	none	-999	*	-999	-999	-999	-999	-999	-999
10356001-2	-999	-999	-999	none	-999	none	-999	-999	up	-999	-999	-999
10362001-5	-999	-999	-999	-999	-999	*	-999	-999	-999	-999	-999	-999
10364001-6	-999	-999	-999	-999	-999	none	-999	-999	-999	-999	-999	-999
10454001-5	-999	-999	-999	none	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999
12280002-4	-999	-999	-999	up	-999	-999	-999	-999	none	-999	-999	-999
12287001-4	-999	-999	-999	none	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999
12585001-4	-999	-999	-999	none	-999	-999	-999	-999	none	-999	-999	-999
12600001-4	-999	none	-999	none	-999	-999	-999	-999	down	-999	-999	-999

	Calcio	Hierro	Mg	pH	Potasio	Temp	Sodio	Arsenico	CE	OD	Cloruro	Sulfato
12622001-4	-999	-999	-999	none	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999
12805001-9	-999	none	-999	none	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999

8.5 Información adicional sobre cálculo de ICA

Tabla 27. Estaciones superficiales vigentes con las cuales se calcula el ICA. Fuente: Elaboración propia.

01001002-0	02510001-8	04531002-7	05701002-9	06018007-5	08117006-1	08822006-4	10306001-K	11316001-2	12285004-8	12876004-0
01010002-K	03022001-3	04532001-4	05702006-7	06019003-8	08119002-K	08910001-1	10310001-1	11317002-6	12286002-7	12878001-7
01020002-4	03041004-1	04537001-1	05703003-8	06028001-0	08123001-3	09102001-7	10313002-6	11317003-4	12287001-4	12930001-9
01020004-0	03041005-K	04557002-9	05704008-4	06032001-2	08124002-7	09105001-3	10322001-7	11336001-1	12289001-5	
01021001-1	03050001-6	04558001-6	05704012-2	06034002-1	08130001-1	09106001-9	10328001-K	11337001-7	12289002-3	
01021004-6	03404001-K	04703002-1	05706001-8	06034020-K	08130002-K	09113002-5	10330001-0	11342001-4	12289004-K	
01041001-0	03414001-4	04704001-9	05707002-1	06035001-9	08132001-2	09116001-3	10340001-5	11505001-K	12291001-6	
01041002-9	03421001-2	04711001-7	05707004-8	06041001-1	08135002-7	09123001-1	10343001-1	11514001-9	12400003-3	
01044001-7	03431001-7	04712001-2	05710001-K	06043001-2	08140003-2	09127001-3	10344002-5	11514002-7	12400004-1	
01050002-8	03434002-1	04713006-9	05710009-5	06056002-1	08140004-0	09129003-0	10356001-2	11516001-K	12448001-9	
01050004-4	03802001-3	04716004-9	05710011-7	06132001-6	08141001-1	09131001-5	10362001-5	11517001-5	12452001-0	
01201001-K	03803001-9	04721001-1	05711001-5	07101001-5	08200001-1	09135001-7	10362002-3	11520002-K	12561001-3	
01201002-8	03806001-5	04725001-3	05711005-8	07102001-0	08210001-6	09140001-4	10364001-6	11521001-7	12563001-4	
01201008-7	03815001-4	04726001-9	05713002-4	07103001-6	08220002-9	09150001-9	10405002-6	11521004-1	12582001-8	
01210001-9	03823001-8	04735001-8	05713004-0	07106006-3	08307001-3	09400001-7	10411002-9	11522000-4	12585001-4	
01211001-4	03826001-4	04810001-5	05715006-8	07117001-2	08317001-8	09402001-8	10411008-8	11530000-8	12585002-2	
01310003-9	04301001-8	05100001-3	05716001-2	07117002-0	08323001-0	09404001-9	10411009-6	11533002-0	12586001-K	
01410004-0	04302001-3	05101001-9	05717005-0	07119003-K	08323002-9	09418001-5	10414001-7	11535000-5	12586002-8	
01502002-4	04302003-K	05110001-8	05720001-4	07123003-1	08334001-0	09420001-6	10432001-5	11535001-3	12586003-6	
01502005-9	04302004-8	05120001-2	05721001-K	07303000-5	08341002-7	09437002-7	10454001-5	11536004-3	12586008-7	
01610002-1	04302005-6	05200001-7	05721002-8	07321002-K	08344001-5	10100002-8	10461000-5	11536006-K	12600001-4	
01730003-2	04302007-2	05211001-7	05721018-4	07322001-7	08350001-8	10102001-0	10503002-9	11539000-7	12622001-4	
01730012-1	04302011-0	05220002-4	05722002-3	07330001-0	08351001-3	10104001-1	10520001-3	11539001-5	12660001-1	
02101002-2	04303001-9	05221002-K	05730058-2	07335001-8	08352003-5	10107001-8	10702002-0	11539002-3	12802001-2	
02103001-5	04304002-2	05402001-5	05730060-4	07336001-3	08358001-1	10110001-4	10711001-1	11544000-4	12805001-9	
02104002-9	04306001-5	05402013-9	05735002-4	07339001-K	08359002-5	10111001-K	10904001-0	11545000-K	12806001-4	
02104005-3	04308001-6	05406001-7	05736001-1	07343001-1	08366001-5	10113002-9	10904004-5	11548000-6	12806002-2	
02104013-4	04311001-2	05410002-7	05737005-K	07350001-K	08375003-0	10122004-4	10906003-8	11548001-4	12806003-0	
02105002-4	04314002-7	05410005-1	05737020-3	07351001-5	08380001-1	10123007-4	11020005-6	11549000-1	12808000-7	
02105007-5	04320001-1	05410022-1	05740010-2	07356002-0	08381013-0	10130002-1	11022001-4	11711000-1	12808001-5	
02110001-3	04323001-8	05411001-4	05742001-4	07358004-8	08383001-8	10134001-5	11024000-7	12271000-9	12808002-3	
02110002-1	04331003-8	05414001-0	05746001-6	07359001-9	08385004-3	10134003-1	11040002-0	12280002-4	12808003-1	
02110004-8	04335001-3	05414003-7	05748001-7	07371001-4	08386003-0	10134004-K	11144001-8	12281000-3	12820001-0	

02111002-7	04501001-5	05415001-6	06003003-0	07376001-1	08390000-8	10134006-6	11147002-2	12284002-6	12825002-6
02112001-4	04503001-6	05421004-3	06007011-3	07379001-8	08391001-1	10135002-9	11302001-6	12284003-4	12860001-9
02113001-K	04511002-8	05422001-4	06010005-5	07379002-6	08394003-4	10137001-1	11303002-K	12284005-0	12861001-4
02120001-8	04514001-6	05423003-6	06011001-8	07383001-K	08394004-2	10139000-4	11307001-3	12284006-9	12863002-3
02500004-8	04522001-K	05424002-3	06012001-3	08106002-9	08394005-0	10144001-K	11308002-7	12284007-7	12865001-6
02500005-6	04523002-3	05426003-2	06013001-9	08114001-4	08510001-7	10144003-6	11310002-8	12285001-3	12872001-4
02500006-4	04530001-3	05427001-1	06015001-K	08117001-0	08720001-9	10304001-9	11315001-7	12285003-K	12876001-6

8.6 Registro del taller de difusión

8.6.1 Fotografías







8.6.2 Asistentes

Nombre	Apellido	Institución
Fabián	Aburto Jara	DGA
Guillermo	Arce	DICTUC
Avril	Bernales	Ministerio del Medio Ambiente
Alejandro	Briso	Universidad Católica de Chile
Daniela	Daie	Instituto Nacional de Estadísticas de Chile
José Antonio	Díaz	CEDEUS
Rodrigo	Farias	Superintendencia de Servicios Sanitarios
Daniela	Fredes	DGA
Amerindia	Jaramillo	MMA
Hernán	Latuz	MMA
Carmen Gloria	Maldonado	SAG
Claudia	Mellado	Consultora
Mauricio	Montecinos Alarcón	Pontificia universidad católica de chile
Heriberto	Moya	DGA
Mónica	Musalem	Dirección General de Aguas
Johanna	Ortiz	CEDEUS
Andrea	Oses	DGA
Pablo	Pastén	DICTUC
Roxana	Ríos	CEDEUS
Sergio	Sairafi	Ministerio del Medio Ambiente
Diego	San Miguel	DGA
Vanida	Salgado	SISS
Carmen	Silva	SISS
Alejandra	Vega	DICTUC
Sergio	Vilches	SMA
Paola	Matus	Fundación Chile
Cristian	Díaz	DGA
Ismael	Pastén	
María Soledad	Orellana	DGA
Melania	Atenas	Consultora
Eva	Cisternas	DGA
Liwen	Quiñelem	DGA

Nombre	Apellido	Institución
Camila	Pailahueque	DGA
Nayade	Vargas	DGA
Ximena	Molina	Universidad de Chile
Jorge	Quense	PUC
César	Meneses	PUC
Cristobal	Girardi	Fundación Chile
Norberto	Werner	CNR
Rodrigo	Sáez	DGA
Ivonne	Roa	DGA
Cinthya	Montecinos	DGA
Melissa	Pizarro	DGA
Ana María	Araneda	PUC
Belén	Rojas	DOH