



DEPTO. CONSERVACIÓN Y
PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS
PROCESO N°13343280

MINUTA: DCPRH N° /26

MAT.: Seguimiento de la calidad del agua subterránea – Fuente pozos APR región de Valparaíso, año 2018.

ANT.: Minuta DCPRH N°22/2018: Seguimiento de la calidad del agua subterránea – Pozos APR V región de Valparaíso.

Minuta DCPRH N°37/2017: Seguimiento de la calidad del agua subterránea – Pozos APR V región de Valparaíso.

SANTIAGO, 28 de agosto de 2019

1. Introducción

La Dirección General de Aguas (DGA), como organismo promotor de la gestión y administración del recurso hídrico tiene dentro de sus funciones las siguientes: 1) Planificar el desarrollo del recurso en las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento; 2) Investigar y medir el recurso (Código de Aguas. Art. 299. Atribuciones y Funciones).

Para cumplir con estas funciones la DGA mantiene una red de control de cantidad, niveles y calidad de las aguas tanto superficiales como subterráneas en cada cuenca u hoyo hidrográfica, la información generada es pública y de libre acceso a quien la solicite (Código de Aguas. Art. 129 bis 3). La administración de la red de cantidad y niveles se encuentra a cargo de la División de Hidrología, mientras que las redes de calidad son administradas por el Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos. Las redes de calidad de la DGA se extienden sobre los recursos superficiales (ríos y lagos) y sobre los subterráneos y tienen por objetivo el *generar información sistemática y pública que caracterice la calidad del agua para su conservación y protección.*

En lo concreto, la calidad de un agua se define de acuerdo al uso al que se destine (consumo humano, riego, contacto directo, vida acuática, industrial, etc.), dependiendo del uso un agua debe cumplir ciertos requisitos que se evalúan a través de las concentraciones, presencias y formas de los elementos, compuestos, u organismos presentes (o no) en solución.

La DGA trabaja constantemente en el conocimiento de la calidad de las aguas del país para ello cuenta con un Laboratorio Ambiental (LADGA), hidromensores de las Direcciones Regionales y Provinciales, y en el desarrollo de las redes de monitoreo de calidad. En la actualidad la DGA cuenta con 423 estaciones de monitoreo en ríos además de 69 estaciones de monitoreo en cuerpos lacustres, alcanzando un nivel de funcionamiento y autonomía que permite destinar esfuerzos en fortalecer la red de calidad de aguas subterráneas, que hasta el año 2015 contaba con aproximadamente 57 estaciones.

Ante el panorama antes descrito la DGA decide avanzar en el desarrollo de la red subterránea de calidad de aguas y realiza un estudio denominado “Diagnóstico y desafíos de la red de calidad de aguas subterráneas” (Dirección General de Aguas (DGA), 2017), donde se hace un análisis de la red

y se plantea un conjunto de desafíos en el corto y mediano plazo para su optimización (Dirección General de Aguas (DGA), 2017). El diagnóstico se realizó sobre la situación al año 2015, se evaluó un conjunto de aspectos técnicos y económicos en miras de identificar temáticas prioritarias de acción, dentro de los cuales se destaca el desafío de densificar la red. Respecto a esto, se propone e implementa una metodología para cuantificar el déficit teórico de pozos de monitoreo a escala regional y por acuífero. Con los resultados obtenidos para las 7 regiones con acuíferos delimitados¹ se estimó un déficit teórico de 1140 pozos (17 veces el tamaño de la red en el año 2015), el cual derivó en la propuesta de metas y líneas de acción al año 2018 asociadas a 3 objetivos estratégicos, a saber: I. Mejorar la cobertura espacial de la Red en 600 pozos adicionales; II Optimizar la operatividad de la Red; y III. Sustentar técnicamente la interpretación de los datos generados por la Red.

Con nuevos lineamientos que orientan el desarrollo de la actual red de calidad de aguas subterráneas, particularmente el de densificar la red, se realizan diagnósticos de la calidad en distintas regiones utilizando los pozos de agua potable rural (APR). Se decide estudiar la calidad de agua en estos pozos porque: 1) Cuentan con infraestructura para extraer agua fácilmente (todos poseen bomba); 2) se encuentran en constante funcionamiento y por tanto el agua estudiada es representativa del acuífero del cual se extrae; 3) porque no presentan problemas de acceso (no se encuentran usualmente en áreas de uso privado), y 4) los resultados obtenidos son reportados a los comités de APR dando un valor social a los resultados.

Las regiones donde se realizaron los diagnósticos de calidad de agua fueron en Libertador Bernardo O'Higgins, Valparaíso, Metropolitana, Coquimbo, Maule y Ñuble y Biobío resultando las siguientes publicaciones:



Figura 1. Estudios de Diagnóstico de calidad de agua subterránea realizados al año 2018.

Estos diagnósticos no sólo permitieron levantar información de línea de base de calidad de agua y difundirla, sino que además contribuyeron con la densificación de la red pues a estos pozos se les

¹ A la fecha de elaboración del Diagnóstico y desafíos de la red de calidad de aguas subterráneas 7 regiones contaban con delimitación de acuíferos, a mencionar: Arica y Parinacota, Tarapacá, Copiapó, Coquimbo, Valparaíso, Libertador Bernardo O'Higgins y Maule.

asignó un código BNA², el cual permite almacenar la información de calidad de los seguimientos que se realicen. A la fecha de emisión de este documento se han codificado 667 pozos APR y se han realizado seis informes de seguimientos de la calidad; región de Coquimbo (Minuta N°19/2018), región de Valparaíso (Minuta N°37/2017 y N°22/2018), región Metropolitana (Minuta N°22/2019) y región del Libertador Bernardo O'Higgins (Minuta N°20/2017 y Minuta N°24/2018)³.

En el caso particular del "Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la región de Valparaíso"⁴ (2015) se utilizó la infraestructura instalada de 49 pozos APR para analizar la calidad del agua proveniente del acuífero previo a cualquier tratamiento, representativos de 15 sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC)⁵. En esa oportunidad destacaron ciertos sectores acuíferos cuya calidad del agua se había visto mermada, ya sea en su potencial uso potable y/o de riego, entregándose como recomendación el realizar un seguimiento. Por esto, la DGA realizó durante el año 2016 y 2017 un seguimiento a estos sectores acuíferos lo cual quedó reflejado en la Minuta DCPRH N°37/2017 y N°22/2018 respectivamente, y nuevamente el año 2018 se realizaron muestreos de esos sectores acuíferos, considerando para el último seguimiento 26 pozos APR, integrándose la nueva información a la previamente obtenida.

2. Objetivos

El objetivo del presente documento es analizar los resultados del seguimiento a la calidad del agua de las fuentes de pozos APR de la región de Valparaíso de las muestras tomadas durante los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Identificar su calidad respecto al uso potable y en riego, respectivamente, comparando con las normas NCh 409/05 y NCh 1333/78, y determinar el Índice de calidad general aplicado en el estudio "Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la región de Valparaíso".

3. Metodología

La metodología de muestreo para la campaña de 2018 corresponde a la misma empleada en el "Diagnóstico de la calidad de aguas subterráneas de la región de Valparaíso" realizada durante el año 2015.

Respecto al procesamiento de datos, se reúne la información de los análisis fisicoquímicos⁶ de las fuentes de los pozos APR de los cuales se hizo el seguimiento (Figura 2), se realiza una caracterización general de esta recurriendo a literatura y otras herramientas gráficas (diagramas de piper, box plots, gráficos de dispersión para relaciones iónicas) y se evalúa la calidad del agua utilizando como criterio el uso potable del agua, establecido por la NCh 409/05, y el uso en riego establecido por la NCh 1333/78. La comparación con la NCh 409/05 es sólo referencial pues el uso potable del agua como tal es fiscalizable sólo en la red de distribución, posterior a un tratamiento del agua.

Para realizar la caracterización se recurre al cálculo de estadígrafos (medianas y percentiles para los gráficos de box plot) aplicándose dos criterios: el primero se relaciona con los datos bajo el

² Corresponde al código único que tiene cada estación de monitoreo de la DGA en la cual se representa la cuenca, subcuenca y sub-subcuenca donde se emplaza la estación. Este código proviene del Sistema Banco Nacional de Aguas, una base de datos orientada al almacenamiento, procesamiento y difusión de estadística hidrometeorológica y de calidad de aguas proporcionada por las estaciones de monitoreo DGA a lo largo del país.

³ Las minutas pueden ser consultadas en el catálogo bibliográfico de la DGA: <http://sad.dga.cl/>

⁴ Diagnóstico de la calidad de aguas subterráneas de la región de Valparaíso S.D.T. N°382-2016.

⁵ Un SHAC es un acuífero o parte de un acuífero, cuyas características hidrológicas espaciales y temporales permiten una delimitación para efectos de su evaluación hidrogeológica o gestión de forma independiente (Dirección General de Aguas, 2013).

⁶ Las metodologías analíticas, límites de detección de cada técnica y los laboratorios que realizaron los análisis se detallan en la Tabla 12 del Anexo.

límite de detección, los cuales se igualan al valor de dicho límite. Este criterio también se tomó al hacer gráficos Box plot y los gráficos de dispersión para las relaciones iónicas.

En la elaboración de los box plot se toman en cuenta todos los datos históricos levantados por SHAC, esto es considerando los datos desde el año 2015 a la fecha en todos los APR monitoreados. Esto último permite disminuir la incertidumbre sobre las concentraciones encontradas de los distintos parámetros y permite conocer mejor la composición del agua de un SHAC.

Posterior a la caracterización química del agua se calcula e interpreta el Índice de calidad general para el año 2018 y se compara con los resultados obtenidos en campañas anteriores (sección 5. Índice de calidad).

Tabla 1. Ubicación de las fuentes de de APR donde se realiza el seguimiento de calidad, la cantidad de campañas por cada fuente de APR y el sistema de tratamiento si corresponde.

N°	Nombre Pozo	BNA	Comuna	SHAC	Este (wgs84 H19)	Norte (wgs84 H19)	N° Campañas
1	CAMPICHE	05320005-4	PUCHUNCAVÍ	ESTERO PUCHUNCAVÍ	272380	6375328	4
2	CASAS DE HUALQUÉN	05000002-8	LA LIGUA	ESTERO GUAQUEN	274105	6419946	3
3	COLLIGUAY	05741004-3	QUILPUE	SIN INFORMACIÓN	301959	6327375	3
4	CUNCUMÉN	05747007-0	SAN ANTONIO	MELIPILLA	275674	6259993	4
5	EL TOTORAL	05530006-2	EL QUISCO	ESTERO EL ROSARIO	255799	6298693	3
6	EL TURCO	05530007-0	CARTAGENA	ESTERO CARTAGENA	269886	6285076	3
7	HIERRO VIEJO	05110007-7	PETORCA	SECTOR 10 - RIO PETORCA ORIENTE	310480	6426400	1
8	HIERRO VIEJO CENTRO	05520034-3	PETORCA	SECTOR 10 - RIO PETORCA ORIENTE	311958	6427291	1
9	HUACALPO	05220015-6	HIJUELAS	ACUÍFERO 6 - NOGALES-HIJUELAS	303722	6359601	3
10	LA CANELA	05426028-8	LA LIGUA	SECTOR 4 - RIO PETORCA PONIENTE	297245	6417735	3
11	LA MORA	05427023-2	CABILDO	SECTOR 9 - ESTERO LOS ANGELES	315920	6402940	1
12	LA PEÑA	05211005-K	NOGALES	ACUÍFERO 6 - NOGALES-HIJUELAS	297268	6374328	3
13	LA VIÑA-LA VEGA	05110008-5	CABILDO	SECTOR 6 - RIO LA LIGUA ORIENTE	323080	6413210	1
14	LAGUNA VERDE	05423025-7	VALPARAÍSO	ESTERO LAGUNA VERDE	253019	6333098	4
15	LLÚ LLÚ ALTO	05120021-7	LIMACHE	ACUÍFERO 9 - LIMACHE	292943	6335888	3
16	LOS MAITENES	05424014-7	LIMACHE	ACUÍFERO 9 - LIMACHE	291493	6346528	4
17	MANTAGUA	05210010-0	QUINTEROS	DUNAS DE QUINTERO	268573	6361187	3
18	MUNDO NUEVO	05510008-K	CASABLANCA	LA VINILLA-CASABLANCA	280665	6307728	4
19	PALMIRA ROMANO	05427020-8	LIMACHE	ACUÍFERO 9 - LIMACHE	292775	6339557	2
20	PARCELEROS EL MELÓN	05427022-4	NOGALES	ACUÍFERO 6 - NOGALES-HIJUELAS	293582	6380551	3
21	PASO HONDO CASA BLANCA	05320006-0	CASABLANCA	ESTERO CASABLANCA DESEMBOCADURA	269440	6321945	1
22	PUEBLO DE INDIOS	05520033-5	QUILLOTA	ACUÍFERO 7 - QUILLOTA	292088	6357668	4
23	SAN JOSÉ	05424016-3	CABILDO	SECTOR 7 - RIO LA LIGUA CABILDO	305378	6411215	3
24	TABOLANGO	05520035-1	LIMACHE	ACUÍFERO 8 - ACONCAGUA DESEMBOCADURA	278522	6354286	1
25	TAPIHUE	05426026-1	CASABLANCA	LOS PERALES	283410	6311768	3
26	VALLE DE LOS OLMOS	05100012-9	PETORCA	SECTOR 3 - RIO DEL SOBRANTE	328532	6434014	4
27	EL SOBRANTE*	05100011-0	PETORCA	SECTOR 3 - RIO DEL SOBRANTE	332090	6433081	2
28	SANTA ROSA DE COLMO*	05426027-K	QUILLOTA	ACUÍFERO 8 - ACONCAGUA DESEMBOCADURA	271852	6354845	2
29	LO ABARCA*	05530009-7	CARTAGENA	CARTAGENA ZÁRATE	263500	6287369	3

*No se realizó seguimiento durante el año 2018.

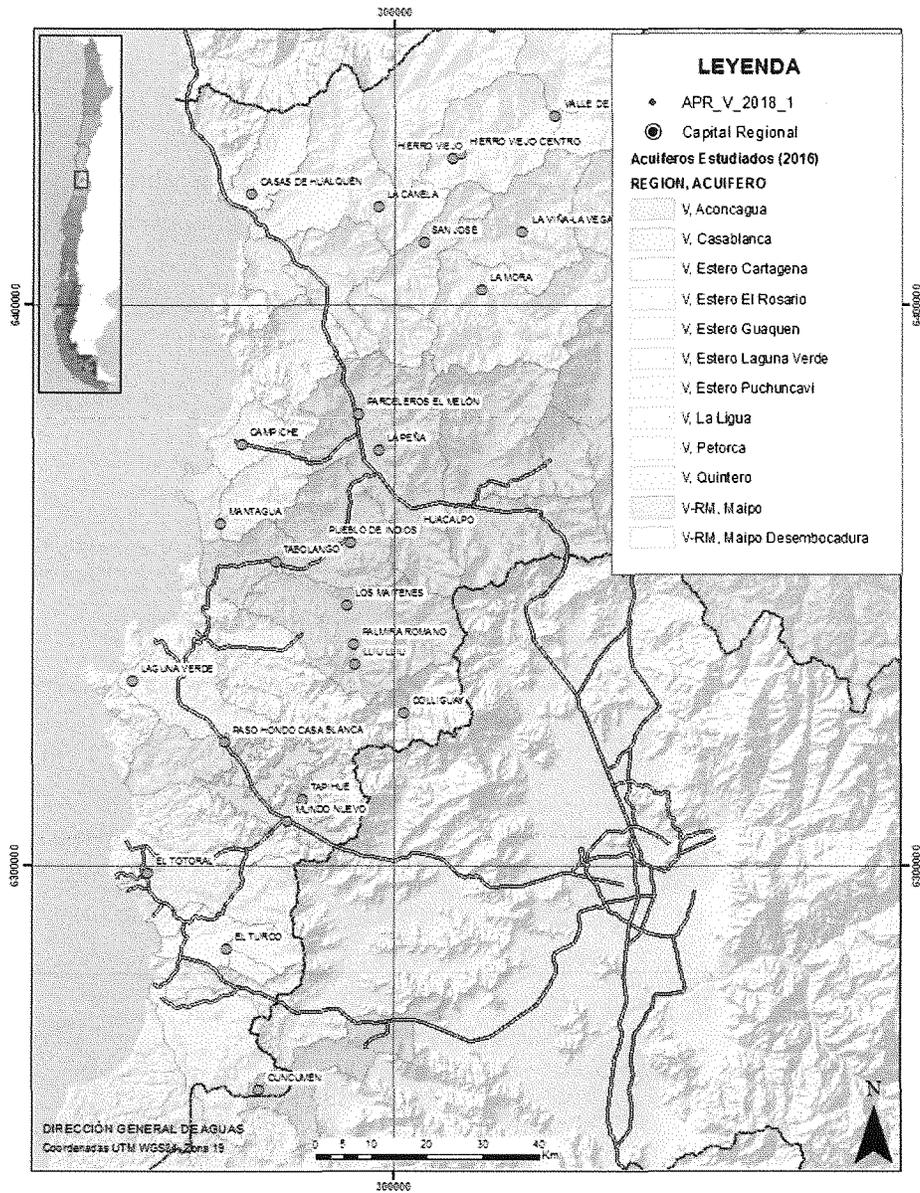


Figura 2. Ubicación de pozos APR en seguimiento de la región de Valparaíso, 2018.

4. Resultados

4.1. Parámetros de terreno

La conductividad específica⁷ es un parámetro medido en terreno que se utiliza, entre otros fines, para estimar los sólidos disueltos totales y la capacidad de una solución acuosa para resistir el transporte de corriente. El transporte de corriente por una solución se encuentra asociado a la disolución de sales como iones, su concentración total, movilidad, valencia y temperatura a la que

⁷ Si bien el valor de este parámetro se toma en terreno, es decir a la temperatura *in situ* de la muestra, este se lleva o corrige hacia una temperatura de 25°C (valor definido como estándar) para así poder compararlo con el de otras muestras (Wetzel, 2001). Por este motivo la conductividad eléctrica es referida como conductividad específica.

se efectúa la medición, esto es mientras más pura es el agua (menor contenido de sales) más resistencia a transportar corriente tiene, por el contrario, mientras más sales disueltas posee una solución (menos pura es el agua) menos resistencia tiene a conducir corriente (Chang & Goldsby, 2016); (Wetzel, 2001). El valor de este parámetro es una información muy relevante pues permite realizar balances iónicos que ayudan a establecer desviaciones en un análisis químico, pudiendo detectar resultados no representativos de una muestra (Postma & Apello, 2013).

La conductividad específica en los sectores acuíferos de la región de Valparaíso se caracteriza por encontrarse en su mayoría bajo los 1000 uS/cm (Figura 3). Sin embargo se observan algunos SHAC que han superado este valor, a mencionar: Acuífero 6 – Nogales Hijuelas, Acuífero 8 – Aconcagua Desembocadura, Dunas de Quintero, Estero Cartagena, Estero Guaquén, Estero Puchuncaví y Melipilla.

A continuación se establece un análisis basado en la calidad del agua respecto a su uso en riego considerando la conductividad específica obtenida durante el periodo 2015 al 2018 y las recomendaciones establecidas en la NCh 1333/78. La conductividad específica en el agua permite establecer 4 Calidades:

- Calidad 1: aquella donde no se observarán efectos perjudiciales del uso del agua ($c \leq 750$ uS/cm).
- Calidad 2: aquella donde el uso de esta agua puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles ($750 < c \leq 1500$ mg/L).
- Calidad 3: aquella donde el uso del agua puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos ($1500 < c \leq 3000$ mg/L).
- Calidad 4: un agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos ($3000 < c \leq 7500$ mg/L).

En la Figura 3 los datos históricos indican que el agua se caracteriza por presentar una mezcla de calidades en 4 SHAC, a mencionar: Acuífero 6 – Nogales Hijuelas, Acuífero 7 – Quillota, Acuífero 9 – Limache, Sector 7 – Río La Ligua Cabildo y Estero Cartagena. Los SHAC Acuífero 6 – Nogales Hijuelas, Acuífero 7 – Quillota, Acuífero 9 – Limache y Sector 7 – Río La Ligua Cabildo presentan un agua de Calidad 1 (< 750 uS/cm), como también un agua con Calidad 2 ($750 < c \leq 1500$ uS/cm). Por otro lado el SHAC Estero Cartagena indica un agua con Calidad 2 ($750 < c \leq 1500$ uS/cm), como también un agua con Calidad 3 ($1500 < c \leq 3000$ uS/cm) (Figura 3).

Los SHAC Estero Guaquén, Estero Puchuncaví, y Melipilla presentan un agua con Calidad 4 ($1500 < c \leq 3000$ uS/cm).

Se destacan los SHAC Estero Casablanca en Desembocadura, Estero Rosario, Estero Laguna Verde, La Vinilla-Casablanca, Los Perales, Sector 10-Río Petorca Poniente, Sector 6 –Río La Ligua Oriente, Sector 9 – Estero Los Ángeles y el SHAC Sin Información por presentar un agua con Calidad 1 durante todo el periodo analizado (2015 al 2018) (Figura 3).

Seguimiento APR Valparaiso 2015 - 2018

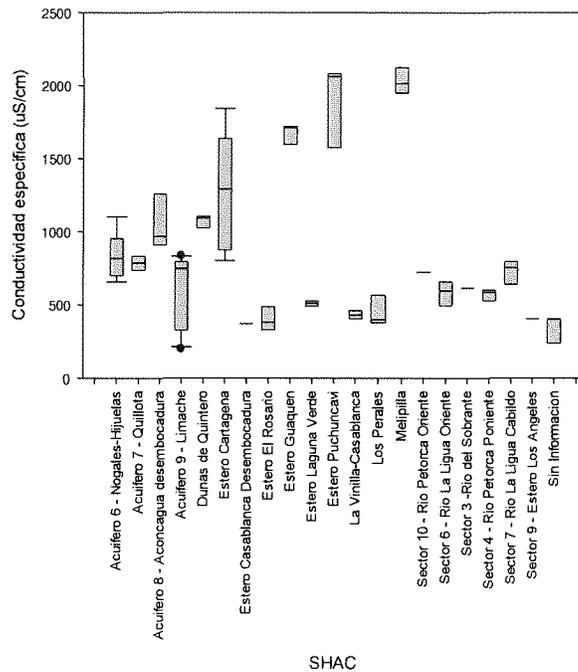


Figura 3. Box plot con datos de Conductividad Específica para cada SHAC analizado en la región de Valparaiso considerando las campañas 2015, 2016, 2017 y 2018. Se grafica la mediana, percentiles 25 y 75 como límites de la caja.

El análisis por fuente APR indica que el año 2018 los APR El Turco (SHAC Estero Cartagena), Hualcapo (SHAC Acuífero 6 – Nogales Hijuelas), Pueblo de Indios (SHAC Acuífero 7 –Quillota), Los Maitenes (SHAC Acuífero 9 - Limache), y Mantagua (SHAC Dunas de Quintero) registraron una Calidad 2 ($750 < c \leq 1500$ uS/cm), situación que se dio en campañas anteriores (Tabla 2). Por otro lado las fuentes APR Campiche (SHAC Estero Puchuncaví) y Cuncumén (SHAC Melipilla) presentaron una Calidad 3 ($1500 < c \leq 3000$ uS/cm), situación que también se dio en las campañas anteriores (Tabla 2).

Los APR restantes monitoreados el año 2018 registraron una Calidad 1 en conductividad específica, indicando que esta ha sido en general la calidad predominante en el tiempo (Tabla 2).

La concentración de **sólidos disueltos totales (SDT)** es considerado un parámetro de terreno pues puede estimarse a través de la conductividad, estando íntimamente relacionados. El principal efecto de un aumento de los sólidos disueltos totales en un agua es el aumentar la conductividad eléctrica y las tasas de corrosión pues representa el contenido total de sales en una solución (Wetzel, 2001).

La salinidad, que puede asociarse con los sólidos disueltos totales es uno de los contaminantes más antiguos. Causa la contaminación de acuíferos y la salinización de los suelos, con la consecuente pérdida de rendimiento en los cultivos (Banco Mundial, 2019). La salinidad también es nociva en el agua para bebida, especialmente en las fases vulnerables de la vida (infancia y embarazo). Las mujeres expuestas a altas concentraciones de salinidad pueden tener pérdidas y tienen un alto riesgo de tener preclampsia e hipertensión gestacional. Los bebés expuestos a niveles altos de salinidad que sobreviven, tienen alto riesgo de complicaciones futuras.

Los resultados de sólidos disueltos totales levantados entre 2015 y 2018 indican que la mayoría de los SHAC poseen concentraciones bajo los 2000 mg/L, encontrándose sólo en 3 SHAC concentraciones que superan este valor; SHAC Acuífero 6 – Nogales Hijuelas, Estero Guaquén,

Sector 3 – Río del Sobrante y Sector 4 Río Petorca Poniente (Figura 4). En general se observa que en estos últimos SHAC mencionados la fluctuación de los valores es mayor, mientras que en los demás SHAC la fluctuación es más estrecha.

Respecto a la NCh 1333/78 para uso en riego, el contenido de sólidos disueltos totales en el agua permite establecer 4 Calidades:

- Calidad 1: aquella donde no se observarán efectos perjudiciales con el uso del agua ($s \leq 500$ mg/L).
- Calidad 2: aquella donde el uso de esta agua pudo tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles ($500 < s \leq 1000$ mg/L).
- Calidad 3: aquella donde el uso del agua puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos ($1000 < s \leq 2000$ mg/L).
- Calidad 4: un agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos ($2000 < s \leq 5000$ mg/L).

Al identificar las calidades presentes se observan 7 SHAC con calidades compuestas (mezclas de una o más calidades antes descritas), a mencionar: Acuífero 6 – Nogales Hijuelas, Acuífero 7 – Quillota, Acuífero 9 – Limache, Estero Guaquén, Sector 3 – Río del Sobrante, Sector 4 – Río Petorca Poniente y Sector 7 – Río La Ligua Cabildo (Figura 4). De esos SHAC aquellos que presentaron la calidad más comprometida para el uso del agua fueron Estero Guaquén, Sector 3 – Río del Sobrante y Sector 4 – Río Petorca Poniente, las cuales abarcaron la Calidad 1, Calidad 2, Calidad 3 y Calidad 4 (Tabla 2). El SHAC Acuífero 6 – Nogales Hijuelas presentó un agua con Calidad 2 y 3, y los SHAC Acuífero 7 – Quillota, Acuífero 9 – Limache y Sector 7 – Río La Ligua Cabildo presentaron un agua con Calidad 1 y 2. Los SHAC Estero Casablanca Desembocadura, Estero Laguna Verde, La Vinilla-Casablanca, Los Perales, Sector 6 – Río La Ligua Oriente, Sector 9 – Estero Los Ángeles y el SHAC Sin Información presentaron Calidad 1.

Analizando los resultados del año 2018 de los APR en seguimiento se observa que aquellos con la menor calidad respecto a los sólidos disueltos totales son Casas de Hualquén con 7710 mg/L (SHAC Estero Guaquén) y La Canela con 10710 mg/L (SHAC Sector 4 – Río Petorca Oriente) que presentaron un agua con Calidad 4. Esta situación es sensible puesto que en las campañas anteriores las concentraciones de este parámetro indicaban calidades mejores en ambos APR, considerándose entonces la posibilidad de una contaminación (Tabla 2).

Los APR Campiche (SHAC Estero Puchuncaví) y Cuncumén (SHAC Melipilla) presentaron un agua con Calidad 3 durante el año 2018. En el APR Cuncumén este último valor es similar a aquellos registrados en campañas anteriores, situación que se repite en el APR Campiche (Tabla 2). Los APR El Turco (SHAC Estero Cartagena), Hierro Viejo y Hierro Viejo Centro (SHAC Sector 10 – Río Petorca Oriente), Hualcapo (Acuífero 6 – Nogales Hijuelas), Los Maitenes (SHAC Acuífero 9 – Limache), Mantagua (SHAC Dunas de Quintero), Pueblo de Indios (SHAC Acuífero 7 - Quillota) y Tabolango (SHAC Acuífero 8 – Aconcagua desembocadura) presentaron un agua con Calidad 2 (Tabla 2). De estos APR la fuente Mantagua es aquella que muestra un aumento de sus concentraciones a través de las campañas. Los APR que presentaron una Calidad 1 durante el año 2018 y en la mayoría de las campañas anteriores fueron Llíu Llíu Alto y Palmira Romano (SHAC Acuífero 9 – Limache), El Totoral (SHAC Estero El Rosario), Mundo Nuevo (SHAC La Vinilla-Casablanca), Colliguay (SHAC Sin Información, La Mora (SHAC Sector 9 – Estero Los Ángeles), La Viña – La Vega (Sector 6 – Río La Ligua Oriente), Laguna Verde (SHAC Estero Laguna Verde), Paso Hondo Casa Blanca (SHAC Estero Casablanca Desembocadura), San José (SHAC Sector 7 – Río La Ligua Cabildo), Tapihue (SHAC Los Perales) y Valle de los Olmos (SHAC Sector 3 – Río del Sobrante) (Tabla 2).

Respecto a la NCh 409/05, se observa que 4 SHAC registraron valores sobre la recomendación para uso potable del agua (>1500 mg/L), a mencionar: el SHAC Acuífero 6 – Nogales Hijuelas, Estero Guaquén, Sector 3 – Río del Sobrante y Sector 4 – Río Petorca Poniente Melipilla (Figura 4).

En lo particular se identificaron 5 fuentes APR que registraron valores sobre lo recomendado por la NCh 409/05 durante la campaña del 2018, siendo estos: APR Casas de Hualquén (SHAC Estero Guaquén), APR Cuncumén (SHAC Melipilla), APR La Canela (SHAC Sector 4 – Río Petorca Poniente), APR La Peña y APR Parceleros El Melón (SHAC Acuífero 6 – Nogales Hijuelas) (Tabla 2). Se destaca que los APR Casas de Hualquén, La Canela, la Peña y Parceleros El Melón registraron concentraciones notoriamente superiores en 2018 respecto a las campañas anteriores, lo cual podría sugerir un problema de contaminación de la muestra o de la fuente.

Seguimiento APR Valparaíso 2015-2018

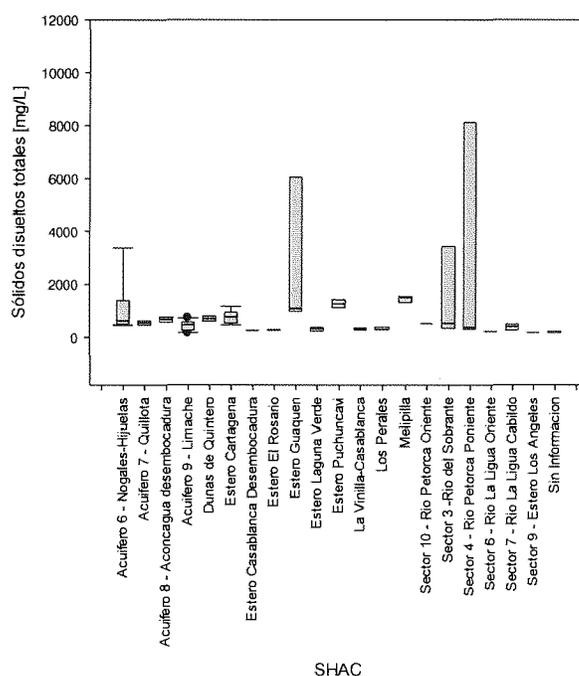


Figura 4. Box plot con datos de sólidos disueltos totales para cada SHAC analizado en la región de Valparaíso considerando los datos de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Se grafica la mediana, percentiles 25 y 75 como límites de la caja.

Respecto al pH, los valores obtenidos en las campañas del 2015 al 2018 en todos los SHAC se ubicaron de forma general en rangos neutros (6,5 – 7,8 unidades) (Hounslow, 1995) (Tabla 2). No se perciben fluctuaciones que abarquen más de un rango de pH descartando la posibilidad de una perturbación química relacionada con compuestos ácidos o básicos.

Se observa además que en general calidad del agua es adecuada para su uso en riego (5,5 – 9,0 unidades de pH en NCh 1333/78) y potable (6,5 – 8,5 unidades de pH NCh 409/05) (Tabla 2).

Seguimiento APR Valparaíso 2015-2018

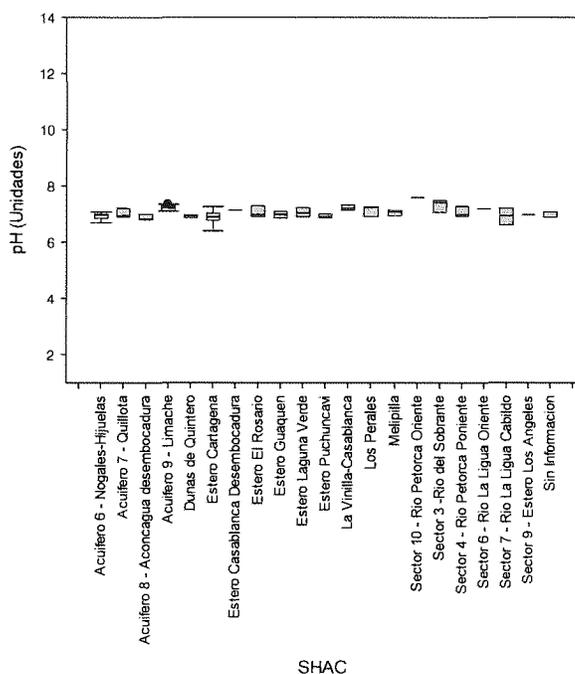


Figura 5. Box plot con datos de pH para cada SHAC analizado en la región de Valparaíso considerando los datos de las campañas 2015, 2016, 2017 y 2018. Se grafica la mediana y percentiles 25 y 75 como límites de la caja.

Los valores de **potencial de reducción** en los distintos SHAC indican valores entre -49 y 670 mV, característicos de ambientes más bien oxidantes (Figura 6) (Tabla 2). Establecer si el agua posee un carácter oxidante o reductor, sumado al rango de pH permite estimar la especiación (forma química predominante) de un elemento, y con esto su potencial disponibilidad y toxicidad para los organismos vivos (Stumm & Morgan, 1996).

Los resultados indican que en general los SHAC presentan rangos similares de potencial de reducción, destacando que el SHAC Acuífero 7 – Quillota y Acuífero 6 – Nogales Hijuela presentan valores ligeramente superiores respecto a los demás. Al no registrarse valores en rangos altamente negativos (<-200 mV)⁸ se estima que no existiría un aumento en la disponibilidad de metales pesados y metaloides que puedan ser tóxicos para la biota y los seres humanos (Ej.: arsénico, hierro, manganeso, cadmio, zinc, níquel, entre otros) (Mason, 2013).

⁸ En aguas naturales el potencial de óxido reducción tiene la limitación de que su medición entrega valores ambiguos respecto al cálculo teórico. Esto se debe a la utilización de un electrodo diferente al de hidrógeno (aquel utilizado en el cálculo teórico), debido a lo impráctico que resulta la utilización de este último en terreno (Postma & Apello, 2013). Es por esto que no se encuentran disponibles rangos de potencial redox característicos para cada cuerpo de agua, pero se reconoce que los ambientes oxidantes tienen en general valores altos de potencial redox (>200-300 mV) mientras que los ambientes reductores suelen tener valores muy negativos (<-200 mV).

Seguimiento APR 2015-2018

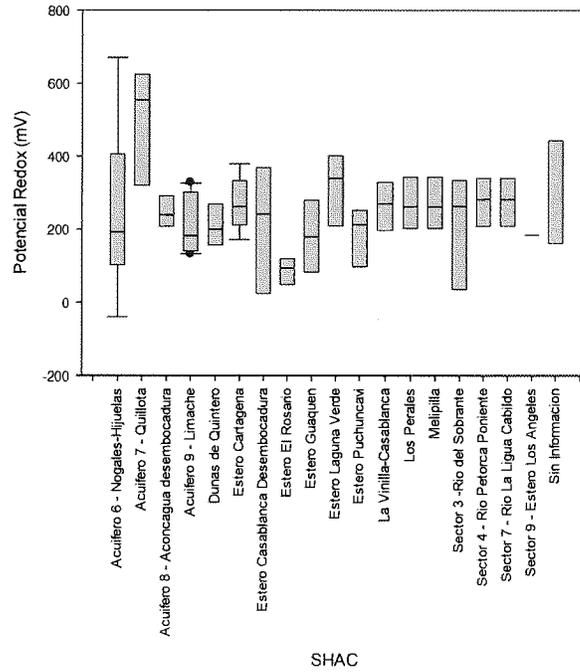


Figura 6. Box plot con datos de potencial redox para cada SHAC analizado en la región de Valparaíso considerando los datos de las campañas 2015, 2016, 2017 y 2018. Se grafica la mediana y percentiles 25 y 75 como límites de la caja⁹.

Tabla 2. Resultados de terreno de calidad de agua (conductividad específica, temperatura, pH, potencial de reducción y sólidos disueltos totales) y de los pozos (nivel dinámico (ND) y estático (NE) del agua, y profundidad del pozo) en las fuentes de los APR de la región de Valparaíso.

N°	Nombre Pozo	SHAC	Fecha	Tem. (°C)	Cond. Específica (µS/cm)	SDT (mg/L)	pH (Unidades)	Pot. Redox (mV)	N.E (m)	N.D (m)	Prof. pozo (m)
1	Lliu Lliu Alto		12/11/2015	20,5	199	168	7,10	207	1,35	1,35	10,0
			30/06/2017	16,9	245	212	7,18	230	3	3	10,0
			20/08/2018	16,8	216	199	7,16	89	3,04	3,98	12,0
2	Los Maitenes	Acuífero 9 - Limache	10/11/2015	18,3	836	475	7,28	329	S.I.	S.I.	26,0
			05/09/2016	18,0	795	461	7,02	159	1,62	3,55	24,0
			30/06/2017	17,7	708	740	7,35	302	S.I.	S.I.	26,0
			03/08/2018	18,1	787	566	7,28	141	3,35	3,35	32,0
3	Palmira Romano		05/09/2016	15,2	292	128	7,10	82	3,36	3,48	15,0
			20/08/2018	15,6	311	111	7,03	133	3,4	4,12	10,0
4	Mantagua	Dunas de Quintero	17/11/2015	17,8	545	345	6,98	293	2,63	8,3	23,0
			07/09/2016	16,5	508	309	6,84	200	2,92	4,2	25,0
			14/08/2018	18,2	537	324	6,93	142	3,36	9,1	20,0
5	El Turco	Estero Cartagena	13/11/2015	18,5	508	353	6,90	350	6,5	6,6	10,0
			09/09/2016	17,0	501	473	6,90	225	S.I.	3,9	10,0
			16/08/2018	14,0	508	353	6,96	172	5,8	7,17	12,0
6	El Totoral	Estero El Rosario	13/11/2015	15,2	523	295	6,98	167	S.I.	0	12,0
			06/09/2016	10,0	310	252	7,40	100	3,9	3,9	13,0
			16/08/2018	13,5	381	262	6,88	197	6,85	7,3	10,0

⁹ Los SHAC Sector 10 – Río Petorca Oriente y Sector 6 – Río La Ligua Oriente no registran valores de potencial redox por tanto no se muestran en la Figura.

N°	Nombre Pozo	SHAC	Fecha	Tem. (°C)	Cond.Especifica (µS/cm)	SDT (mg/L)	pH (Unidades)	Pot.Redox (mV)	N.E (m)	N.D (m)	Prof. pozo (m)
7	Campiche	Estero Puchuncavi	17/11/2015	16,1	255	130	6,90	302	3,6	4,3	8,0
			07/09/2016	15,6	255	130	6,83	258	4,13	3,97	8,0
			05/07/2017	14,0	194	127	6,92	102	4,02	4,67	8,0
			14/08/2018	13,5	187	140	7,09	64	3,8	4,34	12,0
8	Mundo Nuevo	La Vinilla-Casablanca	10/11/2015	17,0	411	228	7,10	411	2,65	28	30,0
			18/10/2016	18,1	470	352	7,22	288	18,2	19,3	30,0
			30/06/2017	18,5	453	320	7,44	392	5,1	21,5	30,0
			13/08/2018	19,0	398	368	7,19	130	19,8	22,16	38,0
9	Tapihue	Los Perales	16/11/2015	17,9	399	279	7,24	266	15,94	30,6	80,0
			09/09/2016	16,1	622	422	6,80	213	17,2	18,2	35,0
			13/08/2018	18,0	370	296	7,27	59	20,19	30,99	85,0
10	Cuncumén	Melipilla	13/11/2015	16,9	324	112	6,80	349	4	1,96	36,0
			06/09/2016	16,0	155	144	7,09	231	1,75	2,6	36,0
			29/06/2017	17,2	194	140	7,19	309	5,1	0	36,0
			17/08/2018	16,9	181	140	7,09	163	4	5,15	45,0
11	Colliguay	Sin Información	10/11/2015	20,1	363	209	7,07	211	3,37	10	27,0
			01/09/2016	15,2	417	233	6,83	521	3,35	5,45	27,0
			13/08/2018	14,6	197	166	7,08	145	3,4	5,99	67,0
12	Hualcapo		11/11/2015	17,7	196	47	6,90	670	4,65	14,8	30,0
			05/09/2016	17,0	196	77	6,70	318	3,85	13,4	30,0
			03/08/2018	17,3	195	41	6,97	150	3,35	3,35	5,1
13	La Peña	Acuífero 6 - Nogales-Hijuelas	11/11/2015	16,9	111	47	6,51	670	1,09	1,39	12,0
			07/09/2016	16,6	714	529	6,92	135	2,8	5,1	16,0
			01/08/2018	17,5	658	330	6,98	-40	4,76	12,84	60,0
14	Parceleros El Melón		11/11/2015	17,2	424	266	6,80	348	3,64	4,41	60,0
			07/09/2016	17,9	637	448	7,07	193	2,12	4,29	60,0
			01/08/2018	18,0	458	2930	6,97	-40	6,11	11,32	60,0
15	Pueblo de Indios	Acuífero 7 - Quillota	12/11/2015	18,3	710	398	6,91	631	3,6	5,43	40,0
			05/09/2016	17,0	111	57	6,90	490	3,05	5,4	40,0
			03/07/2017	16,9	714	471	7,42	618	3,05	4,81	40,0
			03/08/2018	17,5	196	100	7,00	150	5,82	6,57	5,1
16	Tabolango	Acuífero 8 - Aconcagua desembocadura	20/08/2018	18,3	181	160	7,06	198	3,21	6,14	14,0
17	Paso Hondo Casa Blanca	Estero Casablanca Desembocadura	22/08/2018	16,4	196	111	7,14	226	7,3	11,22	40,0
18	Casas de Hualquén	Estero Guaquén	17/11/2015	19,2	171	144	6,81	411	3,3	3,4	11,0
			08/09/2016	18,0	171	190	6,99	242	5,1	5,1	5,1
			01/08/2018	18,8	181	171	7,12	-49	4,16	4,38	11,0
19	Laguna Verde	Estero Laguna Verde	16/11/2015	17,5	481	287	7,08	76	3,6	10,54	25,0
			01/09/2016	17,0	525	186	6,80	21	5,1	8,48	25,0
			30/06/2017	17,8	501	399	7,38	112	5,1	5,1	25,0
			22/08/2018	16,3	529	360	7,01	128	7,3	11,22	22,0
20	Hierro Viejo	Sector 10 - Río Petorca Oriente	31/07/2018	14,5	722	506	7,59	5,1	4,33	4,46	7,5
21	Hierro Viejo Centro		31/07/2018	5,1	5,1	520	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
22	La Canela	Sector 4 - Río Petorca Poniente	18/11/2015	18,7	505	276	6,90	358	0	0,1	12,0
			08/09/2016	17,6	583	375	6,98	263	0,96	0,96	12,0
			01/08/2018	16,6	603	10710	7,38	-40	4,76	12,84	60,0
23	La Viña-La Vega	Sector 6 - Río La Ligua Oriente	02/08/2018	17,6	614	228	7,20	5,1	33,5	37,3	80,0
24	San José	Sector 7 - Río La Ligua Cabildo	18/11/2015	19,0	755	411	6,50	360	6	6,6	13,5

N°	Nombre Pozo	SHAC	Fecha	Tem. (°C)	Cond.Especifica [uS/cm]	SDT (mg/L)	pH (Unidades)	Pot.Redox (mV)	N.E (m)	N.D (m)	Prof. pozo (m)
25	La Mora	Sector 9 - Estero Los Angeles	08/09/2016	17,0	809	525	6,94	282	5,5	5,7	14,0
			02/08/2018	17,3	601	223	7,31	184	17,4	17,88	53,0
			02/08/2018	19,1	403	181	6,98	184	17,4	17,88	53,0
			18/11/2015	16,7	622	670	6,69	S.I.	2,5	2,56	20,0
26	Valle de los Olmos	Sector 3 - Río del Sobrante	08/09/2016	15,0	418	287	7,40	262	2,9	2,92	12,0
			04/07/2017	14,3	695	302	7,18	183	3,07	3,51	20,0
			31/07/2018	16,9	570	386	7,43	S.I.	3,66	3,85	6,1

Negrita: Supera valores límites de NCh 409/2005 para uso potable del agua.

: Supera el primer rango recomendado por la NCh 1333/1978 para uso en riego.

: Supera el segundo rango recomendado por la NCh 1333/1978 para uso en riego.

: Supera el tercer rango recomendado por la NCh 1333/1978 para uso en riego.

Negrita: Supera el valor límite de la NCh 409/2005 para uso potable del agua y la NCh 1333/1978 para uso de agua en riego.

S.I.: Sin información de dato.

4.2. Macroelementos

Los macroelementos son aquellos elementos considerados como los más abundantes en la corteza terrestre. El conocimiento de este grupo de elementos permite trazar una línea hacia el o los orígenes del agua analizada, vale decir, su influencia mineralógica (tipo de roca que pudo estar en contacto con el agua), si posee una influencia de la lluvia o del mar, o si presenta alguna influencia antrópica marcada (Postma & Apello, 2013).

Al comparar la composición del agua de cada APR entre los años monitoreados (2015 al 2018), (Figura 7), se observa que la mayoría de estos mantiene un agua sulfatada y/o bicarbonatada, cálcica y/o magnésica (Anexo Figura 11). Respecto al origen de los aniones¹⁰, las aguas sulfatadas provienen de lavado de terrenos marinos, oxidación de sulfuros de todo tipo de rocas, concentración en el suelo de aguas de lluvia disolución de yeso, anhidrita y terrenos yesíferos, actividades urbanas, industriales y agrícolas. Por otro lado, las aguas bicarbonatadas provienen de la disolución de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico o del suelo, disolución de calizas y dolomitas (ayudado por CO₂ o por ácidos naturales) e hidrólisis de silicatos. Respecto al origen de los cationes¹¹, el calcio proviene de la disolución de calizas, dolomitas, yeso y anhidrita, ataque de feldspatos y otros silicatos cálcicos, disolución de cemento calcáreo de muchas rocas y agua de lluvia. El magnesio proviene de la disolución de dolomitas y calizas dolomíticas, ataque de silicatos magnésicos y ferromagnésicos, lavado de rocas evaporíticas magnésicas (carnalita), agua de mar, contaminación industrial y minera. Mientras que el sodio proviene del ataque de feldspatos y otros silicatos, lavado de sedimentos marinos, mezcla con agua de mar, disolución de sales evaporitas, contaminación urbana e industrial y concentración en agua de lluvia (Custodio & Llamas, 1976).

Para establecer que fuente de agua puede estar contribuyendo en una muestra se utilizan valores de macroelementos de distintas referencias, entre estas el agua de mar (agua muy salina, sometida a reiterados procesos de evaporación cuya composición es constante), y de agua dulce local, pudiendo ser esta última de lluvia y/o de río. En el caso del agua dulce se tomó como referencia la estación DGA río Juncal en Juncal (BNA: 05401003-6) ubicada en la parte alta de la cuenca del río Aconcagua, seleccionando el periodo de datos entre el año 2000 y 2006¹² por encontrarse todos los parámetros necesarios para establecer una comparación. El valor de cada

¹⁰ Aniones: elementos o compuestos con una carga eléctrica negativa, en este caso particular los aniones considerados son cloruro, Bicarbonato, sulfato, nitrato.

¹¹ Cationes: elementos o compuestos con una carga eléctrica positiva, en este caso particular los cationes considerados son calcio, sodio, potasio y magnesio.

¹² Periodo abarcado: 06/01/2000 – 04/10/2006.

parámetro utilizado para este análisis fue el promedio de los datos comprendidos en el periodo seleccionado.

De acuerdo a lo observado en la Figura 7 la mayoría de los APR (y por tanto de los SHAC) son una mezcla entre agua salina y dulce agua superficial (estación DGA río Juncal en Juncal BNA: 05401003-6), teniendo una mayor influencia en la mezcla el agua dulce, lo cual se percibe por una cercanía mayor de los APR al agua superficial en el diagrama de Piper. Es importante destacar que las muestras de los APR Campiche, Casas de Hualquén y en menor medida Mantagua son las que más se acercan al agua salina en cuanto al contenido del anión cloruro (Figura 7). Esto último puede indicar un problema de salinidad o intrusión salina por su cercanía con el mar (Figura 2).

No se percibe un cambio marcado entre la composición hidroquímica general del agua del año 2015 al 2018 (Tabla 3) (Figura 7).

Seguimiento APR Valparaíso (2018)

PIPER DIAGRAM

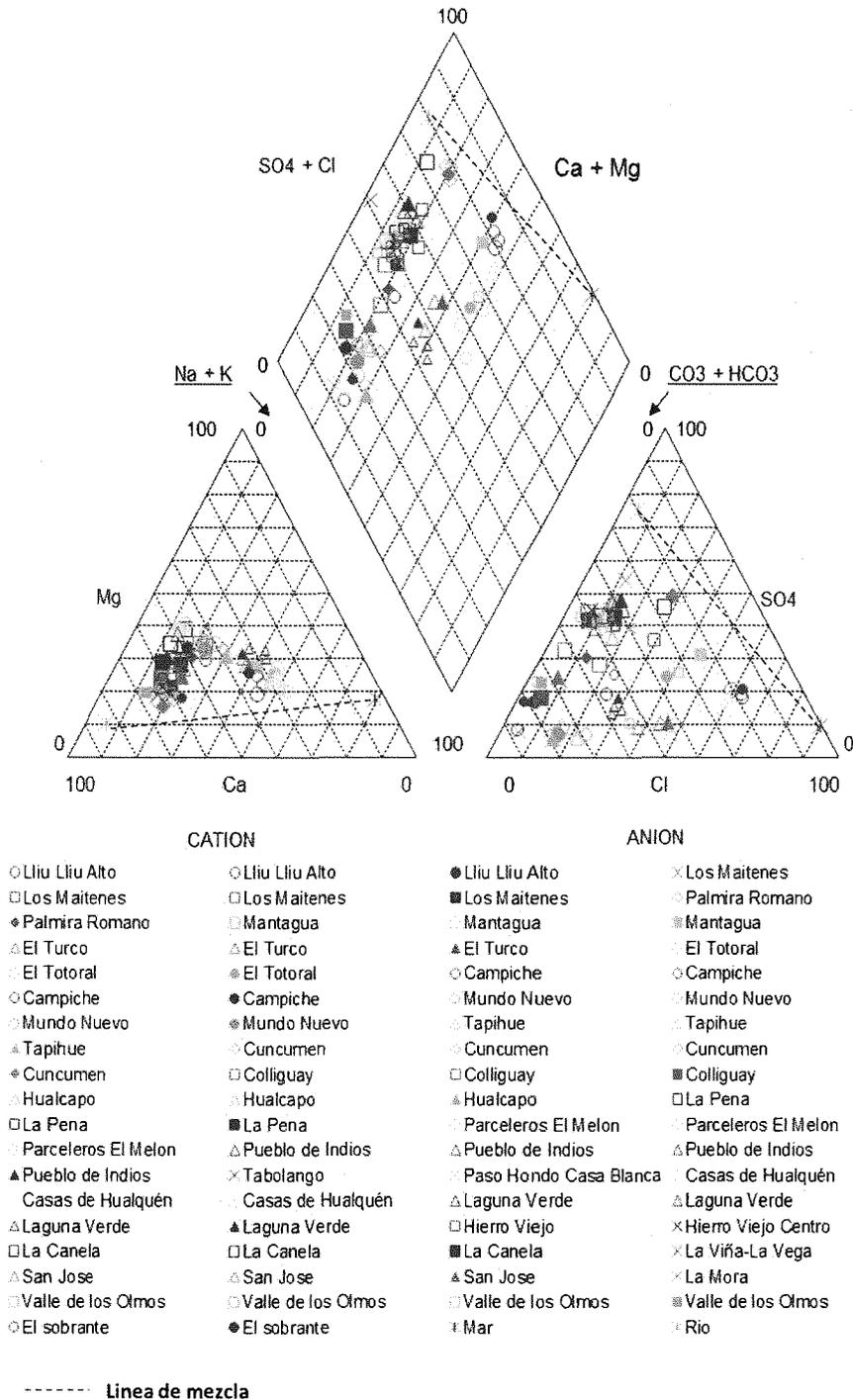


Figura 7. Diagrama de Piper que consolida las campañas realizadas en los años 2015, 2016, 2017 y 2018 para las fuentes de los APR de la región de Valparaíso. Los símbolos vacíos corresponden a las campañas 2015, 2016 y 2017, y los símbolos rellenos representan la campaña del año 2018.

En el SHAC Melipilla (APR Cuncumén 2015 al 2018) el contenido de sulfato superó el límite de referencia máximo para uso potable de agua de la NCh 409/05 (500 mg/L). En cuanto al uso del

agua en riego, el límite máximo señalado por la NCh 1333/78 para el sulfato (250 mg/L) fue superado el SHAC Estero Puchuncaví (APR Campiche 2018), SHAC Melipilla (APR Cuncumén 2015 al 2018) y el SHAC Acuífero 8 – Aconcagua Desembocadura (APR Tabolango 2018) (Tabla 3).

El contenido de cloruro en el agua se encontró fuera de los límites sugeridos por la NCh 409/05 (400 mg/L) en el SHAC Estero Puchuncaví (APR Campiche 2015, 2016 y 2018). Respecto a la NCh 1333/78 el contenido de cloruro para uso en riego superó el límite sugerido (200 mg/L) en los SHAC Estero Puchuncaví (APR Campiche 2015 al 2018), Dunas de Quintero (APR Mantagua 2018), Melipilla (APR Cuncumén 2015 al 2018) y Estero Guaquén (APR Casas de Hualquén 2015, 2016 y 2018) (Tabla 3).

Respecto al sodio porcentual¹³, los valores calculados señalan que en general los 21 SHAC muestreados poseen sobre un 35% de sodio, es decir que superan la recomendación de la NCh 1333/78 para uso en riego. Un alto porcentaje de sodio contribuye a la desagregación del suelo, causando problemas de infiltración que pueden repercutir en el rendimiento de los cultivos (Thompson & Troeh, 1988).

Tabla 3. Resultados de macroelementos del agua obtenida de la fuente de los APR en seguimiento de la región de Valparaíso y su comparación con la NCh 409/05 y NCh 1333/78 (Cl: cloruro, SO4: sulfato; HCO3: Bicarbonato, Na: Sodio, Ca: Calcio, Mg: magnesio, Alc.Total: Alcalinidad total; %Na: sodio porcentual).

N°	Nombre Pozo	SHAC	Fecha	Cl (mg/L)	SO4 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	%Na	Alc. Total (mg/L)
1	Lliu Lliu Alto		12/11/2015	19,4	20,4	77,7	12,4	0,5	19,7	8,6	55,6	64
			30/06/2017	5,4	11,3	152,6	21,8	0,2	33,4	13,1	58,1	125
			20/08/2018	5,8	22,9	136,0	11,7	0,4	27,0	11,2	47,2	112
2	Los Maitenes	Acuífero 9 - Limache	10/11/2015	69,5	179,8	233,2	46,6	1,5	102,4	45,1	47,7	191
			05/09/2016	89,8	143,5	183,0	38,1	2,3	91,3	30,5	47,9	150
			30/06/2017	46,3	189,2	234,4	58,9	2,0	92,3	43,5	55,2	192
			03/08/2018	35,3	136,3	173,7	31,0	1,6	76,3	24,5	47,6	142
3	Palmira Romano		05/09/2016	10,0	29,5	122,0	18,5	0,3	21,9	11,5	61,1	100
			20/08/2018	17,8	57,9	137,3	20,8	0,3	42,0	15,9	51,6	113
4	Mantagua	Dunas de Quintero	17/11/2015	161,6	135,1	216,9	124,4	2,1	69,7	30,3	77,9	178
			07/09/2016	155,8	140,8	223,3	141,0	2,6	68,9	29,9	80,1	183
			14/08/2018	228,0	211,3	202,9	142,2	0,8	95,3	50,0	73,6	166
5	El Turco	Estero Cartagena	13/11/2015	146,0	45,9	265,0	79,3	2,3	64,9	35,6	68,5	217
			09/09/2016	109,6	36,2	261,0	73,7	2,9	59,3	29,1	69,6	214
6	El Totoral	Estero El Rosario	16/08/2018	176,3	55,6	288,2	86,5	1,7	66,6	33,1	70,9	236
			13/11/2015	105,7	28,5	155,4	63,4	3,2	30,4	19,2	76,5	128
			06/09/2016	83,4	12,8	132,0	63,3	3,2	26,9	12,3	80,6	109
7	Campiche	Estero Puchuncavi	16/08/2018	69,3	56,7	111,2	53,7	0,4	27,6	15,3	77,9	91
			17/11/2015	506,0	201,2	252,5	230,0	3,0	153,0	69,2	74,8	207
			07/09/2016	475,5	177,1	233,6	227,0	3,4	142,0	58,4	76,5	192
			05/07/2017	364,4	172,7	219,4	178,8	2,7	124,6	40,0	76,3	180
8	Mundo Nuevo	La Vinilla-Casablanca	14/08/2018	572,8	262,4	264,1	221,5	2,3	170,7	75,9	72,2	217
			10/11/2015	36,5	12,6	175,0	25,9	2,3	43,5	21,9	51,9	143
			18/10/2016	22,0	14,9	164,0	22,9	1,8	38,4	21,1	51,2	134
			30/06/2017	19,9	11,8	182,5	28,5	1,0	39,6	20,5	57,1	150
9	Tapihue	Los Perales	13/08/2018	20,9	12,4	171,0	21,3	1,1	35,3	16,3	53,8	140
			16/11/2015	44,0	16,7	246,0	33,5	1,7	55,2	24,1	54,5	201
			09/09/2016	39,7	25,1	255,0	35,5	2,3	55,9	25,0	55,1	209

¹³ Sodio Porcentual (Na%) = $100 \cdot \frac{Na}{Na+Ca+Mn+K}$; Concentraciones se expresan en miliequivalentes por litro.

N°	Nombre Pozo	SHAC	Fecha	Cl (mg/L)	SO4 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	%Na	Alc. Total (mg/L)
			13/08/2018	20,8	10,0	185,9	31,0	0,3	34,2	16,8	63,6	152
			13/11/2015	272,8	580,4	317,3	121,0	6,9	325,8	55,6	49,8	260
10	Cuncumén	Melipilla	06/09/2016	247,2	572,4	352,0	132,0	7,9	314,0	56,7	52,4	289
			29/06/2017	214,3	506,2	297,2	92,7	7,0	295,5	46,1	45,9	244
			17/08/2018	256,3	601,0	360,0	109,0	6,4	303,3	43,6	49,8	295
			10/11/2015	30,2	66,0	161,9	18,1	0,7	53,3	17,3	43,4	159
11	Colliguay	Sin Información	01/09/2016	8,9	69,0	167,0	19,6	0,8	35,9	16,9	51,4	137
			13/08/2018	5,6	22,0	117,7	9,1	0,2	31,9	7,6	41,7	97
			11/11/2015	48,8	181,0	252,8	33,3	1,7	110,0	34,5	40,8	206
12	Hualcapo		05/09/2016	47,1	245,1	310,0	46,9	1,8	157,0	37,3	42,7	255
			03/08/2018	28,4	160,5	232,4	26,4	1,1	93,2	26,9	40,0	191
			11/11/2015	90,4	208,7	155,4	29,5	8,1	108,5	42,8	34,7	128
13	La Pena	Acuífero 6 - Nogales-Hijuelas	07/09/2016	27,8	158,9	215,3	27,0	5,9	72,9	36,8	39,5	177
			01/08/2018	19,8	141,2	219,1	25,0	1,4	95,0	28,7	37,7	180
			11/11/2015	34,7	101,0	123,0	15,5	0,5	52,0	28,0	35,5	101
14	Parceleros El Melón		07/09/2016	23,8	129,4	158,0	20,5	0,4	60,0	32,4	38,7	130
			01/08/2018	15,1	101,1	158,2	17,5	0,3	58,5	28,7	36,7	130
			12/11/2015	46,1	173,5	191,1	30,7	1,3	89,5	36,6	41,5	196
15	Pueblo de Indios	Acuífero 7 - Quillota	05/09/2016	36,7	185,0	192,0	37,1	1,8	86,1	34,6	47,1	158
			03/07/2017	33,6	180,8	201,8	28,2	1,7	94,3	42,5	37,2	166
			03/08/2018	37,0	177,5	179,7	25,3	1,1	90,7	29,7	38,6	147
16	Tabolango	Acuífero 8 - Aconcagua Desembocadura	20/08/2018	47,7	285,6	229,6	41,2	2,2	137,0	24,6	44,4	188
17	Paso Hondo Casa Blanca	Estero Casablanca Desembocadura	22/08/2018	24,8	22,7	228,0	33,5	0,1	36,0	19,3	63,4	187
			17/11/2015	370,0	119,0	272,0	204,5	7,7	106,8	57,5	76,8	223
18	Casas de Hualquén	Estero Guaquén	08/09/2016	345,4	131,4	329,0	206,0	8,2	109,0	52,2	77,4	270
			01/08/2018	360,0	148,4	231,7	202,6	7,3	102,0	55,3	77,4	190
			16/11/2015	59,5	37,4	207,2	47,8	2,3	35,9	23,1	68,1	170
19	Laguna Verde	Estero Laguna Verde	01/09/2016	60,1	38,2	183,0	52,0	2,7	29,9	22,0	71,8	150
			30/06/2017	58,7	45,3	206,1	68,1	2,4	38,5	25,0	73,9	169
			22/08/2018	65,3	56,8	215,7	50,2	1,1	43,0	24,4	67,4	177
20	Hierro Viejo	Sector 10 - Rio Petorca Oriente	31/07/2018	17,2	166,7	238,3	30,2	0,9	100,6	21,7	43,6	195
21	Hierro Viejo Centro		31/07/2018	19,3	171,4	235,6	32,2	1,6	102,1	21,5	44,6	193
			18/11/2015	34,7	115,1	158,6	23,2	1,5	75,4	18,1	43,1	130
22	La Canela	Sector 4 - Rio Petorca Poniente	08/09/2016	18,9	120,1	188,0	28,1	1,3	67,4	18,9	49,5	154
			01/08/2018	15,5	123,1	194,5	27,8	0,9	73,5	16,8	48,7	160
23	La Viña-La Vega	Sector 6 - Rio La Ligua Oriente	02/08/2018	12,5	44,5	251,1	28,5	0,8	77,5	15,2	49,1	206
			18/11/2015	54,9	156,4	252,7	37,9	1,6	107,2	32,2	45,0	207
	San Jose	Sector 7 - Rio La Ligua Cabildo	08/09/2016	29,8	154,4	250,0	41,7	1,9	96,8	30,1	49,4	205
24			02/08/2018	14,9	63,2	221,0	29,5	1,0	66,8	18,2	51,2	181
25	La Mora	Sector 9 - Estero Los Ángeles	02/08/2018	7,0	12,7	190,2	20,1	1,2	47,2	13,2	49,8	156
			18/11/2015	91,6	35,7	249,3	21,7	4,6	102,8	18,2	35,0	204
			08/09/2016	7,9	83,9	131,0	15,9	0,6	52,3	10,9	44,0	108
26	Valle de los Olmos	Sector 3 - Rio del Sobrante	04/07/2017	4,2	48,7	198,6	23,36	0,93	60,6	11,96	50,1	163
			31/07/2018	8,2	60,5	251,1	18,67	0,711	85,49	15,13	37,1	206

Negrita: Supera valores límites de NCh 409/2005 para uso potable del agua.

Shaded: Supera valores límite de NCh 1333/1978 para uso en riego.

Negrita: Supera el valor límite de la NCh 409/2005 para uso potable del agua y la NCh 1333/1978 para uso de agua en riego.

4.3. Nutrientes

El nitrato es un compuesto comúnmente usado como fertilizante, pudiendo incrementar entre un 4 y 5% el rendimiento de los cultivos (Banco Mundial, 2019). Es un compuesto muy soluble, por tanto puede trasladarse grandes distancias (a nivel superficial y a nivel subterráneo) cuando se encuentra disuelto (Wetzel, 2001). Esto representa un problema cuando se quiere contener una contaminación por nitrato, pues el principal aporte de nitratos al medio ambiente es en la utilización de fertilizantes y en los desechos de actividades ganaderas que representan fuentes difusas de contaminación (Wetzel, 2001).

El nitrato puede causar el síndrome del bebe azul, el cual impide la fijación de oxígeno en la sangre, causando asfixia en los bebés. Sin embargo se identifican efectos posteriores a este síndrome, los cuales involucran bajos niveles de peso en infantes y desarrollo tardío (Banco Mundial, 2019).

De acuerdo a las concentraciones de nitrato históricas en cada SHAC se observan un subconjunto no menor que muestran calidades compuestas, a mencionar: Acuífero 6 - Nogales Hijuelas, Estero Guaquén, Los Perales, Estero Cartagena, Melipilla, La Vinilla-Casablanca, Acuífero 7 - Quillota, Acuífero 9 - Limache, Sector 3 - Río del Sobrante y Sector 7 - Río La Ligua Cabildo (Figura 8). En detalle se observan concentraciones de nitrato que no representan una alerta (<30 mg/L) pero también aquellas que se encuentran en un rango cercano a comprometer el uso potable del agua (30-49 mg/L) en los SHAC Estero Guaquén, Los Perales, Sector 3 - Río del Sobrante y Sector 7 - Río La Ligua Cabildo (Figura 8). Se observa un grupo de SHAC que presentan calidades con valores cercanos al límite máximo para uso potable (30 - 49 mg/L) como también valores sobre lo establecido para este uso (50 mg/L), a mencionar: Acuífero 6 - Nogales Hijuelas, Acuífero 7 - Quillota y La Vinilla - Casa Blanca (Figura 8). Se observa un último grupo de SHAC que abarca las tres calidades antes mencionadas, siendo estos Estero Cartagena y Acuífero 9 - Limache (Figura 8). Finalmente los SHAC Acuífero 8 - Aconcagua Desembocadura, Estero El Rosario, Estero Laguna Verde, Estero Puchuncaví y el SHAC Sin información, han registrado históricamente valores que no representan un riesgo de contaminación. Se recuerda que los SHAC Estero Casablanca en Desembocadura, Sector 10 - Río Petorca Oriente, Sector 6 - Río La Ligua Oriente y Sector 9 - Estero Los Ángeles sólo cuentan con 1 campaña (año 2018), no obstante la concentración de nitrato también se encuentra en el rango que no representa un riesgo de contaminación (Figura 8).

Al analizar el valor de nitrato obtenido el año 2018 por APR se observa que aquellos cuya calidad está más comprometida por superar la recomendación para uso potable del agua (>50 mg/L) fueron: Los Maitenes (SHAC Acuífero 9 - Limache), Hualcapo (Acuífero 6 - Nogales Hijuelas) y Pueblo de Indios (Acuífero 7 - Quillota). Los APR Los Maitenes y Hualcapo presentan concentraciones en campañas anteriores similares a aquellas obtenidas del 2018, sin embargo el APR Pueblo de Indios presenta una concentración mayor en 2018 respecto a las campañas anteriores (Tabla 4).

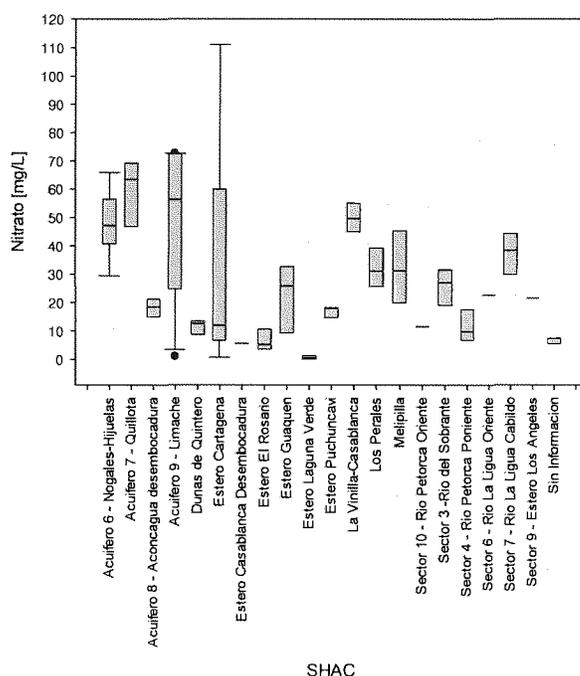
Los APR cuya concentración de nitrato se encontró entre 30 y 49 mg/L durante el año 2018 fueron 2: Mundo Nuevo (SHAC La Vinilla-Casa Blanca) y Valle de los Olmos (SHAC Sector 3 - Río del Sobrante). En el caso del APR Mundo nuevo las concentraciones de las campañas anteriores muestran valores similares a la obtenida durante el año 2018, encontrándose en el límite de lo recomendado por la NCh 409/05, por otro lado el APR Valle de los Olmos ha mostrado valores más cercanos a la calidad que no presenta riesgo (<30 mg/L) desde el año 2016, siendo el año 2015 aquel donde se registró la menor concentración de nitrato (7,1 mg/L) (Tabla 4).

Finalmente los APR restantes registraron valores menores a los 30 mg/L de nitrato, bajo el valor de alerta para identificar contaminación (Tabla 4).

Las **relaciones iónicas** se utilizan en hidroquímica como herramientas de apoyo para visualizar cambios en la composición mineralógica de un agua, estableciendo caminos posibles de intercambio iónico que permitirían agrupar (o diferencias) muestras de agua. De forma adicional, las relaciones iónicas permiten identificar procesos relacionados con contaminación de aguas utilizando para esto datos de nitrato, amonio, sulfato, cloruro, entre otros (Custodio & Llamas, 1976).

La relación iónica escogida en este análisis corresponde a rNO_3/rCl^{14} , la cual permite identificar indicios de contaminación por agroquímicos¹⁵ y/o procesos de reducción de nitrato. Se observa que en el río Juncal en Juncal (BNA: 05401003-6)¹⁶ esta es 0,0005, indicando esto que la proporción de nitrato respecto al cloruro (que es un elemento conservativo y abundante) es baja. Las relaciones presentadas por los pozos APR en el tiempo indican en general esta es mayor respecto al agua de río, lo que es factible considerando que el agua subterránea tiene un tiempo mayor de residencia concentrando ciertas sustancias, sin embargo esto no se percibe en el APR Laguna Verde que presenta relaciones similares a las del agua superficial. Dentro del conjunto de APR que presentan una proporción mayor de nitrato respecto del cloruro se destacan Los Maitenes (SHAC Acuífero 9 –Limache), Tapihue (SHAC Los Perales), Colliguay (SHAC Sin Información) y San José (SHAC Sector 7 – Río La Ligua Cabildo) que han aumentado esta proporción a través de las campañas, situación que puede indicar exposición a contaminación agrícola.

Seguimiento APR Valparaíso 2015-2018



¹⁴ 'r' corresponde a la expresión de la concentración de un parámetro en equivalentes, que en este caso particular al encontrarse el soluto en mg/L, correspondería a mequivalentes/L (meq/L). Los equivalentes se calculan como se muestra a continuación: $x \text{ meq/L} \rightarrow x \text{ mg/L} / (\text{peso molecular}/\text{estado de oxidación})$.

¹⁵ Fertilizantes y desechos orgánicos.

¹⁶ El criterio de selección de datos de nitrato y cloruro para esta estación (periodo 2000-2006), como también el cálculo del valor representativo (promedio) es el mismo utilizado en la sección 4.2 Macroelementos.

Figura 8. Box plot con datos de nitrato para cada SHAC analizado en la región de Valparaíso considerando los datos de las campañas 2015, 2016, 2017 y 2018. Se grafica la mediana y percentiles 25 y 75 como límites de la caja.

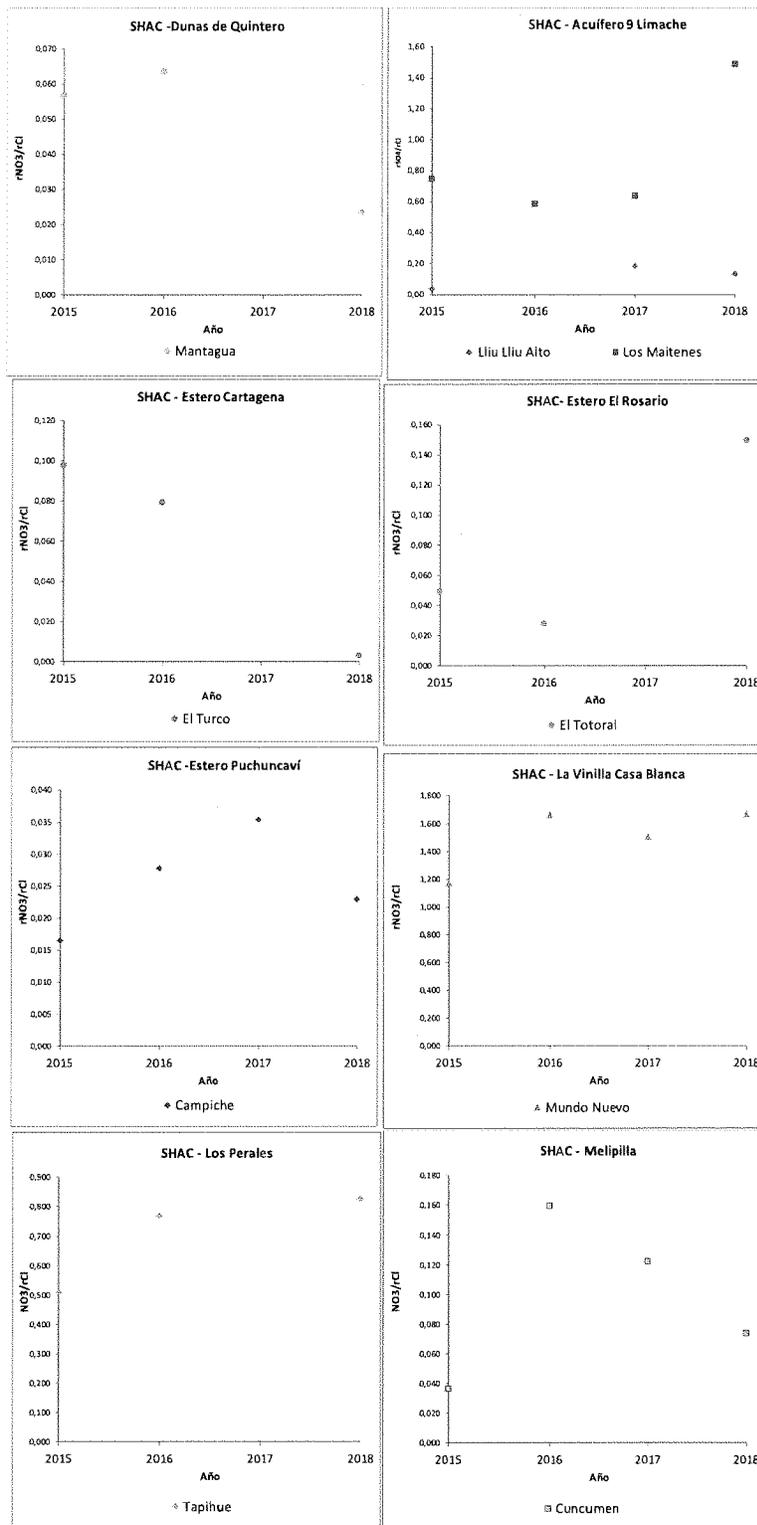


Figura 9. Relación rNO3/rCl en las campañas 2015, 2016, 2017 y 2018 para los SHAC analizados de la región de Valparaíso.

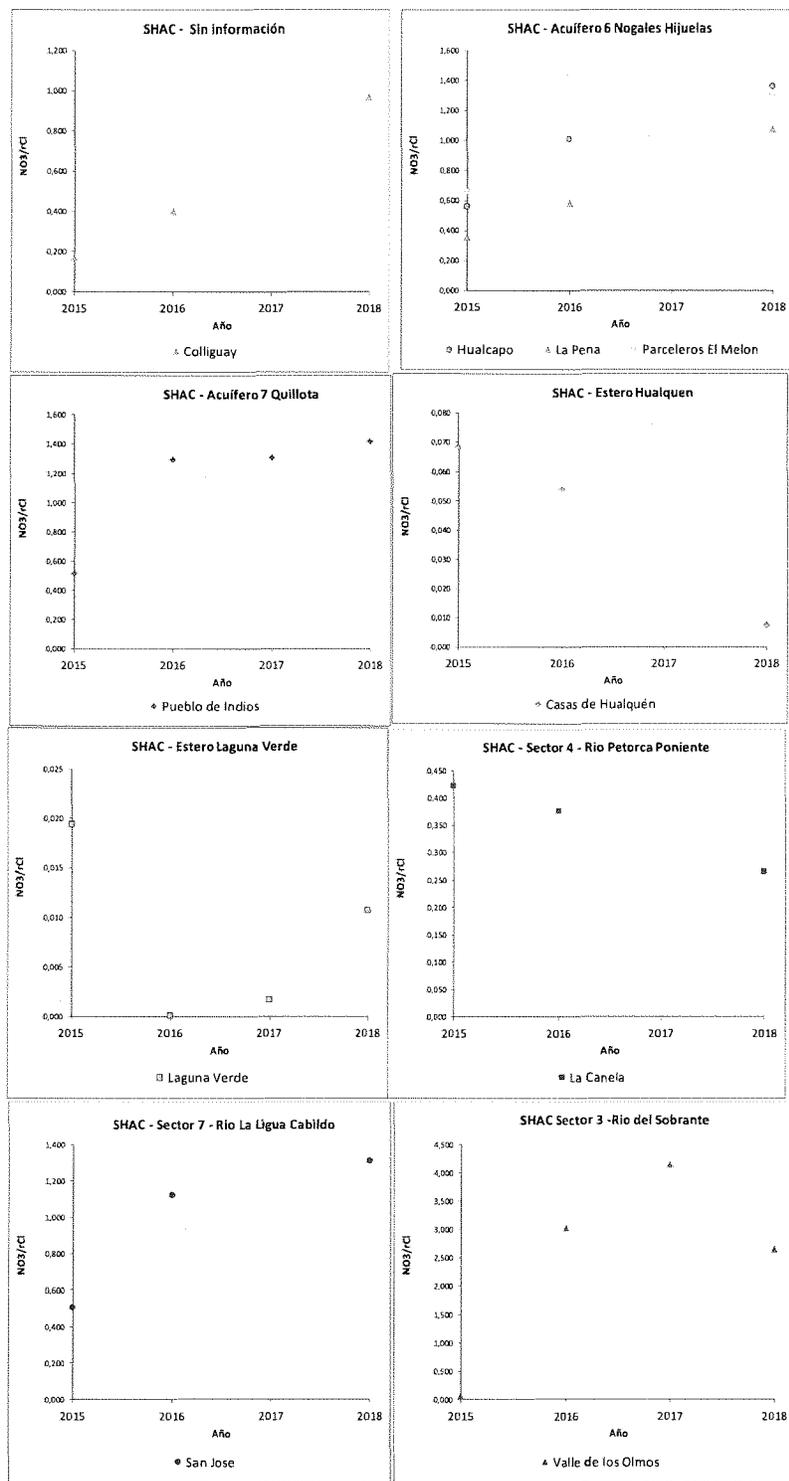


Figura 9. Relación rNO_3/rCl en las campañas 2015, 2016, 2017 y 2018 para los SHAC analizados de la región de Valparaíso.

El amonio es un compuesto soluble, cuya fuente principal es la descomposición de los residuos orgánicos urbanos e industriales (Antich, Canals, Soler, Darbishyre, & Spiro, 2000); (Otero, Tolosana-Deigado, Soler, Pawlowsky-Glahn, & Canals, 2005); (Soler, Canals, Goldstein, Otero, Antich, & Spangernber, 2002). Las concentraciones de amonio registradas entre las campañas de

monitoreo 2015, 2016, 2017 y 2018 no presentan diferencias notables, esto podría asociarse al cambio del límite de detección entre 2016 y 2017¹⁷ el cual impediría ver una diferenciación de concentraciones entre los pozos, no obstante lo mencionado las concentraciones se consideran bajas en la mayoría de los SHAC. Sin perjuicio de lo anterior, el SHAC Sector 3 –El Sobrante (APR Valle de los Olmos) registró una concentración de 5,40 mg/L en 2015, la cual disminuyó en el 2016, 2017 y 2018 a 0,02 mg/L, implicando que la concentración del 2015 podría ser un evento aislado de contaminación o un error en la toma o análisis de la muestra por la magnitud del valor. Como se percibe de la Tabla 4, sólo la fuente de APR Valle de los Olmos en el SHAC Sector 3-Río del Sobrante registró el 2015 un valor superior (5,4 mg/L) a lo recomendado por la NCh 409/05 (1,5 mg/L)¹⁸.

Respecto al ortofosfato, cuyas fuentes pueden ser aportes de materia orgánica del suelo, fertilizantes u otras sustancias de origen industrial, los diferentes SHAC analizados presentaron en su mayoría concentraciones similares, alcanzando los 0,4 mg/L. Se destacan el SHAC Sector 3 –Río del Sobrante que registró una concentración más alta respecto a los SHAC restantes, alcanzando 1,2 mg/L (APR Valle de los Olmos) durante el 2015, la cual disminuyó entre las campañas siguientes para alcanzar un valor menor al límite de detección (<0,06 mg/L) en 2018; y el SHAC Estero Laguna Verde que durante el 2016 alcanzó un valor de 0,80 mg/L el cual disminuyó el año 2018 a un valor no detectable de 0,06 mg/L (APR Laguna Verde).

Al comparar el nivel dinámico del agua respecto a las concentraciones de los distintos nutrientes en 2015, 2016, 2017 y 2018 no se observa una relación clara, esto principalmente porque el amonio y ortofosfato presentan concentraciones bajas (cercasas al límite de detección). Sin embargo se identifica en el caso del nitrato que la mayoría de las concentraciones se distribuyen entre los 0 y 10 m del nivel dinámico del agua desde la superficie (Tabla 4), encontrándose pocos valores, y menores en concentración, en niveles dinámicos de agua más profundos. Esto podría relacionarse con una reducción de nitrato causada por la degradación de materia orgánica, la cual al no contar con suficiente oxígeno para los procesos de descomposición comienza a utilizar nitrógeno como alternativa. No obstante lo mencionado, también se debe contemplar otros factores, como por ejemplo la distancia al punto de aplicación de fertilizantes más cercano, distancia al cuerpo de agua más cercano que facilite el aporte de este compuesto, geografía del terreno, vulnerabilidad del acuífero (que tan poroso es), entre otros factores. Una forma de explicar la relación de las concentraciones de nitrato con el nivel dinámico del agua es tener un registro más completo de este último parámetro como también la información de la habilitación de los pozos.

Tabla 4. Resultados de nutrientes (NO3: nitrato, NH4: amonio y PO4: ortofosfato) e información sobre el nivel estático (NE) y dinámico (ND) del agua obtenidos de los APR en seguimiento región de Valparaíso.

Nº	Nombre Pozo	SHAC	Fecha	NO3 (mg/L)	NH4 (mg/L)	PO4 (mg/L)	N.E. (m)	N.D.(m)
1	Lliu Lliu Alto	Acuífero 9 - Limache	12/11/2015	1,0	0,01	0,1	1,35	1,35
			30/06/2017	1,40	<0,02	0,12	3	3
			20/08/2018	1,05	<0,02	<0,06	3,04	3,98
2	Los Maitenes		10/11/2015	72,0	0,01	0,13	S.I.	S.I.
			05/09/2016	72,60	<0,01	0,1	1,62	3,55

¹⁷ El cambio en el límite de detección se debe a que la licitación para los análisis del año 2017 se la adjudicó otro laboratorio diferente al del año 2016, el cual al menos en amonio presentaba un límite de detección ligeramente superior al de los análisis del año 2016.

¹⁸ El valor que señala la NCh 409/05 corresponde al amoniaco, cuya fórmula química es NH₃. Si bien el compuesto analizado en este estudio es el amonio, cuya fórmula química posee un hidrógeno adicional (NH₄⁺), para efectos de comparación se puede asumir que ambas moléculas son equivalentes.

N°	Nombre Pozo	SHAC	Fecha	NO3 (mg/L)	NH4 (mg/L)	PO4 (mg/L)	N.E. (m)	N.D.(m)
3	Palmira Romano		30/06/2017	40,66	<0,02	0,4	S.I.	S.I.
			03/08/2018	72,55	<0,02	0,11	3,35	3,35
			05/09/2016	10,60	<0,01	<0,1	3,36	3,48
			20/08/2018	24,74	<0,02	<0,06	3,4	4,12
4	Mantagua	Dunas de Quintero	17/11/2015	12,7	0,01	0,1	2,63	8,3
			07/09/2016	13,70	<0,01	0,20	2,92	4,2
			14/08/2018	7,36	<0,02	<0,06	3,36	9,1
5	El Turco	Estero Cartagena	13/11/2015	19,8	0,01	0,1	6,5	6,6
			09/09/2016	12,00	0,01	0,20	S.I.	3,9
			16/08/2018	0,66	<0,02	<0,06	5,8	7,17
6	El Totoral	Estero El Rosario	13/11/2015	5,2	0,01	0,1	S.I.	0
			06/09/2016	3,01	<0,01	<0,1	3,9	3,9
			16/08/2018	12,51	0,02	0,06	6,85	7,3
7	Campiche	Estero Puchuncavi	17/11/2015	11,6	0,01	0,1	3,6	4,3
			07/09/2016	18,30	<0,01	0,3	4,13	3,97
			05/07/2017	17,89	<0,02	<0,06	4,02	4,67
			14/08/2018	18,20	<0,02	<0,06	3,8	4,34
8	Mundo Nuevo	La Vinilla-Casablanca	10/11/2015	59,4	0,01	<0,1	2,65	28
			18/10/2016	50,80	0,07	0,20	18,2	19,3
			30/06/2017	41,46	<0,02	0,21	S.I.	21,5
			13/08/2018	48,45	<0,02	<0,06	19,8	22,16
9	Tapihue	Los Perales	16/11/2015	31,1	0,01	0,1	15,94	30,6
			09/09/2016	42,10	0,01	0,20	17,2	18,2
			13/08/2018	23,81	<0,02	<0,06	20,19	30,99
10	Cuncumen	Melipilla	13/11/2015	13,7	0,01	0,1	4	1,96
			06/09/2016	54,60	<0,01	<0,1	1,75	2,6
			29/06/2017	36,25	<0,02	0,09	S.I.	0
			17/08/2018	26,24	0,02	<0,06	4	5,15
11	Colliguay	Sin Información	10/11/2015	7,1	0,01	<0,1	3,37	10
			01/09/2016	4,94	0,01	0,40	3,35	5,45
			13/08/2018	7,54	<0,02	<0,06	3,4	5,99
12	Hualcapo		11/11/2015	37,6	0,01	0,1	4,65	14,8
			05/09/2016	65,90	<0,01	0,13	3,85	13,4
			03/08/2018	53,41	<0,02	0,34	3,35	3,35
13	La Pena	Acuífero 6 - Nogales-Hijuelas	11/11/2015	44,5	0,01	0,17	1,09	1,39
			07/09/2016	22,40	<0,01	0,30	2,8	S.I.
			01/08/2018	29,39	<0,02	0,12	4,76	12,84
14	Parceleros El Melon		11/11/2015	31,7	0,01	0,1	3,64	4,41
			07/09/2016	47,20	<0,01	0,1	2,12	4,29
			01/08/2018	27,42	<0,02	0,08	6,11	11,32
15	Pueblo de Indios	Acuífero 7 - Quillota	12/11/2015	32,9	0,01	0,2	3,6	5,43
			05/09/2016	66,00	<0,01	0,3	3,05	5,4
			03/07/2017	60,94	<0,02	0,18	3,05	4,81
			03/08/2018	72,55	<0,02	<0,06	5,82	6,57
16	Tabolango	Acuífero 8 - Aconcagua desembocadura	20/08/2018	22,23	<0,02	<0,06	3,21	6,14
17	Paso Hondo Casa Blanca	Estero Casablanca Desembocadura	22/08/2018	5,60	<0,02	<0,06	7,3	11,22
18	Casas de Hualquén	Estero Guaquén	17/11/2015	35,0	0,01	0,1	3,3	3,4

N°	Nombre Pozo	SHAC	Fecha	NO3 (mg/L)	NH4 (mg/L)	PO4 (mg/L)	N.E. (m)	N.D.(m)
			08/09/2016	25,90	<0,01	0,4	S.I.	S.I.
			01/08/2018	3,77	<0,02	0,47	4,16	4,38
19	Laguna Verde	Estero Laguna Verde	16/11/2015	1,6	0,01	0,1	3,6	10,54
			01/09/2016	<0,01	0,02	0,8		8,48
			30/06/2017	0,14	<0,02	0,31	S.I.	S.I.
			22/08/2018	0,97	<0,02	<0,06	7,3	11,22
			31/07/2018	6,61	<0,02	<0,06	4,33	4,46
20	Hierro Viejo	Sector 10 - Río Petorca Oriente	31/07/2018	11,54	<0,02	0,07	S.I.	S.I.
21	Hierro Viejo Centro		18/11/2015	20,3	0,01	0,1	0	0,1
22	La Canela	Sector 4 - Río Petorca Poniente	08/09/2016	9,85	<0,01	<0,1	0,96	0,96
			01/08/2018	5,69	<0,02	<0,06	4,76	12,84
23	La Viña-La Vega	Sector 6 - Río La Ligua Oriente	02/08/2018	22,70	<0,02	0,35	33,5	37,3
			18/11/2015	38,5	0,02	0,1	6	6,6
	San Jose	Sector 7 - Río La Ligua Cabildo	08/09/2016	46,30	0,01	0,2	5,5	5,7
24			02/08/2018	26,99	0,02	0,13	17,4	17,88
25	La Mora	Sector 9 - Estero Los Ángeles	02/08/2018	21,57	<0,02	0,30	17,4	17,88
26	Valle de los Olmos	Sector 3 - Río del Sobrante	18/11/2015	7,1	5,4	1,2	2,5	2,56
			08/09/2016	33,10	0,02	<0,1	2,9	2,92
			04/07/2017	24,12	<0,02	0,09	3,07	3,51
			31/07/2018	30,05	<0,02	<0,06	3,66	3,85

Negrita: Se encuentra en el límite de alerta de concentración de nitrato en agua potable (30 - 49 mg/L).

Negrita: Supera el valor límite de nitrato de NCh 409/2005 para uso potable del agua (50 mg/L).

S.I.: Sin información

4.4. Microelementos

Los microelementos o elementos minoritarios son requeridos en menor cantidad por los seres vivos. Entre estos se encuentran los elementos traza, metales y metaloides que usualmente se encuentran en el medioambiente en pequeñas cantidades (Hem, 1992).

Los elementos aluminio, plata, cadmio, cobre, cobalto, mercurio, molibdeno, níquel, plomo y selenio han registrado más del 93% de los valores bajo el límite de detección, sin observarse concentraciones cuantificables durante la campaña del año 2018, por tanto se excluyen de los análisis a realizar a continuación (Anexo Tabla 5).

Respecto de los elementos que han registrado valores detectables durante el año 2018, a mencionar: arsénico, hierro, manganeso, y zinc, no se aprecia de forma general un aumento (o disminución) en los valores registrados entre el año 2015 y 2018 (Tabla 5).

Al **comparar con la NCh 409/05** para uso potable, se observa que respecto al arsénico total en la campaña del año 2018 no se superó el valor recomendado en ningún APR (0,01 mg/L). Considerando los datos históricos sólo el SHAC Sector 3 - Río del Sobrante (APR Valle de los Olmos 2015) registró concentraciones que superan la recomendación.

Respecto al hierro total 5 APR registraron valores sobre lo recomendado (0,3 mg/L) el año 2018; APR Campiche (SHAC Estero Puchincaví), APR Colliguay (SHAC Sin Información), APR Laguna Verde (Estero Laguna Verde), APR Mantagua (SHAC Dunas de Quintero) y APR Paso Hondo Casa Blanca (SHAC Estero Casablanca Desembocadura) (Tabla 5). Al considerar los datos históricos se observa que 6 SHAC han superado la concentración de referencia en al menos una oportunidad, a mencionar: Estero Laguna Verde (APR Laguna Verde 2015, 2016 y 2017), Estero Puchuncaví (APR

Campiche 2015, 2016 y 2017), Estero Cartagena (APR Lo Abarca 2016)¹⁹, Melipilla (APR Cuncumén 2016), Acuífero 9 – Limache (APR Llíu Llíu Alto 2015) y Sector 3 – Río del Sobrante (APR Valle de los Olmos 2015 y 2017).

Respecto al manganeso total el año 2018, los APR que superaron la recomendación para agua potable (0,1 mg/L) fueron APR Campiche (SHAC Estero Puchuncaví), APR Cuncumén (SHAC Melipilla), APR Laguna Verde (SHAC Estero Laguna Verde) y APR Llíu Llíu Alto (SHAC Acuífero 9-Limache) (Tabla 5). Históricamente también se han identificado valores sobre lo recomendado por la NCh 409/05 fueron Estero Laguna Verde (APR Laguna Verde 2015, 2016 y 2017), Estero Puchuncaví (APR Campiche 2015, 2016 y 2017), Estero Cartagena (APR Lo Abarca 2015, 2016 y 2017¹⁷), Melipilla (APR Cuncumén 2015 y 2017), Acuífero 7 – Quillota (APR Pueblo de Indios 2016), Acuífero 9 – Limache (APR Llíu Llíu Alto 2015 y 2017), y Sector 3 – Río del Sobrante (APR Valle de los Olmos 2015) (Tabla 5).

Los demás microelementos mencionados en la NCh 409/05 y analizados en esta campaña no superaron los límites sugeridos en ningún SHAC.

Respecto a la NCh 1333/78, particularmente para su uso en riego, no se identificaron superaciones para arsénico ni hierro total durante el año 2018 (Tabla 5). No obstante, se observa en las campañas anteriores que los SHAC Estero Puchuncaví (APR Campiche 2015), Estero Cartagena (APR Lo Abarca 2016)¹⁷ y Sector 3 – Río del Sobrante (APR Valle de los Olmos 2015) superaron el valor sugerido para hierro total (5 mg/L).

En el caso del manganeso total se observan superaciones a lo recomendado en los pozos APR Campiche (SHAC Estero Puchuncaví), Cuncumén (SHAC Melipilla), Laguna Verde (SHAC Estero Laguna Verde), y Llíu Llíu Alto (SHAC Acuífero 9- Limache). Respecto a las campañas anteriores se observa que la mayoría de los SHAC superaron la concentración sugerida de manganeso total (0,2 mg/L), a mencionar Estero Laguna Verde (APR Laguna Verde 2015, 2016 y 2017), Estero Puchuncaví (APR Campiche 2015, 2016 y 2017), Estero Cartagena (APR Lo Abarca 2015 y 2017)¹⁷, Melipilla (APR Cuncumén 2015 y 2017), Acuífero 7 – Quillota (APR Pueblo de Indios 2016), Acuífero 9-Limache (APR Llíu Llíu Alto 2015 y 2017) y Sector 3 – Río del Sobrante (APR Valle de los Olmos 2015).

La descripción de los parámetros de terreno de las muestras de agua analizadas (4.1. Parámetros de terreno) indicaron que en general estas registraron un potencial de reducción positivo indicando un ambiente que favorece las reacciones de oxidación. Al combinar esta información con el valor de pH registrado, que indicó estar en rangos neutros (pH 6,5 -7,8), se observa que el agua tiene características de haber tenido contacto con la atmósfera, es decir con oxígeno (Postma & Apello, 2013). Al sumar al análisis la presencia de metales y metaloides, las condiciones anteriores indicarían que el hierro se encontraría inmovilizado como un hidróxido (formando parte de un sólido o precipitado) o no biodisponible, al igual que el manganeso sólo que éste último formaría parte de un óxido (Mason, 2013). Una situación similar se presenta en el arsénico, donde si bien podría encontrarse soluble en agua como un compuesto oxidado, la forma presente sería aquella menos lábil y biotóxica (Mason, 2013); (Postma & Apello, 2013). Sin perjuicio de este análisis interpretativo, para conocer la proporción de cada especie que pueden formar los elementos analizados se requiere de un análisis detallado de los equilibrios químicos de las muestras, alcance no considerado en este documento.

Tabla 5. Resultados de microelementos en el agua obtenida de la fuente de los APR en seguimiento de la región de Valparaíso (As: Arsénico, Cu: Cobre, Fe: Hierro, Mn: Manganeso, Pb: Plomo, Se: Selenio, Zn: Zinc.).

N°	Nombre Pozo	SHAC	Fecha	As (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)
----	-------------	------	-------	-----------	-----------	-----------	-----------

¹⁹ Minuta DCPRH N°22/2018: Seguimiento de la calidad del agua subterránea – Pozos APR V región de Valparaíso.

N°	Nombre Pozo	SHAC	Fecha	As (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)
1	Llú Llú Alto		12/11/2015	<0,001	0,79	0,79	0,04
			30/06/2017	<0,001	0,13	0,58	0,13
			20/08/2018	<0,001	0,13	0,43	0,01
2	Los Maitenes	Acuífero 9 - Limache	10/11/2015	0,002	0,15	0,02	<0,01
			05/09/2016	0,001	<0,02	0,01	5,1
			30/06/2017	<0,001	0,06	0,01	0,08
3	Palmira Romano		03/08/2018	<0,001	<0,02	0,01	<0,01
			05/09/2016	0,002	0,02	1,76	5,1
			20/08/2018	5,1	5,1	5,1	5,1
4	Mantagua	Dunas de Quintero	17/11/2015	<0,001	0,40	0,02	0,07
			07/09/2016	<0,001	0,07	0,01	5,1
			14/08/2018	<0,001	0,69	0,03	0,01
5	El Turco	Estero Cartagena	13/11/2015	0,002	<0,02	0,17	<0,01
			09/09/2016	<0,001	0,13	0,12	5,1
			16/08/2018	<0,001	<0,02	0,05	0,01
6	El Totoral	Estero El Rosario	13/11/2015	0,002	0,83	1,54	<0,01
			06/09/2016	<0,001	0,13	0,02	5,1
			16/08/2018	<0,001	0,09	0,06	0,06
7	Campiche	Estero Puchuncavi	17/11/2015	0,001	6,46	2,59	0,02
			07/09/2016	<0,001	3,37	1,43	5,1
			05/07/2017	<0,001	0,40	0,99	0,02
			14/08/2018	<0,001	0,48	1,47	0,03
8	Mundo Nuevo	La Vinilla-Casablanca	10/11/2015	0,001	0,05	0,02	0,01
			18/10/2016	<0,001	0,03	0,01	5,1
			30/06/2017	<0,001	0,04	0,01	0,13
			13/08/2018	<0,001	<0,02	0,01	0,03
9	Tapihue	Los Perales	16/11/2015	0,001	0,08	0,07	0,12
			09/09/2016	<0,001	<0,02	0,02	5,1
			13/08/2018	<0,001	<0,02	0,01	0,01
10	Cuncumén	Melipilla	13/11/2015	0,003	0,23	1,76	0,04
			06/09/2016	<0,001	3,59	0,06	5,1
			29/06/2017	0,002	<0,02	1,48	0,08
11	Colliguay	Sin Información	17/08/2018	0,003	0,03	1,48	0,01
			10/11/2015	0,007	1,40	0,02	0,08
			01/09/2016	<0,001	1,91	0,03	5,1
			13/08/2018	<0,001	0,43	0,01	0,10
12	Hualcapo		11/11/2015	<0,001	0,05	0,02	0,17
			05/09/2016	<0,001	<0,02	0,48	5,1
			03/08/2018	<0,001	0,05	0,01	<0,01
13	La Pena	Acuífero 6 - Nogales-Hijuelas	11/11/2015	0,002	0,09	0,02	0,26
			07/09/2016	<0,001	0,35	0,01	5,1
			01/08/2018	0,004	0,08	0,01	0,01
14	Parceleros El Melón		11/11/2015	<0,001	0,10	0,02	0,02
			07/09/2016	<0,001	0,38	0,02	5,1
			01/08/2018	<0,001	0,03	0,01	0,01
15	Pueblo de Indios	Acuífero 7 - Quillote	12/11/2015	0,003	<0,02	0,02	<0,01
			05/09/2016	<0,001	0,02	1,07	5,1
			03/07/2017	0,002	<0,02	0,01	0,07

N°	Nombre Pozo	SHAC	Fecha	As (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)
			03/08/2018	0,002	0,04	0,01	<0,01
16	Tabolango	Acuífero 8 - Aconcagua desembocadura	20/08/2018	S.l	S.l	S.l	S.l
17	Paso Hondo Casa Blanca	Estero Casablanca Desembocadura	22/08/2018	0,004	3,00	0,07	0,01
			17/11/2015	0,001	0,10	0,04	0,06
18	Casas de Hualquén	Estero Guaquén	08/09/2016	<0,001	0,07	0,45	S.l
			01/08/2018	<0,001	0,03	0,02	0,02
			16/11/2015	<0,001	1,22	0,23	<0,01
19	Laguna Verde	Estero Laguna Verde	01/09/2016	<0,001	0,97	0,27	S.l
			30/06/2017	<0,001	1,40	0,26	0,05
			22/08/2018	<0,001	1,24	0,29	0,01
20	Hierro Viejo	Sector 10 - Rio Petorca Oriente	31/07/2018	0,002	0,02	0,01	0,03
21	Hierro Viejo Centro		31/07/2018	S.l	S.l	S.l	S.l
			18/11/2015	<0,001	0,26	<0,02	0,06
22	La Canela	Sector 4 - Rio Petorca Poniente	08/09/2016	<0,001	0,07	<0,01	S.l
			01/08/2018	<0,001	0,03	<0,01	0,01
23	La Viña-La Vega	Sector 6 - Rio La Ligua Oriente	02/08/2018	0,005	0,02	<0,01	0,02
			18/11/2015	<0,001	<0,02	<0,02	0,01
	San Jose	Sector 7 - Rio La Ligua Cabildo	08/09/2016	<0,001	0,02	<0,01	S.l
24			02/08/2018	<0,001	0,04	<0,01	0,01
25	La Mora	Sector 9 - Estero Los Angeles	02/08/2018	<0,001	<0,02	<0,01	0,01
			18/11/2015	0,026	5,56	6,32	0,10
26	Valle de los Olmos	Sector 3 - Rio del Sobrante	08/09/2016	<0,001	0,02	0,02	S.l
			04/07/2017	<0,001	0,87	<0,01	0,02
			31/07/2018	<0,001	0,02	<0,01	0,01

Negrita: Supera valores límites de NCh 409/2005 para uso potable del agua.

Grises: Supera valores límite de NCh 1333/1978 para uso en riego.

Negrita: Supera el valor límite de la NCh 409/2005 para uso potable del agua y la NCh 1333/1978 para uso de agua en riego.

*** Falla lámpara de Zinc.

5. Índice de calidad

A continuación se presentan la evolución de la calidad del agua de las fuentes de APR en seguimiento a través del Índice General de Calidad. Este índice fue desarrollado en el estudio "Diagnóstico y Clasificación de Acuíferos" (Dirección General de Aguas, 2009) y fue adaptado a la hidroquímica de la región de Valparaíso, encontrando a continuación el detalle de su cálculo e interpretación.

5.1. Índice de calidad individual por parámetro

El índice de calidad de un pozo, se obtiene mediante la interpolación lineal entre las condiciones límites de cinco clases de calidad (C1, C2, C3, C4 y C5) y los valores de corte (VC1, VC2, VC3, VC4 y VC5), tal como se muestra en la Figura 10 y en la Tabla 6.

Tabla 6. Relación entre clases de calidad y valores de corte para el índice de calidad.

Índice de calidad (IC)		Valor de corte (VC)	
C1	Excepcional	VC1	Según Indicaciones de OMS respecto a la calidad de agua de uso humano.
C2	Buena	VC2	Norma Chilena con respecto a calidad de aguas de uso potable.
C3	Regular	VC3	Norma para actividad agrícola, y norma chilena de

			riego.
C4	Insuficiente	VC4	Puede ser tratada para alcanzar la calidad de agua potable definida por la norma establecida.
C5	Intratable	VC5	Aguas que no se pueden tratar. De ser posibles serían mediante procesos muy costosos o complejos.

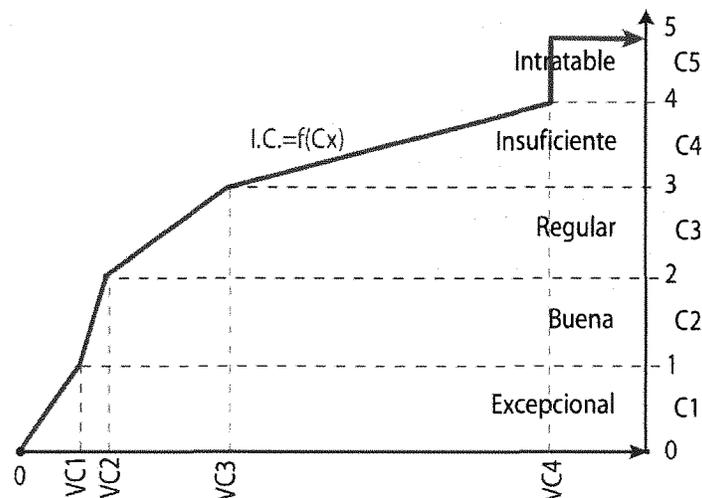


Figura 10. Cálculo de índice de calidad mediante interpolación lineal entre clases²⁰.

En el caso de este estudio, los valores de cada clase dependen de los valores de corte mostrados en la Tabla 7 para cada componente químico.

Se decide incorporar los sólidos disueltos totales al cálculo del índice de calidad como parámetro representativo de la calidad del acuífero. Este parámetro no fue incorporado en el cálculo realizado el año 2015 y 2016.

Tabla 7. Definición de clases de calidad de agua para cada parámetro. (SDT: Sólidos disueltos totales)

N°	CLASE	Cloruro (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Calcio (mg/L)	Sodio (mg/L)	Magnesio (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Arsénico (mg/L)	SDT (mg/L)
1	Excepcional	250	250	100	200	100	10	0,01	1200
2	Buena	400	500	200	200	125	50	0,01	1500
3	Regular	1064	961	401	920	250	133	0,10 ²¹	2000
4	Insuficiente	1600	10000	4000	6000	2500	200	4,00	6000
5	Intratable	> 1600	> 10000	> 4000	> 6000	> 2500	> 200	> 4,00	>200

5.2. Cálculo e interpretación del Índice de calidad general

Una vez que se dispone el Índice de calidad (IC) individual de cada parámetro es posible obtener el IC general de la fuente de APR. Se definió que los criterios para definir el IC general dependieran principalmente de los elementos químicos que, de acuerdo a la norma chilena de agua potable

²⁰ Para más detalle se recomienda revisar el Diagnóstico y clasificación de sectores acuíferos (Dirección General de Aguas, 2009)

²¹ El valor de corte 0,10 mg/L de la NCh 1333/78 reemplazó al valor originalmente utilizado en la confección del indicador (2,0 mg/L, FAO) por considerar la norma chilena como más representativa (Dirección General de Aguas, 2009).

vigente (Instituto Nacional de Normalización), afecten a la salud humana y busquen reflejar que la calidad del acuífero esté definida por el parámetro de peor calidad. Los criterios se presentan en la Tabla 8 y se aplican para cada celda del SHAC de acuerdo a la interpolación generada.

Tabla 8. Criterios para establecer el IC general.

Condición IC individual	Resultado IC general	Expresión
Si existe un parámetro con IC Intratable	IC general es Intratable	$Si IC_{individual} > 4$ $IC_{general} = 5$
Si alguno de los parámetros que afectan la salud humana, según NCh409, presentan IC Bueno, Regular o Insuficiente	IC general es el peor IC individual de todos los parámetros	$Si 1 < IC_{individual} \leq 4$ $IC_{general} = \text{Max}(IC_{individual})_{i=\text{parámetro}}$
Si todos los parámetros que afectan la salud humana, según NCh409, presentan IC Excepcional.	IC general es el promedio del IC individual de todos los parámetros	$Si 1 \geq IC_{individual}$ $IC_{general} = \frac{\sum_{i=\text{parámetro}} IC_{individual}}{n^{\circ} \text{ parámetros}}$

A partir de lo anterior se obtiene un valor para el índice de calidad general en el rango continuo entre 0 y 5. Sin embargo, para efectos de la visualización se utiliza una escala discreta de las cinco clases establecidas. La interpretación de la calidad según el IC general está definida en base a los criterios utilizados para su determinación, es decir, los parámetros que afectan la salud humana y/o que presenten la peor calidad química. Para mayor información se recomienda revisar el estudio "Diagnóstico y clasificación de sectores acuíferos", (Dirección General de Aguas, 2009).

En los resultados resumidos en la (Tabla 9) se observa que las calidades son diversas, encontrando fuentes APR con calidades Excelentes e Intratables. La calidad de los APR Casas de Hualquén (Buena en 2015 y 2016) y La Canela (Buena y Excelente en 2015 y 2016, respectivamente) ha disminuido en el tiempo a Intratable el año 2018. Esta última calidad es atribuida al contenido de sólidos disueltos totales, los cuales aumentaron sus concentraciones entre campañas (Tabla 14). Los APR La Peña y Parceleros El Melón disminuyeron su calidad, presentándose una situación similar respecto a las fuentes analizadas anteriormente durante los años 2015 y 2016, en general muestran una Buena calidad, sin embargo el año 2018 estas fuentes presentan una calidad Insuficiente, la cual también se asocia a las mayores concentraciones de sólidos disueltos totales (Tabla 3).

Se observa que la fuente APR Cuncumén no ha modificado su calidad Regular en las cuatro campañas de monitoreo (2015, 2016, 2017 y 2018). Esta calidad ha estado asociada al contenido de sulfatos y calcio principalmente, pero se destaca en las últimas dos campañas el aumento de los sólidos disueltos totales (Tabla 14). Los APR Campiche y Los Maitenes alternan su calidad entre una Buena y una Regular entre campañas, en el caso de la fuente APR Campiche la calidad Regular se debe al contenido de cloruro y sodio, mientras que en la fuente APR Los Maitenes esta se

encuentra asociada al nitrato (Tabla 14). Los APR Hualcapo y Pueblo de Indios muestran en general una calidad Regular, siendo importante destacar que en estas se identificó un proceso de deterioro asociado al aumento de nitrato en las muestras de agua, esto en contraste con el año 2015 donde ambas fuentes presentaron una calidad Buena. El deterioro desde una calidad Excelente o Buena hacia una Regular es un asunto de preocupación puesto que revertir el deterioro de la calidad del agua subterránea es sumamente difícil (técnica y económicamente), siendo la mejor alternativa de gestión el cuidado de la fuente. La fuente APR El Totoral disminuyó su calidad desde Excelente (2015 y 2016) a Buena en la presente campaña, situación atribuida a una mayor concentración de nitrato (Tabla 14).

De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda tener en cuenta el origen del parámetro que supera la normativa o que presenta la peor calidad en el Índice general, vale decir, si proviene de una fuente antrópica importante, como nitrato, plomo, mercurio o cadmio, o si por el contrario su fuente predominante es natural, como por ejemplo el arsénico, manganeso, zinc y el hierro (Mason, 2013) (Wetzel, 2001). Esto permitirá buscar la mejor estrategia para controlarlo en la fuente o mitigarlo antes de que el agua sea utilizada.

Los APR que han mejorado su calidad a través de las campañas fueron El Turco, Mantagua, Mundo Nuevo y Valle de los Olmos (Tabla 9). En detalle se observa que la fuente APR El Turco y Mantagua mejoraron su calidad de Buena a Excelente asociándose esto a una disminución del contenido de nitrato en las muestras de agua; la fuente APR Mundo Nuevo mejoró su calidad de Regular (2015 y 2016) a Buena (2017 y 2018) por una disminución en el contenido de nitrato de las muestras; y la fuente Valle de los Olmos ha mantenido una calidad Buena desde el año 2016, teniendo inicialmente una calidad Regular el año 2015, siendo la mejora atribuida a una disminución en el contenido de arsénico y calcio (Tabla 14). Al no repetirse una concentración de arsénico similar al año 2015 habría motivos para sospechar de un error en el proceso de toma de muestra o análisis de este elemento.

Los APR que han mantenido una calidad Buena a través de las campañas son Tapihue y San José (Tabla 9). En los tres casos el obstáculo para que la calidad no sea Excelente es el contenido de nitrato (Tabla 14). Los APR con la mejor calidad en el tiempo son Colliguay, Laguna Verde y Llíu Llíu Alto manteniéndose Excelente (Tabla 9).

Los APR La Mora, y La Viña-La Vega fueron monitoreadas por primera vez durante el año 2018 obteniéndose en todos los casos una calidad Buena (Tabla 9). En todas las fuentes el obstáculo para no obtener una calidad Excelente es la concentración de nitrato, sin embargo en la fuente APR Tabolango se agrega además un mayor contenido de sulfatos, y en la fuente Hierro Viejo Centro un mayor contenido de calcio (Tabla 14). Los APR Hierro Viejo y Paso Hondo Casa Blanca también fueron monitoreadas por primera vez durante el año 2018 indicando una calidad Excelente (Tabla 9).

El APR El Sobrante no fue monitoreado el año 2018 por quedar fuera de las bases de licitación del estudio de Diagnóstico realizado en la región del Ñuble y Biobío²², siendo su última calidad el año 2017 Intratable (Tabla 9).

Tabla 9. Evolución temporal de los Índices de calidad general de aguas entre los años 2015 y 2018 en los APR en seguimiento de la región de Valparaíso.

N°	Etiquetas de fila	2015		2016		2017		2018
		Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Otoño	Invierno	
1	Campiche	Regular	Regular			Buena		Regular
2	Casas de Hualquén	Buena	Buena					Excelente
3	Colliguay	Excelente	Excelente					Excelente

²² Código de licitación 1019-15-LE18.

N°	Etiquetas de fila	2015		2016		2017		2018
		Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Otoño	Invierno	
4	Cuncumén	Regular	Regular				Regular	Regular
5	El Totoral	Excepcional	Excepcional					Buena
6	El Turco	Buena	Buena					Excepcional
7	Hierro Viejo							Excepcional
8	Tapihue	Buena	Buena					Buena
9	San José	Buena	Buena					Buena
10	Tabolango							
11	Palmira Romano		Buena					
12	La Mora							Buena
13	Hierro Viejo Centro							
14	Hualcapo	Buena	Regular					Regular
15	La Canela	Buena	Excepcional					Insuficiente
16	La Peña	Buena	Buena					Insuficiente
17	La Viña-La Vega							Buena
18	Laguna Verde	Excepcional	Excepcional		Excepcional			Excepcional
19	Lliu Lliu Alto	Excepcional			Excepcional			Excepcional
20	Los Maitenes	Regular	Regular		Buena			Regular
21	Mantagua	Buena	Buena					Excepcional
22	Mundo Nuevo	Regular	Regular		Buena			Buena
23	Parceleros El Melón	Buena	Buena					Insuficiente
24	Paso Hondo Casa Blanca							Excepcional
25	Pueblo de Indios	Buena	Regular		Regular			Regular
26	Valle de los Olmos	Regular	Buena		Buena			Buena
27	El Sobrante	Buena			Insuficiente			
28	Rosa de Colmo		Regular	Excepcional				
29	Lo Abarca	Buena	Buena		Excepcional			

Las celdas vacías indican que no se realizó seguimiento a los pozos durante esa campaña o en su defecto que no se contaban con todos los parámetros.

5. Comentarios Finales

Se estableció una caracterización química de las fuentes de los distintos APR a través de la presentación de resultados y comparación con las normativas de calidad de agua vigentes. Sin perjuicio de lo anterior, es necesario aclarar que la comparación con la NCh 409/05 y NCh 1333/78 es sólo referencial y su objetivo es detallar la cantidad de parámetros que no cumplen las recomendaciones.

De los APR en seguimiento, aquellos que presentaron la mayor cantidad de parámetros desviados respecto a una o ambas normativas se muestran a continuación:

Tabla 10. Resumen de APR que presentaron la mayor cantidad de desviaciones entre el periodo 2015 - 2018 respecto a las recomendaciones de la NCh 1333/78 para riego y NCh 409/05 para agua potable.

APR	NCh 1333/78		NCh 409/05	
	Desviaciones	Parámetros	Desviaciones	Parámetros
Cuncumén	19	CE, SDT, Cl, SO4, Na%, Mn	10	Mn
Campiche	18	CE, SDT, Cl, Na%, Fe, Mn	11	Cl, Fe, Mn
Casas de Hualquén	9	CE, SDT, Cl, Mn	2	SDT, Mn
Laguna Verde	4	Mn	8	Mn, Fe

Sin perjuicio del análisis anterior, se dio continuidad al cálculo del Índice de calidad general del agua para establecer la evolución de la calidad entre el 2015 y 2018 para el uso más sensible; el consumo humano. Los resultados indican que los APR Casas de Hualquén, La Canela, La Peña y Parceleros El Melón han disminuido su calidad desde las mejores categorías (Excelente y Buena) a las más comprometidas (Insuficiente e Intratable). Esta situación se percibe como una alerta importante para identificar las causas del deterioro repentino de la calidad del agua y si este es circunstancial o aún se encuentra en desarrollo.

El APR Cuncumén ha mantenido una calidad Regular a través del tiempo, y los APR Campiche y Los Maitenes alternan su calidad entre Regular y Buena. En los tres casos es necesaria una gestión para proteger la fuente y así evitar su decaimiento a calidades menores.

De acuerdo a esto y a los lineamientos del programa Plurianual 2018-2021 de calidad de agua subterránea (Minuta DCPRH N°23/2019), los APR antes mencionados serán priorizados en los próximos estudios de diagnósticos de calidad de aguas subterráneas como pozos de seguimiento.

6. Recomendaciones

- En aquellos pozos donde se encontraron concentraciones de nitrato que superan la recomendación de uso potable se sugiere buscar formas de tratamiento para disminuir las concentraciones, como por ejemplo la osmosis inversa, electrodiálisis y resinas de intercambio aniónicas. Estos tratamientos si bien son efectivos en remover nitrato generan residuos que requieren disposición especial, lo cual debe ser considerado al momento de tomar una decisión.

Se recuerda que el hervir un agua con nitrato no elimina o disminuye la concentración de este compuesto, por el contrario la incrementa.

- Se recomienda a la Dirección Regional recopilar información sobre la profundidad de las cribs de los pozos en seguimiento para así tener claridad de la profundidad a la que se extrae el agua.
- Se encomienda a la Dirección Regional analizar la factibilidad de modificar su red de calidad agua subterránea para así incorporar todos o un subconjunto de los pozos de APR donde se recomienda hacer seguimiento el 'Próximo Diagnóstico' de acuerdo a la Tabla 11, o en su defecto incorporar aquellos pozos de APR que han registrado valores fuera de los límites recomendados por la NCh 1333/78 y NCh 409/05 de forma frecuente.

El integrar los pozos de APR con una calidad más comprometida a la red de monitoreo regional permitirá tener un seguimiento más frecuente sobre estos (semestral según la programación de la red de calidad de agua subterránea), para así destinar esfuerzos en monitorear las fuentes que presenten una mejor calidad antes del próximo programa plurianual de aguas subterráneas (2022-2025) (Tabla 11). Esta información es vital para tomar decisiones sobre la conservación y protección del agua subterránea.

- Si la Dirección Regional no puede incorporar estos pozos en su red regional se recomienda externalizar su monitoreo el año 2020.
- Se recomienda socializar los resultados de esta minuta técnica de seguimiento y de los diagnósticos de calidad de agua con los operadores de APR, y los tomadores de decisiones a nivel regional para así contribuir con una planificación territorial más inteligente e informada, lo que consecuentemente permitirá proteger las fuentes de agua.

- Mantener el monitoreo en el tiempo para reforzar el conocimiento de los rangos de fluctuación de los parámetros químicos y poder así identificar aumentos o disminuciones en el tiempo.

Tabla 11. Lista de fuente de APR sugeridos y su seguimiento requerido.

	Nombre Pozo	Este (wgs84 H19)	Norte (wgs84 H19)	Programación de Seguimiento
1	CAMPICHE	272380	6375328	PRÓXIMO DIAGNÓSTICO
2	CASAS DE HUALQUÉN	274105	6419946	PRÓXIMO DIAGNÓSTICO
3	COLLIGUAY	301959	6327375	PROGRAMA 2022-2025
4	CUNCUMÉN	275674	6259993	PRÓXIMO DIAGNÓSTICO
5	EL TOTORAL	255799	6298693	PROGRAMA 2022-2025
6	EL TURCO	269886	6285076	PROGRAMA 2022-2025
7	HIERRO VIEJO	310480	6426400	PROGRAMA 2022-2025
8	TAPIHUE	283410	6311768	PROGRAMA 2022-2025
9	SAN JOSÉ	305378	6411215	PROGRAMA 2022-2025
10	TABOLANGO	278522	6354286	PROGRAMA 2022-2025
11	PALMIRA ROMANO	292775	6339557	PROGRAMA 2022-2025
12	LA MORA	315920	6402940	PROGRAMA 2022-2025
13	HIERRO VIEJO CENTRO	311958	6427291	PROGRAMA 2022-2025
14	HUACALPO	303722	6359601	PRÓXIMO DIAGNÓSTICO
15	LA CANELA	297245	6417735	PRÓXIMO DIAGNÓSTICO
16	LA PEÑA	297268	6374328	PRÓXIMO DIAGNÓSTICO
17	LA VIÑA-LA VEGA	323080	6413210	PROGRAMA 2022-2025
18	LAGUNA VERDE	253019	6333098	PROGRAMA 2022-2025
19	LLÍU LLÍU ALTO	292943	6335888	PROGRAMA 2022-2025
20	LOS MAITENES	291493	6346528	PRÓXIMO DIAGNÓSTICO
21	MANTAGUA	268573	6361187	PROGRAMA 2022-2025
22	MUNDO NUEVO	280665	6307728	PROGRAMA 2022-2025
23	PARCELEROS EL MELÓN	293582	6380551	PRÓXIMO DIAGNÓSTICO
24	PASO HONDO CASA BLANCA	269440	6321945	PROGRAMA 2022-2025
25	PUEBLO DE INDIOS	292088	6357668	PRÓXIMO DIAGNÓSTICO
26	VALLE DE LOS OLMOS	328532	6434014	PROGRAMA 2022-2025
27	EL SOBRANTE	332090	6433081	PRÓXIMO DIAGNÓSTICO
28	SANTA ROSA DE COLMO	271852	6354845	PRÓXIMO DIAGNÓSTICO
29	LO ABARCA	263500	6287369	PRÓXIMO DIAGNÓSTICO



DANIELA FREDES MUÑOZ
 ANALISTA DE DESARROLLO AMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS
 DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS



DIEGO SAN MIGUEL
 Jefe Area de Desarrollo
 Depto. Conservación y P.R.H.
 Dirección General de Aguas

DIEGO SAN MIGUEL
 JEFA DEL AREA DE DESARROLLO AMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS
 DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

Agosto 2018

Bibliografía

- Antich, N., Canals, A., Soler, A., Darbishyre, D., & Spiro, B. (2000). The isotope composition of dissolved strontium as tracer of pollution in the Logregat River. *International Association of Hydrological Science*.
- Banco Mundial. (2019). *Quality Unknown - The invisible water crisis*. Washington, DC: World Bank Group.
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2016). *Química General*. D.F.: McGraw-Hill.
- Custodio, E., & Llamas, M. (1976). *Hidrología Subterránea* (Vol. 1). Barcelona: Omega.
- Dirección General de Aguas (DGA). (2017). *Diagnóstico y Desafíos de la Red de Calidad de Aguas Subterráneas de la DGA*. S.D.T N°396, Santiago de Chile.
- Dirección General de Aguas. (2009). *Diagnóstico y Clasificación de Sectores Acuíferos*. Retrieved julio 30, 2018, from <http://documentos.dga.cl/CQA5168v1.pdf>
- Dirección General de Aguas. (2013, mayo 20). *Reglamento sobre normas de exploración y explotación de aguas subterráneas*. Retrieved julio 26, 2018, from http://www.dga.cl/legislacionynormas/normas/Reglamentos/Reglamento_Aguas_Subterranas.pdf
- Hem, J. D. (1992). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. *U.S. Geological Survey Water-Supply Paper*(2254), 264.
- Hounslow, A. (1995). *Water quality data: analysis and interpretation*. Boca Ratón.: Lewis Publishers.
- Instituto Nacional de Normalización. (1987). Norma Chilena N°1.333/1978 (Mod.1987). Requisitos de calidad de agua para diferentes usos.
- Instituto Nacional de Normalización. (2005). Norma Chilena 409/1 Oficial de 2005, Agua Potable - Parte 1 - Requisitos.
- Mason, R. (2013). *Trace Metals in Aquatic Systems*. West Sussex: Wiley-Blackwell Publishing.
- Otero, N., Tolosana-Delgado, R., Soler, A., Pawlowsky-Glahn, V., & Canals, A. (2005). Relative vs absolute statistical analysis of compositions: A comparative 194 study of surface waters of a Mediterranean river. *Water Research*, 39(7), 1404-1414.
- Postma, C., & Apello, D. (2013). *Geochemistry, groundwater and pollution*. Leiden: AA Balkema Publishers.
- Soler, A., Canals, A., Goldstein, L., Otero, L., Antich, N., & Spangenberg, J. (2002). Sulphur and Strontium isotope composition of the Llobregat River (NE Spain): Tracers of natural and anthropogenic chemicals in stream waters. *Water, Air & Soil Pollution*, 136(1-4), 207-224.
- Stumm, W., & Morgan, J. J. (1996). *Aquatic Chemistry: Environmental Science and Technology*. New York: Wiley Interscience.
- Thompson, R., & Troeh, F. (1988). *Los Suelos y su fertilidad*. Barcelona: Reverté.
- Wetzel, R. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. San Diego: Elsevier.

Parámetro y Metodología	Año y límite de detección empleado			
	2015	2016	2017	2018
Método SM 3111B	0,02	0,01	0,01	0,01
Molibdeno total				
Método SM 3111B			0,05	0,25
Sodio total				
SM 3111 B-D Ed 22-2012	0,2	0,2	0,01	
SM 3120 B Ed 22-2012, EPA 200,7, 1994 (Sn)				0,01
Amonio				
ME-27-2007	0,01	0,01		
SM 4500 NH3 B Ed. 22, 2012			0,02	0,02
Níquel total				
Método SM 3111B	0,05	0,05	0,03	0,03
Nitrato				
ME-16-2007	0,01	0,01		
SM 4500 NO3 B Ed. 22, 2012			0,01	0,01
Plomo total				
Método SM 3111B	0,07	0,02	0,02	0,02
Fósforo de ortofosfato				
Hach Method 8048, USEPA approved, SMEWW 21st Edition, Method 4500-PE		0,1		
SM 3120 B Ed 22-2012	0,1		0,02	
SM 4500-P E Ed 22-2012				0,06
Sólidos disueltos totales				
NCh 409 Manual S15S-2007	5	5		
SM 2540 C Ed. 22, 2012			5	5
Selenio total				
Método SM 3114B	0,001	0,001	0,001	0,001
Sulfato				
ME-30-2007	1	1		
SM 4110 B Ed. 22, 2012			0,2	0,2
Zinc total				
Método SM 3111B	0,01	0,01	0,01	0,01

Tabla 13. Microelementos que registraron valores bajo el límite de detección en la mayoría de los APR muestreados de la región de Valparaíso entre 2015 y 2018.

N°	Nombre Pozo	SHAC	Fecha	Ag (mg/L)	Al (mg/L)	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Cu (mg/L)	Hg (mg/L)	Mo (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Se (mg/L)
1	Lilu Lilu Alto		12/11/2015	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,02	<0,0005	N.S.	0,05	<0,07	<0,001
			30/06/2017	N.S.	0,6	<0,01	<0,02	<0,01	<0,001	<0,05	<0,03	<0,02	<0,001
			20/08/2018	N.S.	N.S.	<0,01	<0,02	<0,01	<0,001	<0,25	<0,03	<0,02	<0,001
2	Los Maitenes	Acuífero 9 - Limache	10/11/2015	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	N.S.	<0,0005	N.S.	0,05	<0,07	<0,001
			05/09/2016	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	N.S.	<0,002	N.S.	0,05	<0,02	<0,001
			30/06/2017	0,01	0,6	<0,01	<0,02	<0,02	<0,001	<0,05	<0,03	<0,02	<0,001
			03/08/2018	0,01	0,6	<0,01	<0,02	0,03	<0,001	<0,25	<0,03	<0,02	<0,001
3	Palмира Romano		05/09/2016	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	N.S.	<0,002	N.S.	0,05	<0,02	<0,001
			20/08/2018	N.S.	N.S.	S.I.							
4	Mantagua	Dunas de Quintero	17/11/2015	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,02	<0,0005	N.S.	0,05	<0,07	<0,001
			07/09/2016	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,01	<0,002	N.S.	0,05	<0,02	<0,001
			14/08/2018	N.S.	N.S.	<0,01	<0,02	<0,01	<0,001	<0,25	<0,03	<0,02	<0,001

N°	Nombre Pozo	SHAC	Fecha	Ag (mg/L)	Al (mg/L)	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Cu (mg/L)	Hg (mg/L)	Mo (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Se (mg/L)
20	Hierro Viejo	Sector 10 - Río Petorca Oriente	31/07/2018	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	0,03	<0,001	<0,25	<0,03	<0,02	<0,001
21	Hierro Viejo Centro		31/07/2018	N.S.	N.S.	S.I.							
22	La Canela	Sector 4 - Río Petorca Poniente	18/11/2015	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	0,41	<0,0005	N.S.	0,05	<0,07	<0,001
			08/09/2016	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	N.S.	<0,002	N.S.	0,05	<0,02	<0,001
			01/08/2018	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	0,03	<0,001	<0,25	<0,03	<0,02	<0,001
23	La Viña-La Vega	Sector 6 - Río La Ligua Oriente	02/08/2018	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	0,03	<0,001	<0,25	<0,03	<0,02	<0,001
			18/11/2015	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	N.S.	<0,0005	N.S.	0,05	<0,07	<0,001
			08/09/2016	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	N.S.	<0,002	N.S.	0,05	<0,02	<0,001
24	San José	Sector 7 - Río La Ligua Cabildo	02/08/2018	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	0,03	<0,001	<0,25	<0,03	<0,02	<0,001
25	La Mora	Sector 9 - Estero Los Angeles	02/08/2018	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	0,03	<0,001	<0,25	<0,03	<0,02	<0,001
			18/11/2015	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,02	<0,001	N.S.	0,05	<0,07	<0,001
			08/09/2016	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,01	<0,002	N.S.	0,05	<0,02	<0,001
26	Valle de los Olmos	Sector 3 - Río del Sobrante	04/07/2017	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	<0,01	<0,001	<0,05	<0,03	<0,02	<0,001
			31/07/2018	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	<0,01	<0,001	<0,25	<0,03	<0,02	<0,001
			04/07/2017	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	<0,01	<0,001	<0,05	<0,03	<0,02	<0,001

N.S.: Análisis no solicitado.

S.I.: Sin información.

Tabla 14. Índice de calidad por parámetro para los APR en seguimiento de la región de Valparaíso. SDT: Sólidos disueltos totales, Cl: cloruro, SO4: sulfato, Na: Sodio, Mg: Magnesio, NO3: Nitrato, As: Arsénico. E: Excelente, B: Buena; R: Regular, IN: Insuficiente, IT: Intratable.

Nombre Pozo	Estacionalidad	Año	SDT (mg/L)	CL (mg/L)	SO4 (mg/L)	Mg (mg/L)	NO3 (mg/L)	As (mg/L)	Na (mg/L)	Ca (mg/L)	ICA general
Llú Llú Alto	Primavera	2015	E	E	E	E	E	E	E	E	Excepcional
Llú Llú Alto	Invierno	2017	E	E	E	E	E	E	E	E	Excepcional
Llú Llú Alto	Invierno	2018	E	E	E	E	E	E	E	E	Excepcional
Los Maitenes	Primavera	2015	E	E	E	E	R	E	E	B	Regular
Los Maitenes	Invierno	2016	E	E	E	E	R	E	E	E	Regular
Los Maitenes	Invierno	2017	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
Los Maitenes	Invierno	2018	E	E	E	E	R	E	E	E	Regular
Palmira Romano	Invierno	2016	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
Palmira Romano	Invierno	2018	E	E	E	E	B	S.I.	E	E	S.I.
Mantagua	Primavera	2015	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
Mantagua	Invierno	2016	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
Mantagua	Invierno	2018	E	E	E	E	E	E	E	E	Excepcional
El Turco	Primavera	2015	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
El Turco	Invierno	2016	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
El Turco	Invierno	2018	E	E	E	E	E	E	E	E	Excepcional
El Totoral	Primavera	2015	E	E	E	E	E	E	E	E	Excepcional
El Totoral	Invierno	2016	E	E	E	E	E	E	E	E	Excepcional
El Totoral	Invierno	2018	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
Campiche	Primavera	2015	E	R	E	E	B	E	R	B	Regular
Campiche	Invierno	2016	B	R	E	E	B	E	R	B	Regular
Campiche	Invierno	2017	E	B	E	E	B	E	E	B	Buena
Campiche	Invierno	2018	B	R	B	E	B	E	R	B	Regular
Mundo Nuevo	Primavera	2015	E	E	E	E	R	E	E	E	Regular
Mundo Nuevo	Invierno	2016	E	E	E	E	R	E	E	E	Regular
Mundo Nuevo	Invierno	2017	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
Mundo Nuevo	Invierno	2018	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
Tapihue	Primavera	2015	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena

Nombre Pozo	Estacionalidad	Año	SDT (mg/L)	CL (mg/L)	SO4 (mg/L)	Mg (mg/L)	NO3 (mg/L)	As (mg/L)	Na (mg/L)	Ca (mg/L)	ICA general
Tapihue	Invierno	2016	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
Tapihue	Invierno	2018	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
Cuncumén	Primavera	2015	E	B	R	E	B	E	E	R	Regular
Cuncumén	Invierno	2016	B	E	R	E	R	E	E	R	Regular
Cuncumén	Otoño	2017	R	E	R	E	B	E	E	R	Regular
Cuncumén	Invierno	2018	R	B	R	E	B	E	E	R	Regular
Colliguay	Primavera	2015	E	E	E	E	E	E	E	E	Excepcional
Colliguay	Invierno	2016	E	E	E	E	E	E	E	E	Excepcional
Colliguay	Invierno	2018	E	E	E	E	E	E	E	E	Excepcional
Hualcapo	Primavera	2015	E	E	E	E	B	E	E	B	Buena
Hualcapo	Invierno	2016	E	E	E	E	R	E	E	B	Regular
Hualcapo	Invierno	2018	E	E	E	E	R	E	E	E	Regular
La Peña	Primavera	2015	E	E	E	E	B	E	E	B	Buena
La Peña	Invierno	2016	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
La Peña	invierno	2018	IN	E	E	E	B	E	E	E	Insuficiente
Parceleros El Melón	Primavera	2015	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
Parceleros El Melón	Invierno	2016	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
Parceleros El Melón	Invierno	2018	IN	E	E	E	B	E	E	E	Insuficiente
Pueblo de Indios	Primavera	2015	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
Pueblo de Indios	Invierno	2016	E	E	E	E	R	E	E	E	Regular
Pueblo de Indios	Invierno	2017	E	E	E	E	R	E	E	E	Regular
Pueblo de Indios	Invierno	2018	E	E	E	E	R	E	E	E	Regular
Tabolango	Invierno	2018	E	E	B	E	B	S.I.	E	B	S.I.
Paso Hondo Casa Blanca	Invierno	2018	E	E	E	E	E	E	E	E	Excepcional
Casas de Hualquén	Primavera	2015	E	B	E	E	B	E	R	B	Buena
Casas de Hualquén	Invierno	2016	E	B	E	E	B	E	R	B	Buena
Casas de Hualquén	Invierno	2018	IN	B	E	E	E	E	R	B	Insuficiente
Laguna Verde	Primavera	2015	E	E	E	E	E	E	E	E	Excepcional
Laguna Verde	Invierno	2016	E	E	E	E	E	E	E	E	Excepcional
Laguna Verde	invierno	2017	E	E	E	E	E	E	E	E	Excepcional
Laguna Verde	Invierno	2018	E	E	E	E	E	E	E	E	Excepcional
Hierro Viejo	Invierno	2018	E	E	E	E	E	E	E	B	Excepcional
Hierro Viejo Centro	Invierno	2018	E	E	E	E	B	S.I.	E	B	S.I.
La Canela	Primavera	2015	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
La Canela	Invierno	2016	E	E	E	E	E	E	E	E	Excepcional
La Canela	Invierno	2018	IN	E	E	E	E	E	E	E	Insuficiente
La Viña-La Vega	Invierno	2018	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
San José	Primavera	2015	E	E	E	E	B	E	E	B	Buena
San José	Invierno	2016	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
San José	Invierno	2018	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
La Mora	Invierno	2018	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
Valle de los Olmos	Primavera	2015	E	E	E	E	E	R	E	B	Regular
Valle de los Olmos	Invierno	2016	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
Valle de los Olmos	Invierno	2017	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
Valle de los Olmos	Invierno	2018	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
El Sobrante	Primavera	2015	E	E	E	E	B	E	E	E	Buena
El Sobrante	Invierno	2017	IN	E	E	E	E	E	E	E	Insuficiente
Rosa de Colmo	Invierno	2016	E	E	E	E	B	E	E	B	Buena
Rosa de Colmo	Primavera	2016	E	E	B	E	B	E	E	B	Buena

Nombre Pozo	Estacionalidad	Año	SDT (mg/L)	CL (mg/L)	SO4 (mg/L)	Mg (mg/L)	NO3 (mg/L)	As (mg/L)	Na (mg/L)	Ca (mg/L)	ICA general
Lo Abarca	Primavera	2015	E	E	B	E	B	E	E	B	Buena
Lo Abarca	Invierno	2016	E	E	B	E	R	E	E	B	Regular
Lo Abarca	Invierno	201	E	E	E	E	E	E	E	B	Regular

S.I.: No se cuenta con el valor del parámetro para calcular el índice general de calidad.