DEPTO. CONSERVACIÓN Y
PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS
PROCESO N°12289288

MINUTA: DCPRH Nº /22

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

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

SANTIAGO, 30 de agosto de 2018

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 hoya 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 (DCPRH). 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 de los recursos hídricos 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 9 regiones con acuíferos delimitados[1] 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 y Coquimbo, resultando las siguientes publicaciones: Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la Región Lib. Bernardo O'Higgins" (S.D.T. N°368 de 2015 y S.D.T N°383 de 2016); "Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas en la región Metropolitana – Complementario Diagnóstico Plan Maestro de Recursos Hídricos Región Metropolitana de Santiago" (S.D.T. N° 390 de 2016); "Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la región de Valparaíso" (S.D.T. N° 382 de 2016); "Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la región de Coquimbo" (S.D.T. N° 397 de 2017)[2]. Durante el año 2017 se ejecutó el diagnóstico de la región del Maule (SDT N°409/2018). 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 asignó un código

[1] A la fecha de elaboración del Diagnóstico y desafíos de la red de calidad de aguas subterráneas 9 regiones contaban con delimitación de acuíferos, a mencionar: Arica y Parinacota, Tarapacá, II, Copiapó, Coquimbo, Valparaíso, Libertador Bernardo O'Higgins y Maule.

[2] Los diagnósticos de calidad de agua realizados se encuentran disponibles en el catálogo bibliográfico de la DGA (http://sad.dga.cl/) ingresando el S.D.T.

BNA[3], el cual permite almacenar la información de calidad de los seguimientos que se realicen. A la fecha se han codificado 482 pozos APR y se han realizado tres informes de seguimientos de la calidad; región del Libertador Bernardo O'Higgins (Minuta N°20/2017)[4], región de Coquimbo (Minuta N°19/2018) y región de Valparaíso (Minuta N°37/2017).

En el caso particular del "Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la región de Valparaíso"[5] (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)[6]. 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 un seguimiento a estos sectores acuíferos lo cual quedó reflejado en la Minuta DCPRH N°37/2017, y nuevamente el año 2017 se realizaron nuevos muestreos de esos sectores acuíferos, considerando para el último seguimiento 10 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 y 2017. Identificar su calidad respecto al uso potable y en riego 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 2017 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 fisicoquímicos[7] de las fuentes de los pozos APR de los cuales se hizo el seguimiento (Figura 1) y se evalúa la calidad del agua utilizando como criterio el potencial de 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

[3] 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.

[4] Las minutas pueden ser consultadas en el catálogo bibliográfico de la DGA: http://sad.dga.cl/

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

[6] 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).

[7] Las metodologías analíticas, límites de detección de cada técnica y los laboratorios que realizaron los análisis se detallan en la Tabla 11 del Anexo.

referencial pues el uso potable del agua como tal es fiscalizable sólo en la red de distribución, posterior a un tratamiento del agua.

Posterior a este análisis se calcula e interpreta el Índice de calidad general, detallado en la sección 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	Provincia	Comuna	Acuífero	SHAC	Este (wgs84 H19)	Norte (wgs84 H19)	N° Campañas	Tratamiento
1	Valle de los Olmos	Petorca	Petorca	Petorca	Sector 3 -Rio del Sobrante	328532	6434014	3	Sin Información
2	Laguna Verde	Valparaíso	Valparaíso	Estero Laguna Verde	Estero Laguna Verde	253019	6333098	3	Filtro+ cloración
3	Campiche	Valparaíso	Puchuncaví	Estero Puchuncaví	Estero PuchuncaVÍ	272380	6375328	3	Filtro+ cloración
4	Lo Abarca	San Antonio	Cartagena	Estero Cartagena	Cartagena Zárate	263500	6287369	3	Sin Información
5	Cuncumén	San Antonio	San Antonio	Maipo Desembocadura	Melipilla	275674	6259993	3	2 Filtros Fe/Mn automáticos
6	Mundo Nuevo	Valparaíso	Casablanca	Casablanca	La Vinilla-Casablanca	280665	6307728	3	Sin Información
7	Pueblo de Indios	Quillota	Quillota	Aconcagua	Acuífero 7 - Quillota	292088	6357668	3	Cloración
8	Los Maitenes	Quillota	Limache	Aconcagua	Acuífero 9 - Limache	291493	6346528	3	Filtro+ Cloración
9	Lliu Lliu	QUILLOTA	LIMACHE	ACONCAGUA	Acuífero 9 - Limache	292775	6339557	2	Sin Información
10	El Sobrante	PETORCA	PETORCA	PETORCA	Sector 3-Río del Sobrante	332090	6433081	2	Sin Información

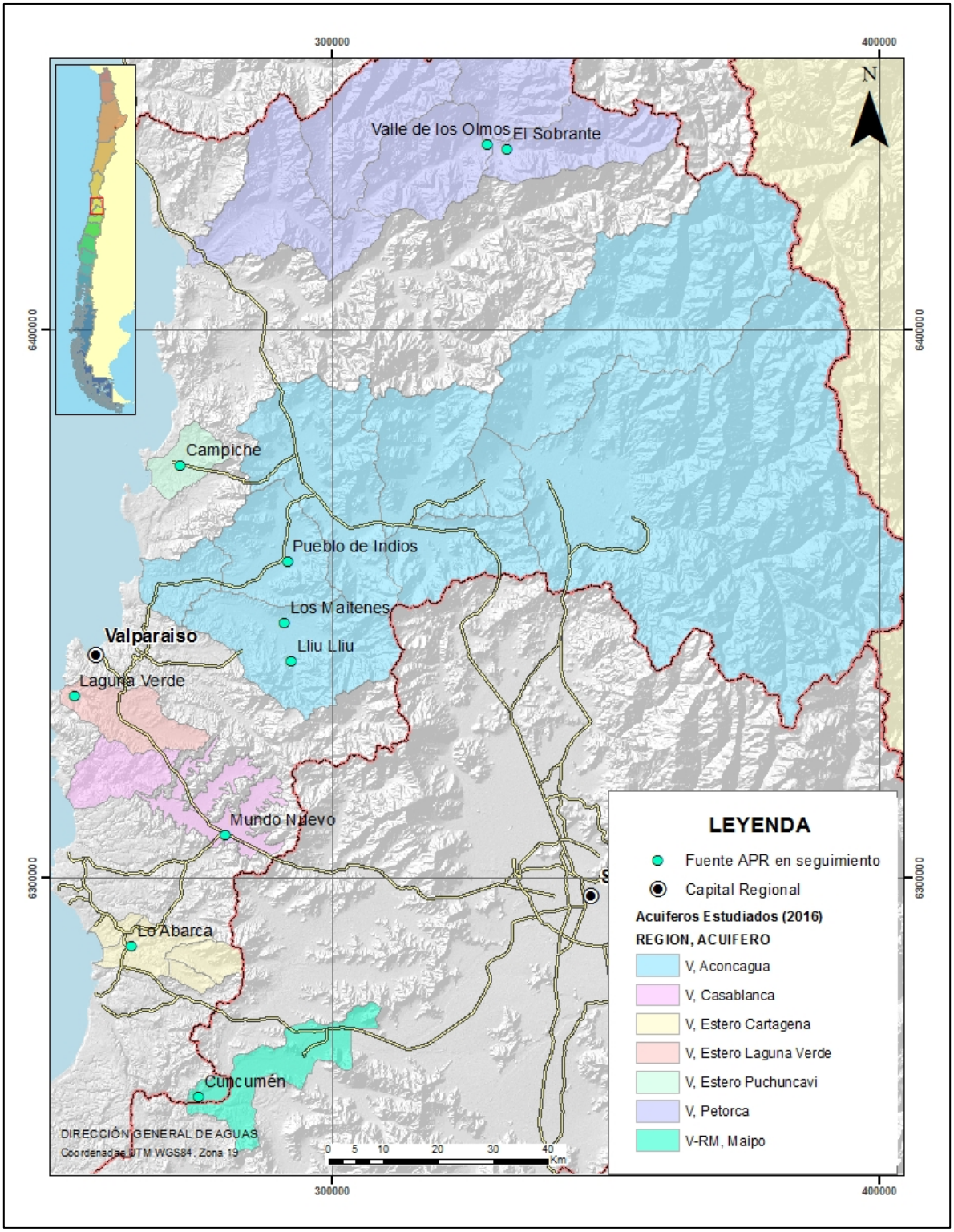


Figura 1. Ubicación de fuentes de pozos APR en seguimiento de la región de Valparaíso, 2017.

4. Resultados

4.1. Parámetros de terreno

La conductividad específica[8] 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 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 disuelta 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 se caracteriza por mantenerse entre los 199 y 836 uS/cm en la mayoría de los SHAC durante los años 2015 a 2017, identificándose 3 SHAC que registraron valores mayores en el mismo periodo, a mencionar: Estero Puchuncaví (APR Campiche en 2015 con 2096 uS/cm), Estero Cartagena (APR Lo Abarca en 2016 con 1841 uS/cm) y Melipilla (APR Cuncumén en 2016 con 2208 uS/cm.

A continuación se estableció un análisis basado en la calidad del agua respecto a su uso en riego considerando la conductividad específica y las recomendaciones establecida en la NCh 1333/78.

En la Tabla 2 se observan 4 SHAC donde el agua se caracteriza por presentar una mezcla de calidades; Estero Puchuncaví, Estero Cartagena, Acuífero 9 – Limache y Acuífero 7 - Quillota. Los SHAC Estero Puchincaví (APR Campiche) y Estero Cartagena (APR Lo Abarca) presentan durante 2015 y 2016 un agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos (1500< c ≤3000 uS/cm) y en el año 2017 un agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles (750< c ≤1500 uS/cm). El SHAC Acuífero 9 – Limache posee un agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales en su uso (<750 uS/cm) (APR Los Maitenes 2017, y APR Lliu Lliu Alto entre 2015 y 2017), y se observa también un agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos (1500< c ≤3000 uS/cm) (APR Los Maitenes 2015 y 2016). En el Acuífero 7 – Quillota se identificó un agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales en su uso (<750 uS/cm) (APR Pueblo de Indios 2015), un agua de menor calidad donde se pueden tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles (750< c ≤1500 uS/cm) (APR Pueblo de Indios 2016 y 2017).

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

[8] 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.

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).

Respecto a la NCh 1333/78 para uso en riego, el contenido de sólidos disueltos totales en los SHAC Melipilla (APR Cuncumén), Estero Puchuncaví (APR Campiche) indicaría que en todo el periodo de estudio (2015-2017) el uso de esta agua pudo tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos (1000< s ≤2000 mg/L).

Los SHAC Sector 3 – Río del Sobrante, Acuífero 9- Limache, y Estero Cartagena presentaron calidades compuestas respecto a los sólidos disueltos totales. El SHAC Sector 3 – Río del Sobrante abarcó tres categorías de calidad; aquella con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales (≤500 mg/L) (APR Valle Los Olmos 2016 y 2017, y El Sobrante 2015); aquella que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles (1000< s ≤2000 mg/L) (APR Valle de los Olmos 2015); e incluso superando a la de un agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos (2000< s ≤5000 mg/L) (APR El Sobrante 2017). Respecto a la última fuente de APR mencionada, se destaca el valor de 6194 mg/L de sólidos disueltos totales en 2017 (Tabla 2), el cual no se asemeja con la magnitud del valor registrado el año 2015, ni con las concentraciones de cloruro y sulfatos. Respecto a esto último se identifica además que el balance iónico de la muestra indica un valor de 10%, no siendo satisfactoria la calidad del resultado. Por estos motivos se solicita utilizar el valor del año 2017 con discreción y siempre comparando con los resultados del año 2015.

El SHAC Acuífero 9 – Limache presenta un agua con dos calidades; una donde generalmente no se observarán efectos perjudiciales (≤500 mg/L) (APR Los Maitenes 2015 y 2016, y Lliu Lliu Alto 2015 y 2017), y otra que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles (1000< s ≤2000 mg/L) (APR Los Maitenes 2017). En el SHAC Estero Cartagena el año 2016 (APR Lo Abarca) se aprecia un agua cuyo uso puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos (1000< s ≤ 2000 mg/L), mientras que los años 2015 y 2017 se observa un agua de mejor calidad con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales (s≤ 500 mg/L) (Tabla 2).

Respecto a la NCh 409/05, se observa que sólo los SHAC Melipilla (APR Cuncumén 2017) y Sector 3 – Río del Sobrante (APR El Sobrante 2017) registraron valores sobre la recomendación (>1500 mg/L).

Respecto al pH, los valores obtenidos en las campañas del 2015 al 2017 para la mayoría de los SHAC se ubicaron de forma general en rangos neutros (6,5 – 7,8 unidades), registrando valores moderadamente ácidos en el SHAC Estero Cartagena el año 2015 (APR Lo Abarca 2016) (Hounslow, 1995) (Tabla 2). No obstante lo señalado, se observa que en general calidad del agua es adecuada para su uso en riego (NCh 1333/78) y potable (NCh 409/05), sin identificarse cambios abruptos que indiquen una perturbación química.

Los valores de potencial de reducción en los distintos SHAC indican valores entre 21 y 670 mV, característicos de ambientes más bien oxidantes (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).

Finalmente, los SHAC Estero Laguna Verde (APR Laguna Verde) y La Vinilla-Casablanca (APR Mundo Nuevo) no presentaron calidad cuestionable respecto a la conductividad específica, sólidos disueltos totales y pH para uso en riego (NCh 1333/78) en las tres campañas.

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	Fecha Muestreo	Tem.(°C)	Cond.específica (uS/cm)	SDT (mg/L)	pH (Unidades)	Pot.Redox (mV)	NE (m)	ND(m)	Prof. pozo (m)
1	Laguna Verde	16/11/2015	17,5	481	287,0	7,08	76	3,60	10,54	25,0
		01/09/2016	17,0	525	186,0	6,80	21	S.I.	8,48	25,0
		30/06/2017	17,8	501	399,0	7,38	112	S.I.	S.I.	25,0
2	Campiche	17/11/2015	16,1	2096	1168,0	6,90	302	3,60	4,30	8,0
		07/09/2016	15,6	2055	1362,0	6,83	258	4,13	3,97	8,0
		05/07/2017	14,0	1094	1071,0	6,92	102	4,02	4,67	8,0
3	Lo Abarca	13/11/2015	18,5	1570	865,0	6,86	379	5,03	11,30	30,0
		06/09/2016	16,0	1841	1168,0	**6,40**	262	4,80	21,20	30,0
		29/06/2017	16,2	1291	761,5	7,26	318	S.I.	S.I.	30,0
4	Cuncumén	13/11/2015	16,9	2040	1128,0	6,80	349	4,00	1,96	36,0
		06/09/2016	16,0	2208	1484,0	7,09	231	1,75	2,60	36,0
		29/06/2017	17,2	1988	**1560,0**	7,19	309	S.I.	S.I.	36,0
5	Mundo Nuevo	10/11/2015	17,0	411	228,0	7,10	411	16,4	*	30,0
		18/10/2016	18,1	470	352,0	7,22	288	18,20	19,30	30,0
		30/06/2017	18,5	453	320,0	7,44	392	S.I.	21,5	30,0
6	Pueblo de Indios	12/11/2015	18,3	710	398,0	6,91	631	3,60	5,43	40,0
		05/09/2016	17,0	811	537,0	6,90	490	3,05	5,40	40,0
		03/07/2017	16,9	763	671,0	7,42	618	3,05	4,81	40,0
7	Los Maitenes	10/11/2015	18,3	836	475,0	7,28	329	S.I.	S.I.	26,0
		05/09/2016	18,0	795	461,2	7,02	159	1,62	3,55	24,0
		30/06/2017	17,7	708	740,0	7,35	302	S.I.	S.I.	26,0
8	Lliu Lliu Alto	12/11/2015	20,5	199	168,0	7,10	207	1,35	1,35	10,0
		30/06/2017	16,9	245	212,0	7,18	230	3,0	3,0	10
9	Valle de los Olmos	18/11/2015	16,7	622	670,0	6,69	S.I.	2,50	2,56	20,0
		08/09/2016	15,0	418	287,2	7,40	262	2,90	2,92	12,0
		04/07/2017	14,3	695	302,0	7,18	183	3,07	3,51	20,0
10	El sobrante	18/11/2015	15,9	268	160,0	6,73	370	3,80	3,87	15,0

N°	Nombre Pozo	Fecha Muestreo	Tem.(°C)	Cond.específica (uS/cm)	SDT (mg/L)	pH (Unidades)	Pot.Redox (mV)	NE (m)	ND(m)	Prof. pozo (m)
		04/07/2017	15,9	270	**6194,0**	7,54	152	4,3	5,12	20,0

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.

*De acuerdo a lo señalado en la ficha de terreno de este pozo para la campaña indicada se observa el siguiente comentario: "Pozómetro llega a 28 metros sin presencia de agua (bomba extrajo toda el agua en la primera medición)". Considerando esta información se elimina el dato de nivel dinámico por no ser representativo en comparación a las demás campañas realizadas.

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 fuente de APR entre los años monitoreados (2015 al 2017, Figura 2), se observa que la mayoría de estos mantiene un agua sulfatada y/o bicarbonatada, cálcica y/o magnésica, luego se observa un grupo de aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas, y finalmente se observa una fuente de APR que posee aguas bicarbonatadas sódicas entre las campañas (Anexo Figura 5). Respecto al origen de los aniones[9], 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 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 cationes[10], el calcio proviene de la disolución de calizas, dolomitas, yeso y anhidrita, ataque de feldespatos y otros silicatos cálcicos, disolución de cemento calcáreo de muchas rocas, 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 feldespatos 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).

No se percibe un cambio marcado entre la composición hidroquímica general del agua del año 2015 al 2017 (Tabla 3).

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

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

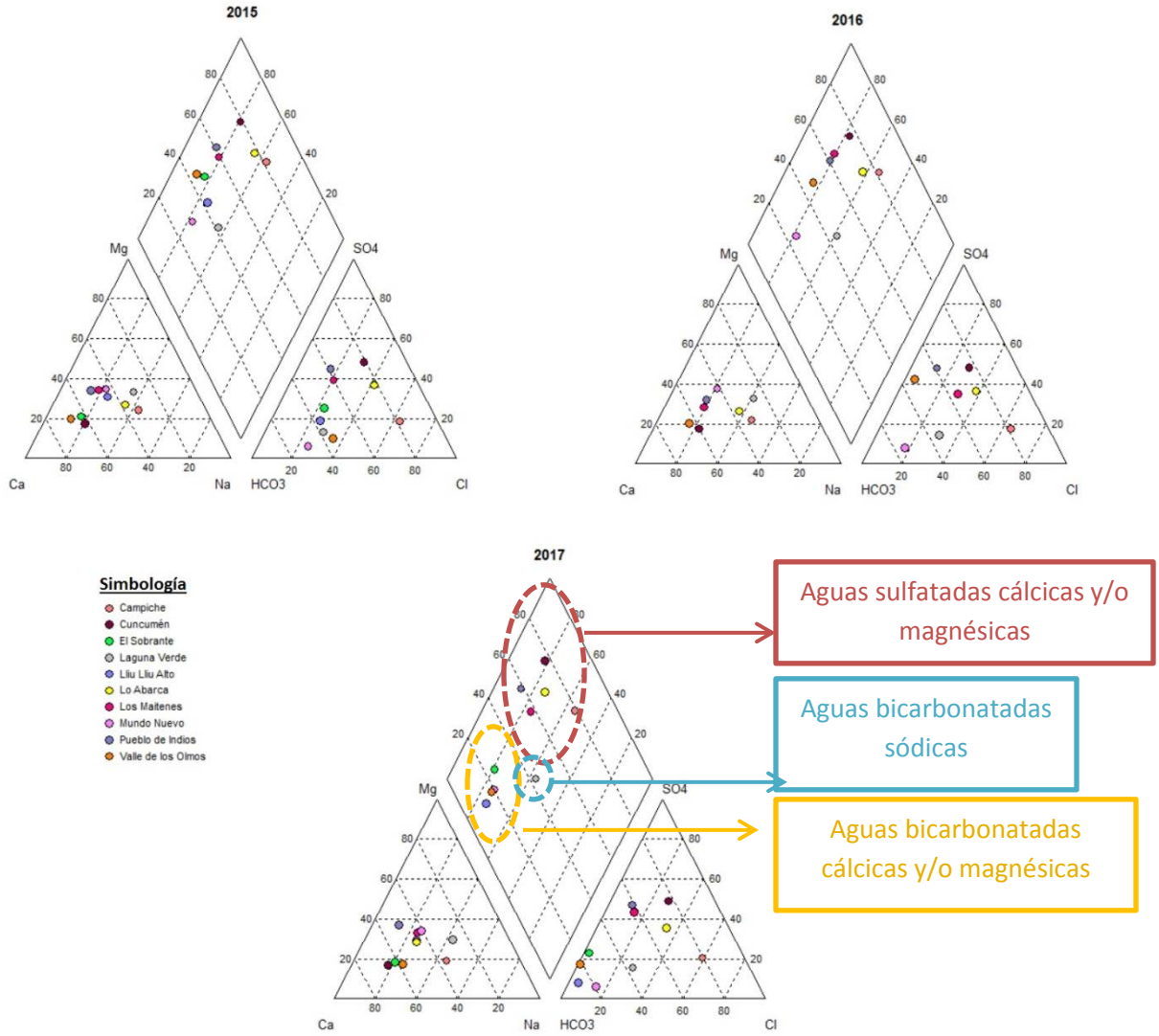


Figura 2. Diagramas de Piper de las campañas realizadas en el año 2015, 2016 y 2017 para las fuentes de los APR de la región de Valparaíso.

En el SHAC Melipilla (APR Cuncumén 2015, 2016 y 2017) el contenido de sulfato superó el límite referencial para uso potable de agua de la NCh 409/05 (500 mg/L). En cuanto al uso del agua en riego, el límite señalado por la NCh 1333/78 para el sulfato (250 mg/L) fue superado el SHAC Estero Cartagena (APR Lo Abarca 2015 y 2016) y Melipilla (APR Cuncumén 2015, 2016 y 2017).

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 y 2016). 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, 2016 y 2017), Estero Cartagena (APR Lo Abarca 2015 y 2016) y Melipilla (APR Cuncumén 2015, 2016 y 2017) (Tabla 3).

Respecto al sodio porcentual[11], los valores calculados señalan que en general de los 8 SHAC muestreados posee 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	Fecha Muestreo	Cl (mg/L)	SO4 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	%Na
1	Laguna Verde	16/11/2015	59,5	37,4	207,2	47,8	2,3	35,9	23,1	68,1
		01/09/2016	60,1	38,2	183,0	52,0	2,7	29,9	22,0	71,8
		30/06/2017	58,7	45,3	206,1	68,1	2,4	38,5	25,0	73,9
2	Campiche	17/11/2015	**506,0**	201,2	252,5	230,0	3,0	153,0	69,2	74,8
		07/09/2016	**475,5**	177,1	233,6	227,0	3,4	142,0	58,4	76,5
		05/07/2017	364,4	172,7	219,4	178,8	2,7	124,6	40,0	76,3
3	Lo Abarca	13/11/2015	250,0	301,5	226,7	155,6	3,7	145,7	63,6	68,0
		06/09/2016	245,2	322,9	292,0	179,0	4,9	151,0	67,0	69,9
		29/06/2017	157,7	223,2	242,5	65,7	2,3	101,4	38,6	57,7
4	Cuncumén	13/11/2015	272,8	**580,4**	317,3	121,0	6,9	325,8	55,6	49,8
		06/09/2016	247,2	**572,4**	352,0	132,0	7,9	314,0	56,7	52,4
		29/06/2017	214,3	**506,2**	297,2	92,7	7,0	295,5	46,1	45,9
5	Mundo Nuevo	10/11/2015	36,5	12,6	175,0	25,9	2,3	43,5	21,9	51,9
		18/10/2016	22,0	14,9	164,0	22,9	1,8	38,4	21,1	51,2
		30/06/2017	19,9	11,8	182,5	28,5	1,0	39,6	20,5	57,1
6	Pueblo de Indios	12/11/2015	46,1	173,5	191,1	30,7	1,3	89,5	36,6	41,5
		05/09/2016	36,7	185,0	192,0	37,1	1,8	86,1	34,6	47,1
		03/07/2017	33,6	180,8	201,8	28,2	1,7	94,3	42,5	37,2
7	Los Maitenes	10/11/2015	69,5	179,8	233,2	46,6	1,5	102,4	45,1	47,7
		05/09/2016	89,8	143,5	183,0	38,1	2,3	91,3	30,5	47,9
		30/06/2017	46,3	189,2	234,4	58,9	2,0	92,3	43,5	55,2
8	Lliu Lliu Alto	12/11/2015	19,4	20,4	77,7	12,4	0,5	19,7	8,6	55,6
		30/06/2017	5,4	11,3	152,6	21,8	0,2	33,4	13,1	58,1
9	Valle de los Olmos	18/11/2015	91,6	35,7	249,3	21,7	4,6	102,8	18,2	35,0
		08/09/2016	7,9	83,9	131,0	15,9	0,6	52,3	10,9	44,0
		04/07/2017	4,2	48,7	198,6	23,4	0,9	60,6	12,0	50,1
10	El sobrante	18/11/2015	25,2	37,1	97,8	12,2	0,4	39,7	8,1	44,5
		04/07/2017	1,9	23,1	137,4	16,1	0,4	33,5	6,5	55,9

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

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

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

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 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).

De forma general se observa que las concentraciones de nitrato varían indistintamente entre campañas sin observarse aumentos o disminuciones marcadas. Espacialmente se aprecia que los SHAC Estero Laguna Verde (APR Laguna Verde), Estero Puchuncaví (APR Campiche), Acuífero 9 – Limache (APR Lliu Lliu Alto) y Sector 3-El Sobrante (APR El Sobrante y APR Valle de los Olmos) poseen menores concentraciones respecto a los demás SHAC, no identificándose cercanía entre unos y otros.

De acuerdo a las concentraciones de nitrato (Tabla 4) se observan que algunos SHAC muestran calidades compuestas, a mencionar Estero Cartagena, Melipilla, La Vinilla-Casablanca, Acuífero 7-Quillota, Acuífero 9 –Limache, y Sector 3 –El Sobrante. Se observan concentraciones de nitrato que no representan una alerta (<30 mg/L) en el Estero Cartagena (APR Lo Abarca 2017), en Melipilla (APR Cuncumén 2015) y en Acuífero 9 – Limache (APR Lliu Lliu Alto 2015 y 2017); valores de cercanos al umbral de agua potable (entre 30 y 49 mg/L) en Estero Cartagena (APR Lo Abarca 2015), Melipilla (APR Cuncumén 2017), Acuífero 9 – Limache (APR Los Maitenes 2017), La Vinilla-Casablanca (APR Mundo Nuevo 2017), Acuífero 7 – Quillota (APR Pueblo de Indios 2015) y en Sector 3 – El Sobrante (APR Valle de Olmos 2016); y valores que superan la recomendación para uso potable del agua de la NCh 409/05 (>50 mg/L) en Estero Cartagena (APR Lo Abarca 2016), Melipilla (APR Cuncumén 2016), Acuífero 9 – Limache (APR Los Maitenes 2015 y 2016), La Vinilla-Casablanca (APR Mundo Nuevo 2015 y 2016) y Acuífero 7-Quillota (APR Pueblo de Indios 2016 y 2017).

Como se mencionó anteriormente, la NCh 409/2005 establece como límite máximo para el nitrato una concentración de 50 mg/L, sin embargo para identificar cambios en aguas subterráneas atribuibles a una contaminación difusa se consideraron concentraciones de nitrato mayor a 30 mg/L.

Al comparar el nivel dinámico del agua respecto a las concentraciones de los distintos nutrientes en 2015, 2016 y 2017 no se observa una relación clara para este compuesto, encontrándose las mayores concentraciones distribuidas en distintas profundidades del agua desde la superficie (Tabla 4). No obstante lo descrito, también se debe contemplar la posibilidad de que los valores registrados puedan estar asociados a otros factores, como por ejemplo el uso del suelo, 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), nivel del agua subterránea, entre otros factores.

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-Delgado, Soler, Pawlowsky-Glahn, & Canals, 2005); (Soler, Canals, Goldstein, Otero, Antich, & Spangernber, 2002). Las concentraciones de amonio registradas no presentan diferencias notables entre las campañas de monitoreo 2015, 2016 y 2017, esto podría estar asociado al cambio del límite de detección entre 2016 y 2017[12] 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 y 2017 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 a lo recomendado por la NCh 409/05 (1,5 mg/L)[13].

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 los 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, y el SHAC Estero Laguna Verde que durante el 2016 alcanzó un valor de 0,80 mg/L (APR Laguna Verde).

Respecto del fosfato y amonio no se observó una agrupación particular de las concentraciones con la distancia del agua a la superficie (Tabla 4).

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.

N°	Nombre Pozo	Fecha Muestreo	NO3 (mg/L)	NH4 (mg/L)	PO4 (mg/L)	NE (m)	ND agua(m)
1	Laguna Verde	16/11/2015	1,60	0,01	0,10	3,60	10,54
		01/09/2016	<0,01	0,02	0,80	S.I.	8,48
		30/06/2017	0,137	<0,02	0,31	S.I.	S.I.
2	Campiche	17/11/2015	11,60	0,01	0,10	3,60	4,30
		07/09/2016	18,30	<0,01	0,30	4,13	3,97
		05/07/2017	17,89	<0,02	<0,06	4,02	4,67
3	Lo Abarca	13/11/2015	**43,00**	0,01	0,10	5,03	11,30
		06/09/2016	**111,10**	<0,01	<0,1	4,80	21,20
		29/06/2017	8,63	<0,02	<0,06	S.I.	S.I.

[12] 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.

[13] 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	Fecha Muestreo	NO3 (mg/L)	NH4 (mg/L)	PO4 (mg/L)	NE (m)	ND agua(m)
4	Cuncumén	13/11/2015	13,70	0,01	0,10	4,00	1,96
		06/09/2016	**54,60**	<0,01	<0,1	1,75	2,60
		29/06/2017	**36,251**	<0,02	0,09	S.I.	S.I.
5	Mundo Nuevo	10/11/2015	**59,40**	0,01	<0,1	2,65	28,00
		18/10/2016	**50,80**	0,07	0,20	18,20	19,30
		30/06/2017	**41,455**	<0,02	0,21	S.I.	21,5
6	Pueblo de Indios	12/11/2015	**32,90**	0,01	0,15	3,60	5,43
		05/09/2016	**66,00**	<0,01	0,25	3,05	5,40
		03/07/2017	**60,943**	<0,02	0,18	3,05	4,81
7	Los Maitenes	10/11/2015	**72,00**	0,01	0,13	S.I.	S.I.
		05/09/2016	**72,60**	<0,01	0,10	1,62	3,55
		30/06/2017	**40,658**	<0,02	0,40	S.I.	S.I.
8	Lliu Lliu Alto	12/11/2015	1,0	0,01	0,1	1,35	1,35
		30/06/2017	1,395	<0,02	0,12	3,0	3,0
9	Valle de los Olmos	18/11/2015	7,10	**5,4**	1,20	2,50	2,56
		08/09/2016	**33,10**	0,02	<0,1	2,90	2,92
		04/07/2017	24,116	<0,02	0,09	3,07	3,51
10	El sobrante	18/11/2015	14,0	0,01	0,1	3,80	3,87
		04/07/2017	3,202	<0,02	<0,06	4,3	5,12

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, cobalto, mercurio, molibdeno y níquel registraron valores bajo el límite de detección en todas las fuentes de APR monitoreadas (Anexo Tabla 5), por tanto se excluyen del análisis.

Respecto de los elementos que registraron al menos un valor sobre el límite de detección, a mencionar: arsénico, cobre, hierro, manganeso, plomo, selenio y zinc, no se aprecia de forma general un aumento (o disminución) en los valores registrados entre el 2015 y 2017 (Tabla 5).

Al comparar con la NCh 409/05 para uso potable, se observa que respecto al arsénico sólo el SHAC Sector 3 - Río del Sobrante (APR Valle de los Olmos 2015) registró concentraciones que superan la recomendación (0,01 mg/L). Respecto al hierro 6 SHAC superaron la concentración de referencia (0,3 mg/L) 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), Melipilla (APR Cuncumén 2016), Acuífero 9 – Limache (APR Lliu Lliu Alto 2015) y

Sector 3 – Río del Sobrante (APR Valle de los Olmos 2015 y 2017). Respecto al manganeso los SHAC que superaron los límites sugeridos por la NCh 409/05 (0,1 mg/L) fueron Estero Laguna Verde (APR Laguna Verde 2015, 2016 y 2017), Estero Puchincaví (APR Campiche 2015, 2016 y 2017), Estero Cartagena (APR Lo Abarca 2015, 2016 y 2017), Melipilla (APR Cuncumén 2015 y 2017), Acuífero 7 – Quillota (APR Pueblo de Indios 2016), Acuífero 9 – Limache (APR Lliu Lliu Alto 2015 y 2017), y Sector 3 – Río del Sobrante (APR Valle de los Olmos 2015) (Tabla 5).

Los demás parámetros mencionados en la NCh 409/05 analizados en este documento (cobre, plomo, selenio y zinc) no superaron los límites sugeridos en ningún SHAC.

Respecto a la NCh 1333/78, particularmente para su uso en riego, los SHAC Estero Puchuncaví (APR Campiche 2015), Estero Cartagena (APR Lo Abarca 2016) y Sector 3 – Río del Sobrante (APR Valle de los Olmos 2015) superaron el valor sugerido para hierro total (5 mg/L). Respecto al manganeso se observa que la mayoría de los SHAC superaron la concentración sugerida (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), Melipilla (APR Cuncumén 2015 y 2017), Acuífero 7 – Quillota (APR Pueblo de Indios 2016), Acuífero 9-Limache (APR Lliu Lliu Alto 2015 y 2017) y Sector 3 – Río del Sobrante (APR Valle de los Olmos 2015). Mundo nuevo fue el único SHAC donde no se superaron los valores sugeridos para manganeso (Tabla 5).

Las fuentes APR que cumplen tanto la NCh 409/05 como la NCh 1333/78 respecto a su contenido en metales y metaloides, y que por tanto tienen una mejor calidad para estos usos son las fuentes APR Mundo nuevo y Los Maitenes (Tabla 5).

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	Fecha Muestreo	As (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (mg/L)	Se (mg/L)	Zn (mg/L)
1	Laguna Verde	16/11/2015	<0,001	<0,02	**1,22**	**0,23**	<0,07	<0,001	<0,01
		01/09/2016	<0,001	<0,01	**0,97**	**0,27**	<0,02	<0,001	***
		30/06/2017	<0,001	<0,01	**1,40**	**0,26**	<0,02	<0,001	0,05
2	Campiche	17/11/2015	0,001	<0,02	**6,46**	**2,59**	<0,07	<0,001	0,02
		07/09/2016	<0,001	<0,01	**3,37**	**1,43**	<0,02	<0,001	***
		05/07/2017	<0,001	<0,01	**0,40**	**0,99**	<0,02	<0,001	0,02
3	Lo Abarca	13/11/2015	<0,001	<0,02	0,02	**0,79**	<0,07	<0,001	<0,01
		06/09/2016	<0,001	<0,01	**7,40**	**0,12**	0,03	<0,001	***
		29/06/2017	0,002	<0,01	0,26	**0,21**	<0,02	<0,001	0,07
4	Cuncumén	13/11/2015	0,003	<0,02	0,23	**1,76**	<0,07	<0,001	0,04
		06/09/2016	<0,001	<0,01	**3,59**	0,06	<0,02	<0,001	***
		29/06/2017	0,002	0,01	<0,02	**1,48**	<0,02	<0,001	0,08
5	Mundo Nuevo	10/11/2015	0,001	<0,02	0,05	<0,02	<0,07	<0,001	<0,01
		18/10/2016	<0,001	<0,01	0,03	<0,01	<0,02	<0,001	***
		30/06/2017	<0,001	<0,01	0,04	<0,01	<0,02	<0,001	0,13
6	Pueblo de Indios	12/11/2015	0,003	<0,02	<0,02	<0,02	<0,07	<0,001	<0,01
		05/09/2016	<0,001	<0,01	0,02	**1,07**	<0,02	0,001	***
		03/07/2017	0,002	<0,01	<0,02	<0,01	0,02	<0,001	0,07
7	Los Maitenes	10/11/2015	0,002	<0,02	0,15	<0,02	<0,07	<0,001	<0,01
		05/09/2016	0,001	<0,01	<0,02	<0,01	<0,02	<0,001	***
		30/06/2017	<0,001	0,02	0,06	<0,01	0,02	<0,001	0,08
8	Lliu Lliu Alto	12/11/2015	<0,001	<0,02	**0,79**	**0,79**	<0,07	<0,001	0,04
		30/06/2017	<0,001	<0,01	0,13	**0,58**	<0,02	<0,001	0,13
9	Valle de los Olmos	18/11/2015	**0,026**	<0,02	**5,56**	**6,32**	<0,07	<0,001	0,10
		08/09/2016	<0,001	<0,01	0,02	0,02	<0,02	<0,001	***
		04/07/2017	<0,001	<0,01	**0,87**	<0,01	0,02	<0,001	0,02
10	El Sobrante	18/11/2015	0,01	<0,02	<0,02	<0,02	<0,07	<0,001	<0,01
		04/07/2017	<0,001	<0,01	0,02	<0,01	0,02	<0,001	0,02

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

Negrita: 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 3 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.

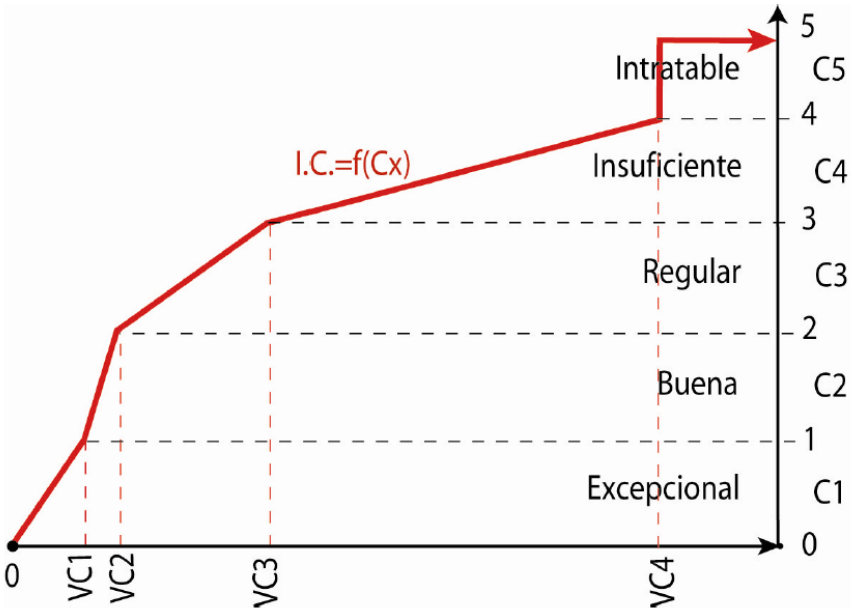


Figura 3. Cálculo de índice de calidad mediante interpolación lineal entre clases[14].

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

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[15]	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 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	IC general es el peor IC individual de todos los parámetros	$Si\ 1 < \ IC_{individual} \ \leq 4$

[15] 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).

Condición IC individual	Resultado IC general	Expresión
Bueno, Regular o Insuficiente		$IC_{general} = Max\ (IC_{individual})_{i=parámetro}$
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	$Si\ 1 \geq IC_{individual}$ $IC_{general} = \frac{\sum_{i=parámetro} IC_{individual}}{n^{\circ}\ parámetros}$

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 en reiteradas ocasiones la calidad dominante es la Regular. La fuente APR Cuncumén presentó una calidad Regular a través de las tres campañas, la cual estaría asociada a algunos macroelementos (cloruro, sulfato y calcio) y sólidos disueltos totales durante el 2015 y 2016, pero desmejorando respecto a nitrato el año 2017 (Tabla 13).

Las fuentes APR que han mejorado su calidad a través de las campañas fueron Campiche, Mundo Nuevo, Los Maitenes y Valle de los Olmos, pues de tener una calidad Regular el año 2015 y 2016, pasaron a tener una calidad Buena el 2017 (Tabla 9). En particular, los casos a tener en cuenta son los de las fuentes APR Mundo Nuevo y APR Los Maitenes por mejorar la calidad respecto al nitrato, y del APR Valle de los Olmos por mejorar respecto al arsénico (Tabla 13).

Aquellas fuentes APR que han mermado su calidad son el APR Pueblo de Indios y APR El Sobrante. En el APR Pueblo de Indios la calidad pasó de Buena en 2015 a Regular en 2016 y 2017, situación atribuida a las concentraciones de nitrato, mientras que en el APR El Sobrante se observa que en 2015 la calidad se mostraba Buena, decayendo a Intratable por la concentración de los sólidos disueltos totales en 2017 (el año 2016 no se hizo seguimiento a esta fuente APR) (Tabla 13). Se reitera que el análisis de sólidos disueltos totales realizado el año 2017 presentó desviaciones respecto al estándar de aceptación de este estudio (4.1 Parámetros de terreno), por lo tanto se recomienda realizar su uso con discreción y siempre comparándolo con los valores de monitoreos anteriores.

Se observa además que la fuente de APR Lo Abarca no presenta una tenencia marcada en calidad cambiando de Buena en 2015 a Regular el 2016 y finalmente a Excepcional el 2017. La disminución de la calidad a Regular, se debe a un aumento en la concentración de nitrato durante el año 2016, situación que se revierte el año 2017 (Tabla 13).

Por último se observa que la fuente APR Laguna Verde y potencialmente el APR Lliu Lliu Alto (recordar que el año 2016 no se realizó seguimiento sobre esta fuente) mantuvo una calidad Excelente a través de las campañas (Tabla 9).

Tabla 9. Evolución temporal de los Índices de calidad general de aguas entre los años 2015 y 2017 en las fuentes APR en seguimiento de la región de Valparaíso.

N°	Nombre Pozo	2015	2016	2017
		Primavera	Invierno	Invierno
1	Laguna Verde	Excepcional	Excepcional	Excepcional
2	Campiche	Regular	Regular	Buena
3	Lo Abarca	Buena	Regular	Excepcional
4	Cuncumén	Regular	Regular	Regular
5	Mundo Nuevo	Regular	Regular	Buena
6	Pueblo de Indios	Buena	Regular	Regular
7	Los Maitenes	Regular	Regular	Buena
8	Lliu Lliu Alto	Excepcional	S.I.	Excepcional
9	Valle de los Olmos	Regular	Buena	Buena
10	El Sobrante	Buena	S.I.	Intratable

S.I.: Sin información por no incluirse en el seguimiento.

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 las fuentes de los APR en seguimiento, aquellos que presentaron la mayor cantidad de parámetros desviados (6 en total) respecto a una o ambas normativas por más de una campaña fueron los APR Campiche (NCh 1333: Conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, cloruro, sodio porcentual, hierro y manganeso, y NCh 409: cloruro, hierro y manganeso) y Lo Abarca (NCh 1333: Conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, cloruro, sulfato, sodio porcentual, y NCh 409: manganeso) y Cuncumén (NCh 1333: Conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, cloruro, sulfato, sodio porcentual, manganeso y NCh 409: manganeso).

Se deben destacar las fuentes APR Mundo Nuevo, Pueblo de Indios y los Maitenes por presentar valores sobre lo recomendado por la NCh 409/05 durante dos de las tres campañas realizadas.

Respecto de las fuentes de APR restantes, se destaca que los APR Valle de los Olmos y El Sobrante, ambos del SHAC Sector 3 - Río del Sobrante, presentaron sólo una desviación respecto a las recomendaciones de la NCh 1333/78, identificada como porcentaje de sodio.

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 2017 para el uso más sensible; el consumo humano. Los resultados indican de forma general que la calidad predominante de las fuentes APR es Regular, existiendo algunos matices con mejoras de la calidad de la fuente (APR Campiche, APR Mundo Nuevo, APR Los Maitenes y APR Valle de los Olmos) y empeoramiento de esta (APR Pueblo de Indios y APR El Sobrante). Se destaca además la calidad de la fuente del APR Laguna Verde, la cual se mostró Excepcional durante las tres campañas de monitoreo.

De acuerdo a los resultados del Índice de calidad calculados se seleccionan las fuentes APR Lo Abarca, Cuncumén, Pueblo de Indios y El Sobrante para ser considerados en el próximo informe de Seguimiento de calidad de agua subterránea. Esto se establece de acuerdo a los lineamientos del programa Plurianual 2018-2022 de calidad de agua subterránea (Minuta DCPRH N°17/2018) y al resultado de sólidos disueltos totales obtenido en la fuente APR El Sobrante durante 2017.

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.

6. Recomendaciones

- Para los próximos informes de seguimiento es necesario contar con los datos históricos de calidad de agua en la fuente de los APR analizados en este informe, en caso de que estos existan. Esta información viene a nutrir, validar o incluso dar continuidad al análisis de la calidad del agua realizado en este informe, para ello se solicitara a la DOH Regional compartir estos datos en un plazo de 60 días corridos una vez tomada conocimiento de este informe.
- Se recomienda a la Dirección Regional recopilar información sobre la profundidad de las cribas de los pozos en seguimiento para así tener claridad de la profundidad a la que se extrae el agua, como plazo 60 días una vez tomada conocimiento de este informe.
- Se encomienda a la Dirección Regional analizar la factibilidad de incorporar los pozos donde se recomienda hacer seguimiento de acuerdo a la Tabla 10, o en su defecto mantener el seguimiento de aquellos pozos que registraron valores fuera de los límites recomendados por la NCh 1333/78 y NCh 409/05. Especial énfasis se hace en el monitoreo de la fuente APR el Sobrante.
- Si la Dirección Regional no puede incorporar estos pozos para seguimiento se recomienda externalizar su monitoreo el próximo año 2019, así mismo se recomienda analizar la

calidad del agua en los SHAC con una menor cantidad de información, como se señala en la Figura 4. Para este fin se entrega una lista tentativa de fuentes de pozos APR a considerar (Tabla 10). Esta lista contiene un pozo APR por SHAC con menos información de calidad de agua y aquellos donde se recomienda hacer un seguimiento. Para aquellos SHAC donde no se identificaron pozos APR no se realizaron sugerencias de pozos.

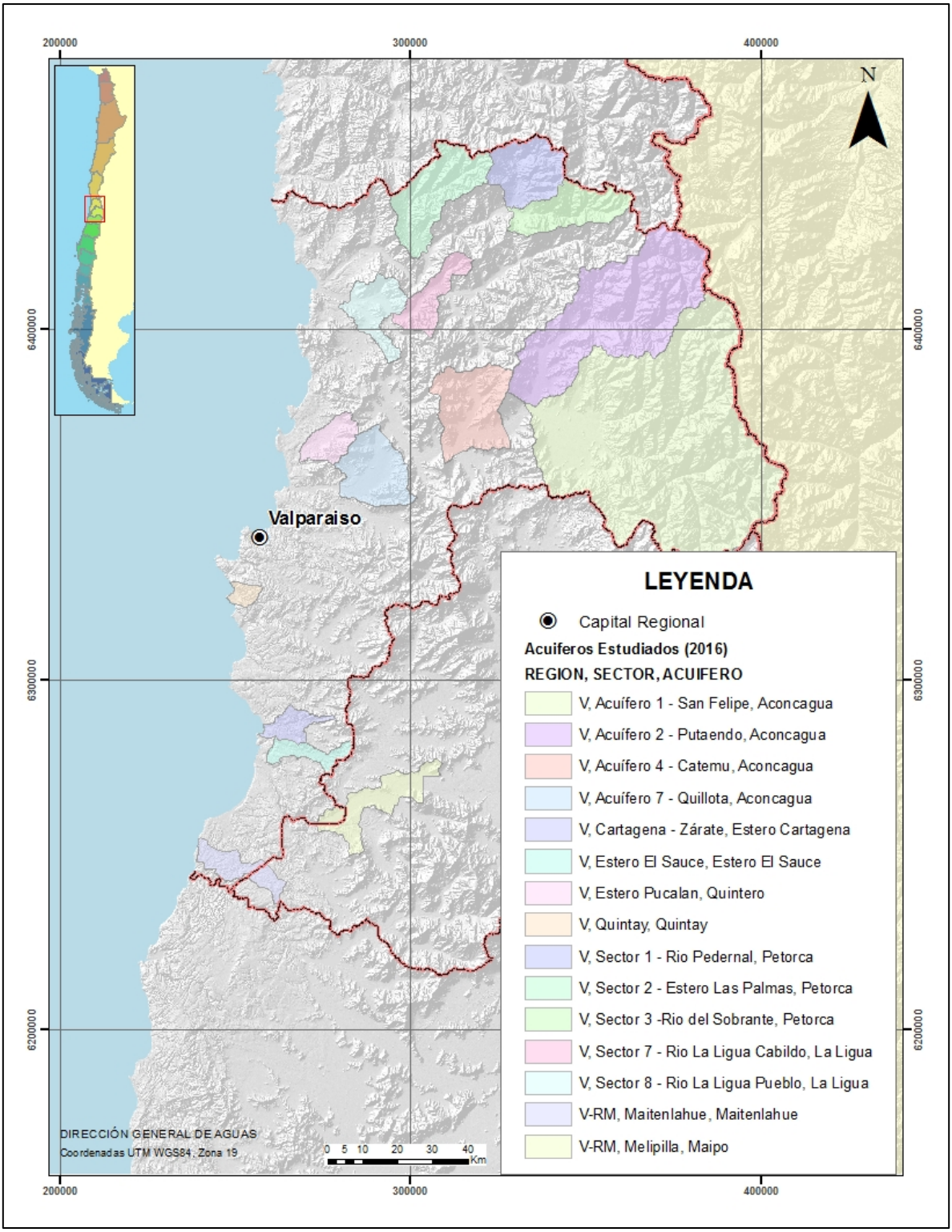


Figura 4. Sectores acuíferos de la región de Valparaíso recomendados para futuros estudios.

Tabla 10. Lista de fuente de APR sugeridos en sectores acuíferos con menos información o que requieren seguimiento.

N°	Nombre APR	Sector Acuífero	Acuífero	Coordenadas wgs 84, Huso 19		
				Norte	Este	Origen necesidad de información
1	Lo Abarca	Cartagena Zárate	Estero Cartagena	263500	6287369	Requiere seguimiento
2	Cuncumén	Melipilla	Maipo Desembocadura	275674	6259993	Requiere seguimiento
3	Pueblo de Indios	Acuífero 7 - Quillota	Aconcagua	292088	6357668	Requiere seguimiento
4	El Sobrante	Sector 3 – Río del Sobrante	Petorca	332090	6433081	Requiere seguimiento
5	Riecillo	Acuífero 1 - San Felipe	Aconcagua	375640	6356890	Levantar información
6	Quebrada de Herrera	Acuífero 1 - San Felipe	Aconcagua	6377914	339684	Levantar información
7	Cerrillos (Cerrillos)	Acuífero 4 - Catemu	Aconcagua	6381150	319320	Levantar información
8	Valle Alegre	Estero Pucalan	Quintero	6366995	272162	Levantar información
9	Chalaco	Sector 1 - Río Pedernal	Petorca	6438200	331600	Levantar información
10	Malvilla	Estero El Sauce	Estero El Sauce	6280670	265400	Levantar información
11	El Asiento	Acuífero 2 -Putaendo	Aconcagua	6381669	334000	Levantar información
12	Palquico	Sector 2 - Estero Las Palmas	Petorca	6429460	299370	Levantar información
13	Rinconada de Guzmanes (Guzmanes)	Acuífero 2 -Putaendo	Aconcagua	6394130	336212	Levantar información
14	Valle Hermoso (Valle Hermoso-Quebrada el Pobre)	Sector 8 - Río La Ligua Pueblo	La Ligua	6409290	293390	Levantar información
15	San Enrique	Maitenlahue	Maitenlahue	6244480	248950	Levantar información
16	Quintay	Quintay	Quintay	6324292	249445	Levantar información
17	La Higuera	Sector 7 - Río La Ligua Cabildo	La Ligua	6403760	298780	Levantar información

DANIELA FREDES MUÑOZ

ANALISTA DE DESARROLLO AMBIENTAL

DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

DIEGO SAN MIGUEL CONEJO
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*.

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/legistlacionynormas/normas/Reglamentos/Reglamento_Aguas_Subterraneas.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 Acquatic 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.

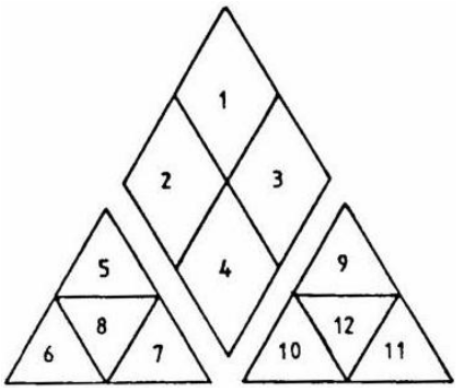
Soler, A., Canals, A., Goldstein, L., Otero, L., Antich, N., & Spangernber, J. (2002). Sulphur and Strontium isotope composition of the Llobregat River (NE Spain): Tracers of natural and anthropogenic chemicals in stream waters. *Water, Air & Soil Pollution, 136*(1-4), 207-224.

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 fertitilidad.* Barcelona: Reverté.

Wetzel, R. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems.* San Diego: Elsevier.

7. Anexo



1. Aguas sulfatadas y/o cloruradas, cálcicas y/o magnésicas.
2. Aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas.
3. Aguas cloruradas y/o sulfatadas sódicas.
4. Aguas bicarbonatadas sódicas.
5. Aguas magnésicas.
6. Aguas cálcicas.
7. Aguas sódicas.
8. Aguas magnésicas, cálcicas y sódicas.
9. Aguas sulfatadas.
10. Aguas bicarbonatadas.
11. Aguas cloruradas.
12. Aguas sulfatadas, bicarbonatadas y cloruradas.

Figura 5. Clasificación de los diversos tipos de agua según el Diagrama de Piper.

Tabla 11. Laboratorios, metodología analítica y límites de detección involucrados en cada análisis realizado a las muestras de APR de la región de Valparaíso.

Parámetros	Campaña	Laboratorio	Metodología	LD (mg/L)
Conductividad eléctrica	2015-2016	DGA	Nch 411/3 Of. 2014	-
Temperatura agua	2015-2016	DGA	Nch 411/3 Of. 2014	-
pH	2015-2016	DGA	Nch 411/3 Of. 2014	-
Potencial Redox	2015-2016	Analab	S.I.	-
SDT	2015	Analab	NCh 409 Manual SISS-2007	5
	2016			
	2017	SGS	SM 2540 C Ed. 22, 2012	
Cl	2015	Analab	ME-28-2007	1
	2016			
	2017	SGS	SM 4110 B Ed. 22, 2012	0,02
SO4	2015	Analab	ME-30-2007	1
	2016			
	2017	SGS	SM 4110 B Ed. 22, 2012	0,2

Parámetros	Campaña	Laboratorio	Metodología	LD (mg/L)
HCO3	2015	Analab	SM 2320 B Ed 22-2012	1
	2016			
	2017	SGS		2
Na	2015	Analab	SM 3111 B-D Ed 22-2012	0,2
	2016			
	2017	SGS		0,01
K	2015	Analab	SM 3111 B-D Ed 22-2012	0,2
	2016			
	2017	SGS		0,01
Ca	2015	Analab	SM 3111 B-D Ed 22-2012	0,4
	2016			
	2017	SGS		0,01
Mg	2015	Analab	SM 3111 B-D Ed 22-2012	0,1
	2016			
	2017	SGS		0,01
NO3	2015	Analab	ME-16-2007	0,01
	2016			
	2017	SGS	SM 4500 NO3 B Ed. 22, 2012	
NH4	2015	Analab	ME-27-2007	0,01
	2016			
	2017	SGS	SM 4500 NH3 B Ed. 22, 2012	0,02
P-PO4	2015	Analab	SM 3120 B Ed 22-2012	0,1
	2016		Hach Method 8048, USEPA approved, SMEWW 21st Edition, Method 4500-PE	
	2017	SGS	SM 3120 B Ed 22-2012	0,02
Alc. Total	2015	Analab	SM 2320 B Ed 22-2012	10
	2016			
	2017	SGS		2
As	2015	DGA	Método SM 3114B	0,001
	2016			
	2017			
Cd	2015	DGA	Método SM 3111B	0,01
	2016			
	2017			
Co	2015	DGA	Método SM 3111B	0,04
	2016			
	2017			0,02
Cu	2015	DGA	Método SM 3111B	0,02
	2016			0,01
	2017			

Parámetros	Campaña	Laboratorio	Metodología	LD (mg/L)
Fe	2015	DGA	Método SM 3111B	0,02
	2016			
	2017			
Hg	2015	DGA	Método SM 3112B	0,0005
	2016			0,002
	2017			0,001
Mo	2017	DGA	Método SM 3111B	0,05
Mn	2015	DGA	Método SM 3111B	0,02
	2016			0,01
	2017			
Ni	2015	DGA	Método SM 3111B	0,05
	2016			
	2017			0,03
Pb	2015	DGA	Método SM 3111B	0,07
	2016			0,02
	2017			
Se	2015	DGA	Método SM 3114B	0,001
	2016			
	2017			
Zn	2015	DGA	Método SM 3111B	0,01
	2016			
	2017			

Tabla 12. Microelementos que registraron valores bajo el límite de detección en todas las fuentes de los APR muestreados de la región de Valparaíso.

N°	Nombre Pozo	Fecha Muestreo	Ag (mg/L)	Al (mg/L)	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Hg (mg/L)	Mo (mg/L)	Ni (mg/L)
1	Laguna Verde	16/11/2015	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,0005	N.S.	<0,05
		01/09/2016	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,002	N.S.	<0,05
		30/06/2017	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	<0,001	<0,05	<0,03
2	Campiche	17/11/2015	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,0005	N.S.	<0,05
		07/09/2016	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,002	N.S.	<0,05
		05/07/2017	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	<0,001	<0,05	<0,03
3	Lo Abarca	13/11/2015	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,0005	N.S.	<0,05
		06/09/2016	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,002	N.S.	<0,05
		29/06/2017	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	<0,001	<0,05	<0,03
4	Cuncumén	13/11/2015	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,0005	N.S.	<0,05
		06/09/2016	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,002	N.S.	<0,05
		29/06/2017	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	<0,001	<0,05	<0,03
5	Mundo Nuevo	10/11/2015	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,0005	N.S.	<0,05

N°	Nombre Pozo	Fecha Muestreo	Ag (mg/L)	Al (mg/L)	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Hg (mg/L)	Mo (mg/L)	Ni (mg/L)
		18/10/2016	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,002	N.S.	<0,05
		30/06/2017	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	<0,001	<0,05	<0,03
6	Pueblo de Indios	12/11/2015	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,0005	N.S.	<0,05
		05/09/2016	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,002	N.S.	<0,05
		03/07/2017	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	<0,001	<0,05	<0,03
7	Los Maitenes	10/11/2015	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,0005	N.S.	<0,05
		05/09/2016	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,002	N.S.	<0,05
		30/06/2017	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	<0,001	<0,05	<0,03
8	Lliu Lliu Alto	12/11/2015	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,0005	N.S.	<0,05
		30/06/2017	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	<0,001	<0,05	<0,03
9	Valle de los Olmos	18/11/2015	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,0005	N.S.	<0,05
		08/09/2016	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,002	N.S.	<0,05
		04/07/2017	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	<0,001	<0,05	<0,03
10	El sobrante	18/11/2015	N.S.	N.S.	<0,01	<0,04	<0,0005	N.S.	<0,05
		04/07/2017	<0,01	<0,6	<0,01	<0,02	<0,001	<0,05	<0,03

Tabla 13. Índice de calidad por parámetro para las fuentes APR en seguimiento de la región de Valparaíso. SDT: Sólidos disueltos totales, Cl: cloruro, SO4: sulfato, Na: Sodio, Mg: Magnesio, NO3: Nitrato, As: Arsénico.

Nombre Pozo	Fecha Muestreo	SDT (mg/L)	CL (mg/L)	SO4 (mg/L)	Na (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	NO3 (mg/L)	As (mg/L)	ICA general
VALLE DE LOS OLMOS	18/11/2015	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Buena	Excepcional	Excepcional	Regular	**Regular**
VALLE DE LOS OLMOS	08/09/2016	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Buena	Excepcional	**Buena**
VALLE DE LOS OLMOS	04/07/2017	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Buena	Excepcional	**Buena**
LAGUNA VERDE	16/11/2015	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	**Excepcional**
LAGUNA VERDE	01/09/2016	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	**Excepcional**
LAGUNA VERDE	30/06/2017	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	**Excepcional**
CAMPICHE	17/11/2015	Excepcional	Regular	Excepcional	Regular	Buena	Excepcional	Buena	Excepcional	**Regular**
CAMPICHE	07/09/2016	Buena	Regular	Excepcional	Regular	Buena	Excepcional	Buena	Excepcional	**Regular**
CAMPICHE	05/07/2017	Excepcional	Buena	Excepcional	Excepcional	Buena	Excepcional	Buena	Excepcional	**Buena**
LO ABARCA	13/11/2015	Excepcional	Excepcional	Buena	Excepcional	Buena	Excepcional	Buena	Excepcional	**Buena**
LO ABARCA	06/09/2016	Excepcional	Excepcional	Buena	Excepcional	Buena	Excepcional	Regular	Excepcional	**Regular**
LO ABARCA	29/06/2017	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Buena	Excepcional	Excepcional	Excepcional	**Excepcional**
CUNCUMÉN	13/11/2015	Excepcional	Buena	Regular	Excepcional	Regular	Excepcional	Buena	Excepcional	**Regular**
CUNCUMÉN	06/09/2016	Buena	Excepcional	Regular	Excepcional	Regular	Excepcional	Regular	Excepcional	**Regular**
CUNCUMÉN	29/06/2017	Regular	Excepcional	Regular	Excepcional	Regular	Excepcional	Buena	Excepcional	**Regular**
MUNDO NUEVO	10/11/2015	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Regular	Excepcional	**Regular**
MUNDO NUEVO	18/10/2016	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Regular	Excepcional	**Regular**
MUNDO NUEVO	30/06/2017	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Buena	Excepcional	**Buena**

Nombre Pozo	Fecha Muestreo	SDT (mg/L)	CL (mg/L)	SO4 (mg/L)	Na (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	NO3 (mg/L)	As (mg/L)	ICA general
PUEBLO DE INDIOS	12/11/2015	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Buena	Excepcional	**Buena**
PUEBLO DE INDIOS	05/09/2016	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Regular	Excepcional	**Regular**
PUEBLO DE INDIOS	03/07/2017	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Regular	Excepcional	**Regular**
LOS MAITENES	10/11/2015	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Buena	Excepcional	Regular	Excepcional	**Regular**
LOS MAITENES	05/09/2016	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Regular	Excepcional	**Regular**
LOS MAITENES	30/06/2017	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Buena	Excepcional	**Buena**
LLIU LLIU ALTO	12/11/2015	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	**Excepcional**
LLIU LLIU ALTO	30/06/2017	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	**Excepcional**
EL SOBRANTE	18/11/2015	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Buena	Excepcional	**Buena**
EL SOBRANTE	30/06/2017	Intratable	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	Excepcional	**Intratable**