



DEPTO. CONSERVACIÓN Y
PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS
PROCESO N° 11304707

MINUTA: DCPRH N° 37/

MAT.: Seguimiento de la calidad del agua subterránea – Pozos APR V región de Valparaíso

SANTIAGO, 27 de septiembre de 2017

1. Introducción

El año 2015 la Dirección General de Aguas (DGA) realizó un estudio denominado “Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la región de Valparaíso”¹. En este estudio 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)². 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 nuevo muestreo de esos sectores acuíferos, 21 pozos, 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 pozos APR de la V región de las muestras tomadas durante los años 2015 (49 pozos) y 2016 (21 pozos). 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

Se reúne la información de los análisis fisicoquímicos³ 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 referencial pues el uso potable del agua como tal es fiscalizable sólo en la red de distribución, posterior a un tratamiento del agua.

¹ Diagnóstico de la calidad de aguas subterráneas V región S.D.T. N°382-2016

² 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 (DGA 2013).

³ Las metodologías analíticas, límites de detección de cada técnica y los laboratorios que realizaron los análisis se detallan en la Tabla 11 del Anexo.

Posterior a este análisis se calcula e interpreta el Índice de calidad general, detallado en la sección Índice de calidad.

Tabla 1. Ubicación de pozos APR donde se realiza el seguimiento de calidad, y la cantidad de campañas por cada pozo APR.

N°	Nombre Pozo	Provincia	Comuna	Acuífero	Sector Acuífero	Este (wgs84 H19)	Norte (wgs84 H19)	N° Campañas
1	Valle de los Olmos	Petorca	Petorca	Petorca	Sector 3 -Río del Sobrante	328532	6434014	2
2	La Canela	Petorca	La Ligua	Petorca	Sector 4 - Río Petorca Poniente	297245	6417735	2
3	Mantagua	Valparaíso	Quinteros	Quinteros	Dunas de Quintero	268573	6361187	2
4	El Total	San Antonio	El Quisco	Estero El Rosario	Estero El Rosario	255799	6298693	2
5	Laguna Verde	Valparaíso	Valparaíso	Estero Laguna Verde	Estero Laguna Verde	253019	6333098	2
6	Colliguay	Valparaíso	Quilpue	Aconcagua	Sin Información	301959	6327375	2
7	Campiche	Valparaíso	Puchuncaví	Estero Puchuncaví	Estero Puchuncaví	272380	6375328	2
8	Santa Rosa de Colmo	Quillota	Quillota	Aconcagua	Acuífero 8 - Aconcagua desembocadura	271852	6354845	2
9	El Turco	San Antonio	Cartagena	Estero Cartagena	Estero Cartagena	269886	6285076	2
10	Lo Abarca	San Antonio	Cartagena	Estero Cartagena	Estero Cartagena	263500	6287369	2
11	Cuncumén	San Antonio	San Antonio	Maipo Desembocadura	Melipilla	275674	6259993	2
12	Mundo Nuevo	Valparaíso	Casablanca	Casablanca	La Vinilla-Casablanca	280665	6307728	2
13	La Peña	Quillota	Nogales	Aconcagua	Acuífero 6 - Nogales-Hijuelas	297268	6374328	2
14	Parceleros El Melón	Quillota	Nogales	Aconcagua	Acuífero 6 - Nogales-Hijuelas	293582	6380551	2
15	Huacalpo	Quillota	Hijuelas	Aconcagua	Acuífero 6 - Nogales-Hijuelas	303722	6359601	2
16	Pueblo de Indios	Quillota	Quillota	Aconcagua	Acuífero 7 - Quillota	292088	6357668	2
17	Tapihue	Valparaíso	Casablanca	Casablanca	Los Perales	283410	6311768	2
18	Casas de Hualquén	Petorca	La Ligua	Estero Guaquén	Estero Guaquén	274105	6419946	2
19	San José	Petorca	Cabildo	La Ligua	Sector 7 - Río La Ligua Cabildo	305378	6411215	2
20	Los Maitenes	Quillota	Limache	Aconcagua	Acuífero 9 - Limache	291493	6346528	2
21	Palmira Romano	Marga Marga	Limache	Aconcagua	Acuífero 9 - Limache	292775	6339557	1

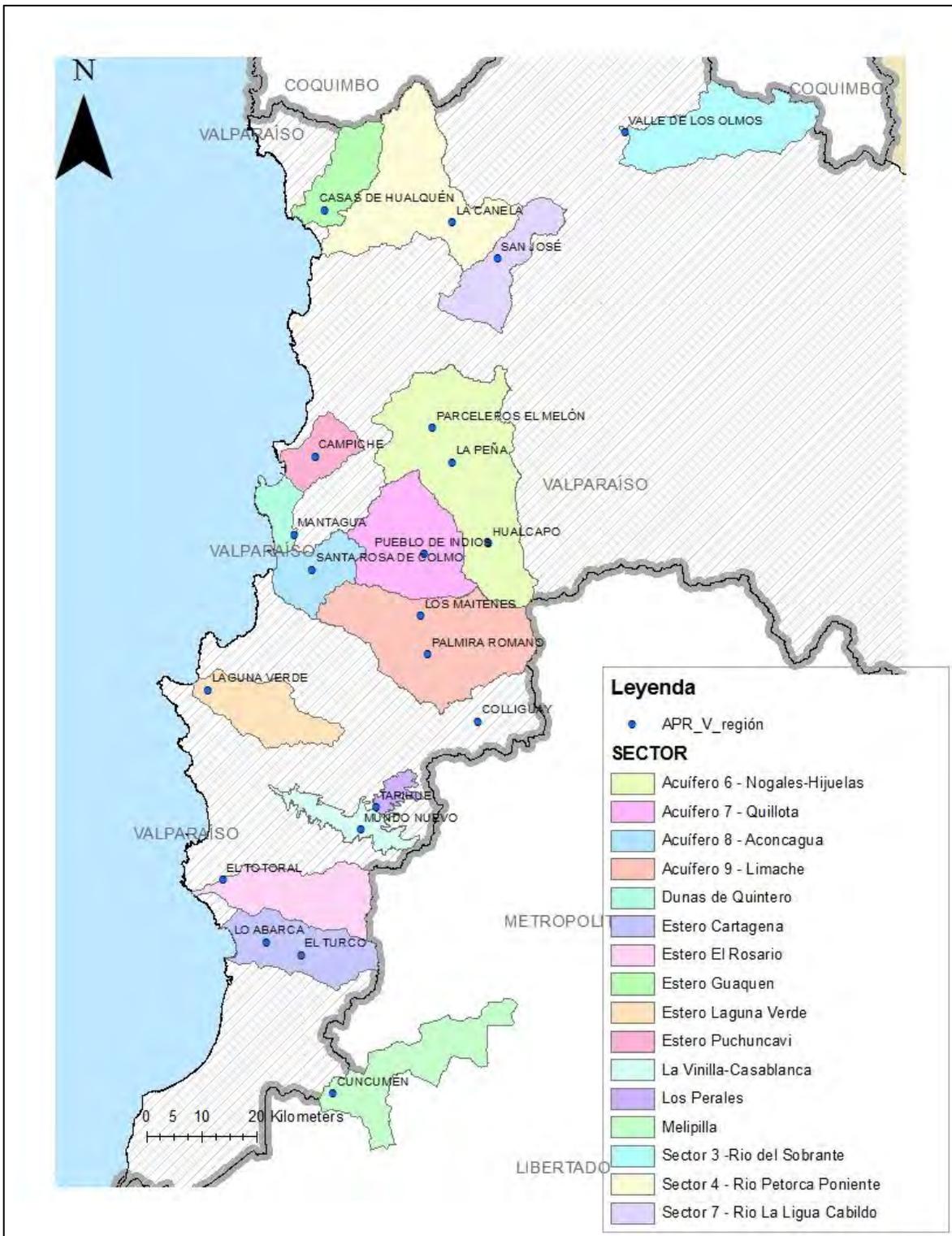


Figura 1. Ubicación de pozos APR en seguimiento de la V región de Valparaíso.

4. Resultados

4.1. Parámetros de terreno

La conductividad eléctrica se caracteriza por ser heterogénea entre los diferentes sectores acuíferos, encontrándose los menores valores entre los 300 uS/cm y los mayores valores sobre los 2200 uS/cm. Se observa un grupo de sectores acuíferos donde la conductividad se encuentra entre los 750 a 1500 uS/cm, atribuyéndole al agua potenciales efectos perjudiciales de ser aplicada en cultivos sensibles. Estos sectores son Dunas de Quintero (APR Mantagua 2015 y 2016), Acuífero 8 – Aconcagua desembocadura (APR Santa Rosa de Colmo 2015 y 2016), Acuífero 6 – Nogales – Hijuelas (APR La Peña 2015 y Hualcapo 2015 y 2016), Acuífero 7 Quillota (APR Pueblo de Indios 2016), Sector 7 – Río La Ligua Cabildo (APR San José 2015 y 2016) y Acuífero 9 Limache (Los Maitenes 2015 y 2016). Se observan sectores acuíferos cuya conductividad se encuentra entre los 1500 y 3000 uS/cm, indicando que el agua puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos, a mencionar: Estero Puchuncaví (APR Campiche 2015 y 2016), Estero Cartagena (APR Lo Abarca 2015 y 2016), Melipilla (APR Cuncumén 2015 y 2016), y Estero Guaquén (APR Casas de Hualquén 2015 y 2016). De forma adicional, se observa que el sector acuífero Estero Cartagena posee agua que abarca las dos categorías anteriores; afección a cultivos sensibles (APR El Turco 2015 y 2016) y la posibilidad de presentar efectos adversos y requerir métodos de manejo cuidadosos (APR Lo Abarca 2015 y 2016).

Respecto al pH, los valores obtenidos en las campañas del 2015 y 2016 se ubicaron de forma general en rangos neutros (6,5 – 7,8 unidades), registrando valores moderadamente ácidos solo 2 APR, a mencionar: Lo Abarca (2016) con 6,40 unidades y San José (2015) con 6,50 unidades. 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), salvo en Lo Abarca donde el valor de pH antes mencionado no cumple el estándar la última norma.

Los valores de potencial de reducción en los distintos sectores acuíferos indican valores entre 100 y 670 mV, característicos de ambientes más bien oxidantes (Tabla 2).

Respecto a los sólidos disueltos totales (SDT) en los sectores acuíferos estudiados se logró identificar concentraciones elevadas de este parámetro que tiene efectos perjudiciales (500 – 1000 mg/L) para cultivos y aguas que pueden tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles (1000-2000 mg/L) (Tabla 2). Los sectores que donde el uso del agua puede presentar efectos perjudiciales son 6: Sector 3 – Río del Sobrante (APR Valle de los Olmos 2015), Dunas de Quintero (APR Mantagua 2015 y 2016), Acuífero 8 – Aconcagua desembocadura (APR Santa Rosa de Colmo 2015 y 2016), Acuífero 6 - Nogales - Hijuelas (APR La Peña 2016 y Hualcapo 2016), Acuífero 7 – Quillota (APR Pueblo de Indios 2016) y Sector 7 – Río La Ligua Cabildo (APR San José 2016). Los sectores que poseen aguas que pueden tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles son 2: Estero Puchuncaví (APR Campiche 2015 y 2016) y Melipilla (APR Cuncumén 2015 y 2016). Se observan además sectores acuíferos donde la calidad del agua se encuentra en ambas clasificaciones anteriores, a mencionar: Estero Gualquén (2015 y 2016) y Estero Cartagena (APR Lo Abarca 2015).

Finalmente, el Sector 4 – Río Petorca Poniente (APR La Canela), Estero El Rosario (APR El Totoral), Estero Laguna Verde (APR Laguna Verde), sector sin información (APR Colliguay), La Vinilla Casa Blanca (APR Mundo Nuevo) y Los Perales (APR Tapihue) no superaron los límites sugeridos por la NCh 1333/78 para la conductividad, sólidos disueltos totales ni pH, caracterizándola como un agua apta para su uso en riego (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de terreno de calidad de agua (conductividad eléctrica, temperatura, pH, potencial de reducción y sólidos disueltos totales) y de los pozos (nivel dinámico y estático, y profundidad del pozo) en los APR en seguimiento V región.

N°	Nombre Pozo	SHAC	Fecha Muestreo	Cond. eléctrica (uS/cm)	Temp. agua (°C)	pH (Unidades)	Pot. Redox (mV)	SDT (mg/L)	N. Estát. agua (mts)	N. Dinám. agua (mts)	Prof. pozo (mts)
1	Valle de los Olmos	Sector 3 -Río del Sobrante	18/11/15	622	16,7	6,69	-	670,0	2,50	2,56	20,0
			08/09/16*	418	15,0	7,40	262	287,2	2,90	2,92	12,0
2	La Canela	Sector 4 - Río Petorca Poniente	18/11/15	505	18,7	6,90	358	276,0	0,00	0,10	12,0
			08/09/16	583	17,6	6,98	263	374,6	0,96	0,96	12,0
3	Mantagua	Dunas de Quintero	17/11/15	1002	17,8	6,98	293	555,0	2,63	8,30	23,0
			07/09/16	1095	16,5	6,84	200	699,0	2,92	4,20	25,0
4	El Totoral	Estero El Rosario	13/11/15	523	15,2	6,98	167	295,0	S.I.	S.I.	12,0
			06/09/16	310	10,0	7,40	100	252,0	3,90	3,90	13,0
5	Laguna Verde	Estero Laguna Verde	16/11/15	481	17,5	7,08	-	287,0	3,60	10,54	25,0
			01/09/16	525	17,0	6,80	-	186,0	S.I.	8,48	25,0
6	Colliguay	Sin Información	10/11/15	363	20,1	7,07	211	209,0	3,37	10,00	27,0
			01/09/16	417	15,2	6,83	521	233,0	3,35	5,45	27,0
7	Campiche	Estero Puchuncaví	17/11/15	2096	16,1	6,90	302	1168,0	3,60	4,30	8,0
			07/09/16	2055	15,6	6,83	258	1362,0	4,13	3,97	8,0
8	Santa Rosa de Colmo	Acuífero 8 - Aconcagua desembocadura	17/11/15	969	17,7	6,79	309	541,0	0,00	0,80	10,0
			05/09/16	1356	16,0	6,84	239	811,0	3,76	3,90	10,0
9	El Turco	Estero Cartagena	13/11/15	850	18,5	6,90	350	459,0	6,50	6,60	10,0
			09/09/16	801	17,0	6,90	225	470,4	S.I.	3,90	10,0
10	Lo Abarca		13/11/15	1570	18,5	6,86	379	865,0	5,03	11,30	30,0
			06/09/16	1841	16,0	6,40	262	1168,0	4,80	21,20	30,0
11	Cuncumén	Melipilla	13/11/15	2040	16,9	6,80	349	1128,0	4,00	1,96	36,0
			06/09/16	2208	16,0	7,09	231	1484,0	1,75	2,60	36,0
12	Mundo Nuevo	La Vinilla-Casablanca	10/11/15	411	17,0	7,10	411	228,0	2,65	28,00	30,0
			18/10/16	470	18,1	7,22	288	352,0	18,20	19,30	30,0
13	La Peña		11/11/15	818	16,9	6,51	670	462,0	1,09	1,39	12,0
			07/09/16	714	16,6	6,92	135	529,0	2,80	S.I.	16,0
14	Parceleros El Melón	Acuífero 6 - Nogales-Hijuelas	11/11/15	424	17,2	6,80	348	266,0	3,64	4,41	60,0
			07/09/16	637	17,9	7,07	193	448,0	2,12	4,29	60,0
15	Huacalpo		11/11/15	766	17,7	6,90	670	426,0	4,65	14,80	30,0
			05/09/16	1103	17,0	6,70	318	728,4	3,85	13,40	30,0

N°	Nombre Pozo	SHAC	Fecha Muestreo	Cond. eléctrica (uS/cm)	Temp. agua (°C)	pH (Unidades)	Pot. Redox (mV)	SDT (mg/L)	N. Estát. agua (mts)	N. Dinám. agua (mts)	Prof. pozo (mts)
16	Pueblo de Indios	Acuífero 7 - Quillota	12/11/15	710	18,3	6,91	631	398,0	3,60	5,43	40,0
			05/09/16	811	17,0	6,90	490	537,0	3,05	5,40	40,0
17	Tapihue	Los Perales	16/11/15	399	17,9	7,24	266	279,0	15,94	30,60	80,0
			09/09/16**	622	16,1	6,80	213	422,4	17,20	18,20	35,0
18	Casas de Hualquén	Estero Guaquén	17/11/15	1712	19,2	6,81	411	944,0	3,30	3,40	11,0
			08/09/16	1724	18,0	6,99	242	1090,0	S.I.	S.I.	S.I.
19	San José	Sector 7 - Río La Ligua Cabildo	18/11/15	755	19,0	6,50	360	411,0	6,00	6,60	13,5
			08/09/16	809	17,0	6,94	282	525,2	5,50	5,70	14,0
20	Los Maitenes	Acuífero 9 - Limache	10/11/15	836	18,3	7,28	329	475,0	S.I.	0,0	26,0
			05/09/16	795	18,0	7,02	159	461,2	1,62	3,55	24,0
21	Palмира Romano		05/09/16	292	15,2	7,10	-	128,0	3,36	3,48	15

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.

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.

*Profundidad del pozo en el año 2015 no coincide con aquella determinada el 2016, por tanto los datos pueden ser de pozos cercanos entre sí pero diferentes.

**Pozo muestreado el 2015 se derrumbó, así que se muestreo uno que estaba contiguo.

4.2. Macroelementos

Al comparar la composición del agua de cada APR entre los años monitoreados (2015 al 2016, Figura 2), se observa que la mayoría de estos tiene un agua sulfatada y/o clorurada, cálcica y/o magnésica (Anexo Figura 5). Los APR Tapihue, Colliguay, Laguna Verde y Mundo nuevo se alejaron levemente de esta caracterización, indicando que sus aguas son más bien bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas.

No se percibe un cambio marcado entre la composición hidroquímica general del agua del año 2015 y 2016, sin embargo se observan que la composición de aniones (bicarbonato, cloruro y sulfato) se desplaza levemente hacia un mayor contenido de sulfato (Tabla 3).

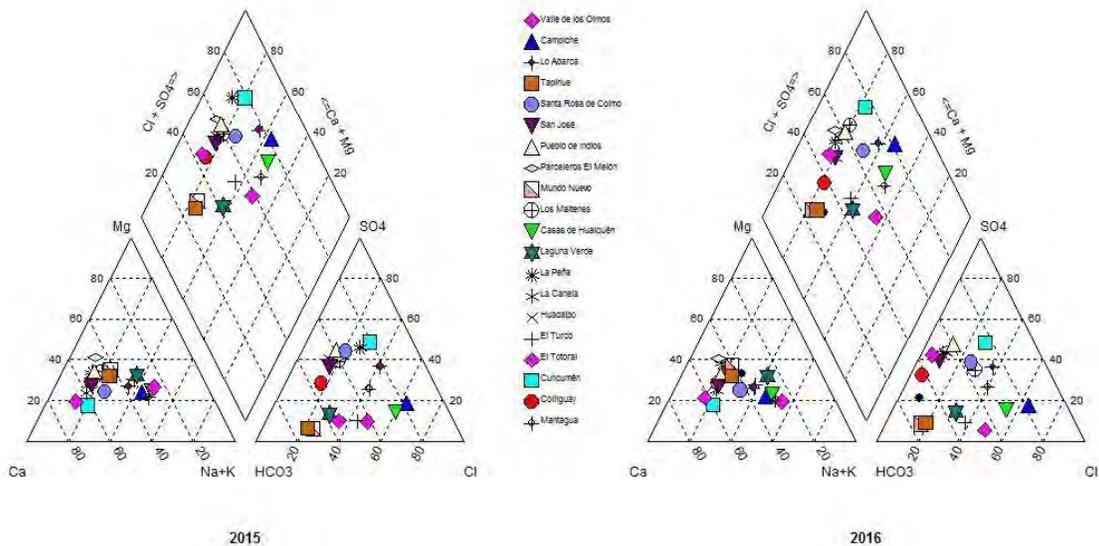


Figura 2. Diagramas de Piper de las campañas realizadas en el año 2015 y 2016 para los APR de la V región.

El contenido de sulfato en el APR Cuncumén superó el límite referencial para uso potable de agua de la NCh 409/05 (500 mg/L) el año 2015 y 2016. En cuanto al uso del agua en riego, el límite señalado por la NCh 1333/78 para el sulfato (250 mg/L) fue superado en los APR Santa Rosa de Colmo (2016), Lo Abarca (2015 y 2016) y Cuncumén (2015 y 2016). Estos valores dan indicios de una tendencia hacia la superación pues se repiten en los dos años analizados. Si bien en Santa Rosa de Colmo se identificó la superación sólo en el año 2016, en el año 2015 el valor se encontró muy cercano al límite que sugiere la norma (Tabla 3).

El contenido de cloruro en el agua se encontró fuera de los límites sugeridos por la NCh 409/05 en el APR Campiche el año 2015 y 2016. Respecto a la NCh 1333/78 el contenido de cloruro para uso en riego superó los límites en los APR Campiche, Lo Abarca, Cuncumén y Casas de Hualpén en los años 2015 y 2016 (Tabla 3). De forma similar al caso del sulfato, se considera que las mayores concentraciones de cloruro en los pozos mencionados señalan indicios de alzas pues se repiten en ambos años analizados, disminuyendo la posibilidad de que representen eventos aislados.

Respecto al sodio porcentual⁴, los valores calculados señalan que en general el agua de la gran mayoría de los APR 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 y Troeh 1988).

Tabla 3. Resultados de macroelementos del agua obtenida de los APR en seguimiento V región 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).

⁴ Sodio Porcentual (Na%) = $100 \cdot \frac{Na}{Na+Ca+Mn+K}$; Concentraciones se expresan en miliequivalentes por litro.

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)	Alc. Total (mg/L)	%Na
1	Valle de los Olmos	18/11/15	91,6	35,7	249,3	21,7	4,6	102,8	18,2	204,0	35
		08/09/16	7,9	83,9	131,0	15,9	0,6	52,3	10,9	108,0	44
2	La Canela	18/11/15	34,7	115,1	158,6	23,2	1,5	75,4	18,1	130,0	43
		08/09/16	18,9	120,1	188,0	28,1	1,3	67,4	18,9	154,0	49
3	Mantagua	17/11/15	161,6	135,1	216,9	124,4	2,1	69,7	30,3	178,0	78
		07/09/16	155,8	140,8	223,3	141,0	2,6	68,9	29,9	183,0	80
4	El Totoral	13/11/15	105,7	28,5	155,4	63,4	3,2	30,4	19,2	127,5	76
		06/09/16	83,4	12,8	132,0	63,3	3,2	26,9	12,3	109,0	81
5	Laguna Verde	16/11/15	59,5	37,4	207,2	47,8	2,3	35,9	23,1	170,0	68
		01/09/16	60,1	38,2	183,0	52,0	2,7	29,9	22,0	150,0	72
6	Colliguay	10/11/15	30,2	66,0	161,9	18,1	0,7	53,3	17,3	159,4	43
		01/09/16	8,9	69,0	167,0	19,6	0,8	35,9	16,9	137,0	51
7	Campiche	17/11/15	506,0	201,2	252,5	230,0	3,0	153,0	69,2	206,7	75
		07/09/16	475,5	177,1	233,6	227,0	3,4	142,0	58,4	192,0	77
8	Santa Rosa de Colmo	17/11/15	88,6	249,6	249,3	70,1	3,0	123,5	36,2	204,0	57
		05/09/16	135,0	269,7	312,0	112,0	4,0	132,0	46,6	256,0	65
9	El Turco	13/11/15	146,0	45,9	265,0	79,3	2,3	64,9	35,6	217,0	68
		09/09/16	109,6	36,2	261,0	73,7	2,9	59,3	29,1	214,0	70
10	Lo Abarca	13/11/15	250,0	301,5	226,7	155,6	3,7	145,7	63,6	185,0	68
		06/09/16	245,2	322,9	292,0	179,0	4,9	151,0	67,0	240,0	70
11	Cuncumén	13/11/15	272,8	580,4	317,3	121,0	6,9	325,8	55,6	260,0	50
		06/09/16	247,2	572,4	352,0	132,0	7,9	314,0	56,7	289,0	52
12	Mundo Nuevo	10/11/15	36,5	12,6	175,0	25,9	2,3	43,5	21,9	143,0	52
		18/10/16	22,0	14,9	164,0	22,9	1,8	38,4	21,1	134,0	51
13	La Peña	11/11/15	90,4	208,7	155,4	29,5	8,1	108,5	42,8	127,5	35
		07/09/16	27,8	158,9	215,3	27,0	5,9	72,9	36,8	177,0	39
14	Parceleros El Melón	11/11/15	34,7	101,0	123,0	15,5	0,5	52,0	28,0	101,0	35
		07/09/16	23,8	129,4	158,0	20,5	0,4	60,0	32,4	130,0	39
15	Huacalpo	11/11/15	48,8	181,0	252,8	33,3	1,7	110,0	34,5	206,0	41
		05/09/16	47,1	245,1	310,0	46,9	1,8	157,0	37,3	255,0	43
16	Pueblo de Indios	12/11/15	46,1	173,5	191,1	30,7	1,3	89,5	36,6	156,4	41
		05/09/16	36,7	185,0	192,0	37,1	1,8	86,1	34,6	158,0	47
17	Tapihue	16/11/15	44,0	16,7	246,0	33,5	1,7	55,2	24,1	201,4	55
		09/09/16	39,7	25,1	255,0	35,5	2,3	55,9	25,0	209,0	55
18	Casas de Hualquén	17/11/15	370,0	119,0	272,0	204,5	7,7	106,8	57,5	222,6	77
		08/09/16	345,4	131,4	329,0	206,0	8,2	109,0	52,2	270,0	77
19	San José	18/11/15	54,9	156,4	252,7	37,9	1,6	107,2	32,2	206,8	45
		08/09/16	29,8	154,4	250,0	41,7	1,9	96,8	30,1	205,0	49
20	Los Maitenes	10/11/15	69,5	179,8	233,2	46,6	1,5	102,4	45,1	191,3	48

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)	Alc. Total (mg/L)	%Na
		05/09/16	89,8	143,5	183,0	38,1	2,3	91,3	30,5	150,0	48
21	Palmira Romano	05/09/16	10,0	29,5	122,0	18,5	0,3	21,9	11,5	100,0	61

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

■ 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 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 acuerdo a las concentraciones de nitrato registradas en las diferentes campañas de monitoreo (Tabla 4), se observa que estas fluctúan indistintamente entre los años 2015 y 2016 en todos los APR.

En referencia al uso potable del agua, 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. Este último umbral fue superado por los APR Cuncumén (2016), Mundo Nuevo (2015 y 2016), La Peña (2015), Parceleros El Melón (2015 y 2016), Hualcapo (2015 y 2016), Pueblo de Indios (2015 y 2016), Tapihue (2015 y 2016), Casas de Hualpén (2015), San José (2015 y 2016), Los Maitenes (2015 y 2016), Valle de los Olmos (2016) y Lo Abarca (2015 y 2016). Respecto a los últimos dos pozos, se observa claramente un aumento sustancial de nitrato el 2016 respecto al 2015, siendo este aumento en Valle de los Olmos de un 400% y en el caso de Lo Abarca de un 250%, situación que se debe tener en cuenta al momento de establecer algún programa de seguimiento.

Al comparar las concentraciones de nitrato de los APR mencionados con los niveles estáticos del agua no se observa una relación clara que asocie las mayores concentraciones con una mayor cercanía del agua a la superficie. Por lo tanto, los valores registrados pueden estar asociados a 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, entre otros factores.

El amonio es un compuesto soluble, cuya fuente principal es la descomposición de los residuos orgánicos urbanos e industriales (Antich et al 2001; Otero et al. 2005; Soler et al. 2002). Las concentraciones de amonio registradas fluctúan indistintamente entre los años 2015 y 2016. Como se percibe de la Tabla 4, la mayoría de los pozos donde se analizó este compuesto

presentaron en al menos una de sus campañas concentraciones detectables. Sin embargo, ningún APR registró valores superiores a lo recomendado por la NCh 409/05 (1,5 mg/L).

Respecto al fosfato, cuyas fuentes pueden ser aportes de materia orgánica del suelo, fertilizantes u otras sustancias de origen industrial, se observa que en general la mayoría de las concentraciones detectadas se encuentran cercanos al límite de detección de la técnica analítica (<0,10 mg/L) indicando que el aporte de este compuesto es más bien reducido. No obstante lo anterior, se observan concentraciones mayores (más de 5 veces el límite de detección) en Valle los Olmos (2015) y Laguna Verde (2016), las cuales podrías ser eventos puntuales por no repetirse valores similares en los otros años analizados, pero que sin embargo, deben mantenerse como referencia ante futuros análisis.

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

N°	Nombre Pozo	Fecha Muestreo	NO ₃ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	P-PO ₄ (mg/L)	N.Estát. agua (m)	N.Dinám. agua (m)
1	Valle de los Olmos	18/11/15	7,10	5,4	1,20	2,50	2,56
		08/09/16	33,10	0,02	<0,1	2,90	2,92
2	La Canela	18/11/15	20,30	0,01	0,1	0,00	0,10
		08/09/16	9,85	<0,01	<0,1	0,96	0,96
3	Mantagua	17/11/15	12,70	0,01	0,1	2,63	8,30
		07/09/16	13,70	<0,01	0,2	2,92	4,20
4	El Totoral	13/11/15	5,20	0,01	0,1	S.I.	S.I.
		06/09/16	3,01	<0,01	<0,1	3,90	3,90
5	Laguna Verde	16/11/15	1,60	0,01	0,10	3,60	10,54
		01/09/16	0,00	0,02	0,80	S.I.	8,48
6	Colliguay	10/11/15	7,10	0,01	<0,1	3,37	10,00
		01/09/16	4,94	0,01	0,40	3,35	5,45
7	Campiche	17/11/15	11,60	0,01	0,10	3,60	4,30
		07/09/16	18,30	<0,01	0,30	4,13	3,97
8	Santa Rosa de Colmo	17/11/15	13,80	0,01	0,10	0,00	0,80
		05/09/16	18,60	<0,01	<0,1	3,76	3,90
9	El Turco	13/11/15	19,80	0,01	0,10	6,50	6,60
		09/09/16	12,00	0,01	0,20	S.I.	3,90
10	Lo Abarca	13/11/15	43,00	0,01	0,10	5,03	11,30
		06/09/16	111,10	<0,01	<0,1	4,80	21,20
11	Cuncumén	13/11/15	13,70	0,01	0,10	4,00	1,96
		06/09/16	54,60	<0,01	<0,1	1,75	2,60
12	Mundo Nuevo	10/11/15	59,40	0,01	<0,1	2,65	28,00
		18/10/16	50,80	0,07	0,20	18,20	19,30
13	La Peña	11/11/15	44,50	0,01	0,17	1,09	1,39
		07/09/16	22,40	<0,01	0,30	2,80	S.I.

N°	Nombre Pozo	Fecha Muestreo	NO3 (mg/L)	NH4 (mg/L)	P-PO4 (mg/L)	N.Estát. agua (m)	N.Dinám. agua (m)
14	Parceleros El Melón	11/11/15	31,70	0,01	0,10	3,64	4,41
		07/09/16	47,20	<0,01	0,10	2,12	4,29
15	Huacalpo	11/11/15	37,60	0,01	0,10	4,65	14,80
		05/09/16	65,90	<0,01	0,13	3,85	13,40
16	Pueblo de Indios	12/11/15	32,90	0,01	0,15	3,60	5,43
		05/09/16	66,00	<0,01	0,25	3,05	5,40
17	Tapihue	16/11/15	31,10	0,01	0,10	15,94	30,60
		09/09/16	42,10	0,01	0,20	17,20	18,20
18	Casas de Hualquén	17/11/15	35,00	0,01	0,10	3,30	3,40
		08/09/16	25,90	<0,01	0,40	S.I.	S.I.
19	San José	18/11/15	38,50	0,02	0,10	6,00	6,60
		08/09/16	46,30	0,01	0,20	5,50	5,70
20	Los Maitenes	10/11/15	72,00	0,01	0,13	S.I.	0,0
		05/09/16	72,60	<0,01	0,10	1,62	3,55
21	Palmira Romano	05/09/16	10,60	<0,01	<0,1	3,36	3,48

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).

4.4. Microelementos

Los elementos cadmio, cobalto, mercurio y níquel registraron valores bajo el límite de detección en todos los APR monitoreados (Anexo Tabla 5), por tanto se excluyen de este 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 desde el 2015 hasta el 2016.

Al comparar con la NCh 409/05 para uso potable, se observa que sólo el APR Valle de los Olmos en el año 2015 superó el valor recomendado para el arsénico (0,01 mg/L). Respecto al hierro, los APR Valle de los Olmos (2015), Mantagua (2015), el Totoral (2015), Laguna Verde (2015 y 2016), Colliguay (2015 y 2016), Campiche (2015 y 2016), Santa Rosa de Colmo (2016), Cuncumén (2016), La Peña (2016), Parceleros El Melón (2016) y Lo Abarca (2016) superaron la concentración de referencia (0,3 mg/L). Respecto al manganeso los APR que superaron los límites sugeridos por la NCh 409/05 (0,1 mg/L) fueron Valle de los Olmos (2015), El Totoral (2015), Laguna Verde (2015 y 2016), Campiche (2015 y 2016), Santa Rosa de Colmo (2015 y 2016), El Turco (2015 y 2016), Lo Abarca (2015 y 2016), Cuncumén (2015), Hualcapo (2016), Pueblo de Indios (2016), Casas de Hualquén (2016) y Palmira Romano (2016).

Respecto a la NCh 1333/78, particularmente para su uso en riego, el APR La Canela (2015) superó la concentración de cobre sugerida (0,2 mg/L). En cuanto al contenido de hierro, los APR Valle de los Olmos (2015), Campiche (2015), y Lo Abarca (2016) superaron el valor sugerido (5 mg/L). Respecto al manganeso los APR Valle de los Olmos (2015), El Totoral (2015), Laguna Verde (2015 y

2016), Campiche (2015 y 2016), Santa Rosa de Colmo (2016), Lo Abarca (2015), Cuncumén (2015), Hualcapo (2016), Pueblo de Indios (2016), Casas de Hualquén (2016) y Palmira Romano (2016) superaron la concentración sugerida (0,2 mg/L).

De acuerdo al análisis realizado se observa que el APR Lo Abarca registró concentraciones detectables de plomo, situación que no se dio el 2015, y aumentó considerablemente su concentración de hierro el 2016 respecto al 2015, superando ambas normas de referencia. Esta situación amerita el considerar este pozo dentro de cualquier programa de seguimiento que se establezca para monitorear la calidad del agua.

Los APR que cumplen tanto la NCh 409/05 como la NCh 1333/78 respecto a su contenido en metales, y que por tanto tienen una mejor calidad para estos usos son los APR Mundo Nuevo, Tapihue San José y Los Maitenes (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados de microelementos en el agua obtenida de los APR en seguimiento V región (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	Valle de los Olmos	18/11/15	0,026	<0,02	5,56	6,32	<0,07	<0,001	0,10
		08/09/16	<0,001	<0,01	0,02	0,02	<0,02	<0,001	-
2	La Canela	18/11/15	<0,001	0,41	0,26	<0,02	<0,07	<0,001	0,06
		08/09/16	<0,001	<0,01	0,07	<0,01	<0,02	<0,001	-
3	Mantagua	17/11/15	<0,001	<0,02	0,40	<0,02	<0,07	<0,001	0,07
		07/09/16	<0,001	<0,01	0,07	0,01	<0,02	<0,001	-
4	El Totoral	13/11/15	0,002	<0,02	0,83	1,54	<0,07	<0,001	<0,01
		06/09/16	<0,001	<0,01	0,13	0,02	<0,02	<0,001	-
5	Laguna Verde	16/11/15	<0,001	<0,02	1,22	0,23	<0,07	<0,001	<0,01
		01/09/16	<0,001	<0,01	0,97	0,27	<0,02	<0,001	-
6	Colliguay	10/11/15	0,007	<0,02	1,40	0,02	<0,07	<0,001	0,08
		01/09/16	<0,001	<0,01	1,91	0,03	<0,02	<0,001	-
7	Campiche	17/11/15	0,001	<0,02	6,46	2,59	<0,07	<0,001	0,02
		07/09/16	<0,001	<0,01	3,37	1,43	<0,02	<0,001	-
8	Santa Rosa de Colmo	17/11/15	0,001	<0,02	<0,02	0,13	<0,07	<0,001	0,08
		05/09/16	<0,001	<0,01	0,94	0,51	<0,02	<0,001	-
9	El Turco	13/11/15	0,002	<0,02	<0,02	0,17	<0,07	<0,001	<0,01
		09/09/16	<0,001	<0,01	0,13	0,12	<0,02	<0,001	-
10	Lo Abarca	13/11/15	<0,001	<0,02	0,02	0,79	<0,07	<0,001	<0,01
		06/09/16	<0,001	<0,01	7,4	0,12	0,03	<0,001	-
11	Cuncumén	13/11/15	0,003	<0,02	0,23	1,76	<0,07	<0,001	0,04
		06/09/16	<0,001	<0,01	3,59	0,06	<0,02	<0,001	-
12	Mundo Nuevo	10/11/15	0,001	<0,02	0,05	<0,02	<0,07	<0,001	<0,01
		18/10/16	***	<0,01	0,03	<0,01	<0,02	<0,001	-
13	La Peña	11/11/15	0,002	<0,02	0,09	<0,02	<0,07	<0,001	0,26

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)
		07/09/16	<0,001	<0,01	0,35	0,01	<0,02	<0,001	-
14	Parceleros El Melón	11/11/15	<0,001	<0,02	0,10	<0,02	<0,07	<0,001	0,02
		07/09/16	<0,001	0,04	0,38	0,02	<0,02	<0,001	-
15	Huacalpo	11/11/15	<0,001	<0,02	0,05	<0,02	<0,07	<0,001	0,17
		05/09/16	<0,001	<0,01	<0,02	0,48	<0,02	<0,001	-
16	Pueblo de Indios	12/11/15	0,003	<0,02	<0,02	<0,02	<0,07	<0,001	<0,01
		05/09/16	<0,001	<0,01	0,02	1,07	<0,02	0,001	-
17	Tapihue	16/11/15	0,001	<0,02	0,08	0,07	<0,07	<0,001	0,12
		09/09/16	<0,001	0,02	<0,02	0,02	<0,02	<0,001	-
18	Casas de Hualquén	17/11/15	0,001	<0,02	0,10	0,04	<0,07	<0,001	0,06
		08/09/16	<0,001	<0,01	0,07	0,45	<0,02	0,002	-
19	San José	18/11/15	<0,001	<0,02	<0,02	<0,02	<0,07	<0,001	0,01
		08/09/16	<0,001	<0,01	0,02	<0,01	<0,02	<0,001	-
20	Los Maitenes	10/11/15	0,002	<0,02	0,15	<0,02	<0,07	<0,001	<0,01
		05/09/16	0,001	<0,01	<0,02	<0,01	<0,02	<0,001	-
21	Palmira Romano	05/09/16	0,002	<0,01	0,02	1,76	<0,02	<0,001	-

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

■: 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 de equipo EAA 1100B

5. Índice de calidad

A continuación se presentan la evolución de la calidad del agua de los APR en seguimiento a través del Índice General de Calidad. Este Índice fue desarrollado en el estudio “Diagnóstico y Clasificación de Acuíferos” (DGA 2009), encontrando a continuación el detalle de su cálculo.

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.

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.
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.

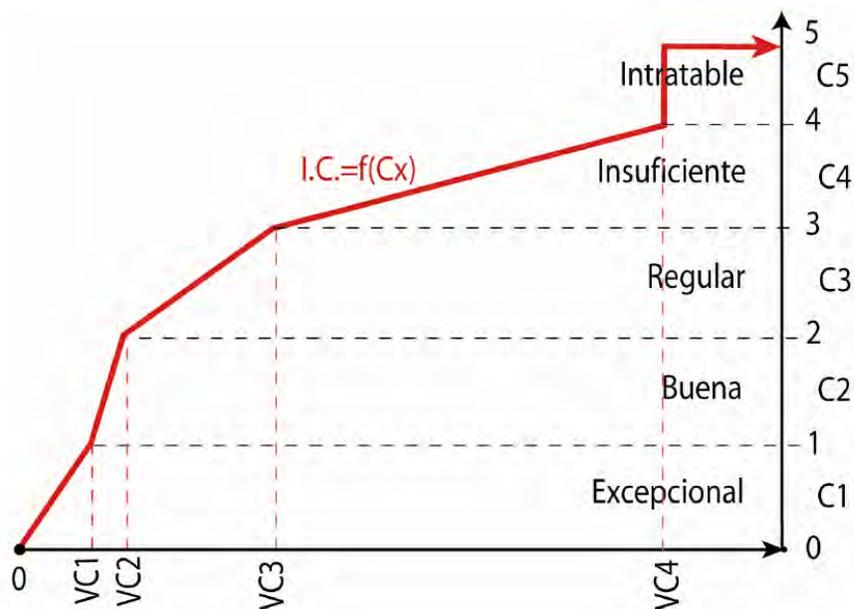


Figura 3. Cálculo de índice de calidad mediante interpolación lineal entre clases⁵.

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.

Tabla 7. Definición de clases de calidad de agua.

N°	CLASE	Cloruro	Sulfato	Calcio	Sodio	Magnesio	Nitrato	Arsénico
1	Excepcional	<= 250	<= 250	<= 100	<= 200	<= 100	<= 10	<= 0,01
2	Buena	<= 400	<= 500	<= 200	<= 200	<= 125	<= 50	<= 0,01
3	Regular	<= 1064	<= 961	<= 401	<= 920	<= 250	<= 133	<= 0,10
4	Insuficiente	<= 1600	<= 10000	<= 4000	<= 6000	<= 2500	<= 200	<= 4,00
5	Intratable	> 1600	> 10000	> 4000	> 6000	> 2500	> 200	<= 4,00

⁵ Para más detalle se recomienda revisar el Diagnóstico y clasificación de sectores acuíferos (DGA 2009).

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 del 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 sector acuífero 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	$Si 1 < IC_{individual} \leq 4$ $IC_{general} = Max (IC_{individual})_{i=parámetro}$
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”, DGA 2009.

Los resultados resumidos en la Tabla 9 indican que los APR Mantagua, Santa Rosa de Colmo, El Turco, La Peña, Parceleros el Melón, Tapihue, Casas de Hualquén y San José han mantenido una

calidad Buena del agua a través de las campañas 2015 y 2016. Se destacan además los APR El Totoral, Laguna Verde y Colliguay que mostraron tener una calidad Excepcional entre el 2015 y 2016.

Los APR Campiche, Cuncumén y Los Maitenes mostraron una calidad Regular entre el 2015 y 2016. En el caso del APR Campiche esta calidad se asocia al mayor contenido de cloruro y sodio, en Cuncumén a un mayor contenido de sulfato y calcio, y en Los Maitenes se asocia al mayor contenido de nitrato (Tabla 4).

Los resultados del índice muestran APR que presentan una transición entre sus calidades analizadas el 2015 y 2016, tanto hacia mejores como a peores calidades. Hacia una mejor calidad se encuentra el APR La Canela, que de una calidad Buena pasa a una calidad Excepcional lo cual se debe a una disminución en el contenido de nitrato en el agua (Tabla 4), y el APR Valle de los Olmos que de una calidad Regular pasó a una Buena, asociándose esto a una disminución de arsénico en el agua.

Los APR que presentan un detrimento de su calidad son Lo Abarca, Hualcapo y Pueblo de Indios que pasaron de una calidad Buena a una calidad Regular, asociando este resultado en los tres casos a un mayor contenido de nitrato en el agua el 2016, el cual superó lo señalado por la NCh 409/05 (<50 mg/L). En el caso Hualcapo y Pueblo de Indios la concentración de nitrato alcanzada el 2016 es 1,3 veces la concentración límite de la norma, no obstante en el APR Lo Abarca esta concentración es hasta 2,2 veces mayor (Tabla 4).

En los APR Mundo Nuevo y Palmira Romano (N°12 y 21 de la Tabla 9) no fue posible calcular el Índice de calidad en el 2016 y 2015 respectivamente. En el caso del APR Mundo Nuevo no fue posible analizar arsénico por una falla en el equipo de Espectrometría de Absorción Atómica el 2016 y en el caso del APR Palmira Romano, este pozo no se incluyó en el monitoreo del año 2015.

Tabla 9. Evolución temporal de los Índices de calidad general de aguas de los años 2015 y 2016 en las estaciones de seguimiento de la V región de Valparaíso.

N°	Nombre Pozo	2015	2016
		Primavera	Invierno
1	Valle de los Olmos	Regular	Buena
2	La Canela	Buena	Excepcional
3	Mantagua	Buena	Buena
4	El Totoral	Excepcional	Excepcional
5	Laguna Verde	Excepcional	Excepcional
6	Colliguay	Excepcional	Excepcional
7	Campiche	Regular	Regular
8	Santa Rosa de Colmo	Buena	Buena
9	El Turco	Buena	Buena
10	Lo Abarca	Buena	Regular
11	Cuncumén	Regular	Regular

N°	Nombre Pozo	2015	2016
		Primavera	Invierno
12	Mundo Nuevo	Regular	S.I.
13	La Peña	Buena	Buena
14	Parceleros el Melón	Buena	Buena
15	Hualcapo	Buena	Regular
16	Pueblo de Indios	Buena	Regular
17	Tapihue	Buena	Buena
18	Casas de Hualquén	Buena	Buena
19	San José	Buena	Buena
20	Los Maitenes	Regular	Regular
21	Palmira Romano	S.I.	Buena

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 por más de una campaña fueron los APR Campiche con 7 parámetros (NCh 1333: Conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, cloruro, sodio porcentual, manganeso y NCh 409: cloruro, manganeso), Lo Abarca con 7 parámetros (NCh 1333: conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, cloruro, sulfato, sodio porcentual y NCh 409: nitrato, manganeso) y Cuncumén con 6 parámetros (NCh 1333: conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, cloruro, sulfato, sodio porcentual y NCh 409: sulfato). Respecto a los APR restantes, si bien presentaron una menor cantidad de desviaciones se destaca que Mundo Nuevo, Parceleros El Melón, Hualcapo, Pueblo de Indios, San José y Los Maitenes presentaron concentraciones de nitrato sobre la norma en las dos campañas de monitoreo realizadas.

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 2016 para el uso más sensible del agua; el consumo humano. Los resultados indican que existen tres APR cuya mejora de la calidad debe ser prioridad por su calidad Regular en ambos años, a mencionar: Campiche, Cuncumén y los Maitenes. De forma adicional, se considera que la calidad de los APR Lo Abarca, Hualcapo y Pueblo de Indios debe ser mejorada respecto al nitrato, pues este parámetro se vio desmejorado el año 2016 respecto al 2015. Estos resultados se encuentran alineados con lo observado respecto a la comparación con la NCh 1333/78 y la NCh 409/05.

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 consumida.

6. Recomendaciones

- Se recomienda compartir los resultados de este informe con la DOH regional, y Comités de APR. Esta información puede ser de utilidad al momento de tomar decisiones respecto a los sistemas de tratamiento a implementar en las fuentes, mejorar la calidad del agua o prevenir un detrimento mayor de esta a nivel de fuente, como plazo 31-12-2017.
- Se recomienda a la Dirección Regional solicitar datos de calidad de agua en la fuente de los APR analizados en este informe a la DOH regional, 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, como plazo 60 días 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 recomienda a la Dirección Regional analizar la factibilidad de incorporar todos los pozos del presente informe en el monitoreo de la red rutinaria de calidad de aguas, 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.
- Si la Dirección Regional no puede incorporar estos pozos para seguimiento se recomienda externalizar su monitoreo el próximo año, así mismo se recomienda analizar la calidad del agua en los sectores acuíferos con una menor cantidad de información, como se señala en la Figura 4. Para este fin se entrega una lista tentativa de pozos APR a considerar (Tabla 10). Esta lista contiene un pozo APR por sector acuífero con menos información de calidad de agua. Para aquellos sectores acuíferos donde no se identificaron pozos APR no se realizaron sugerencias de pozos.

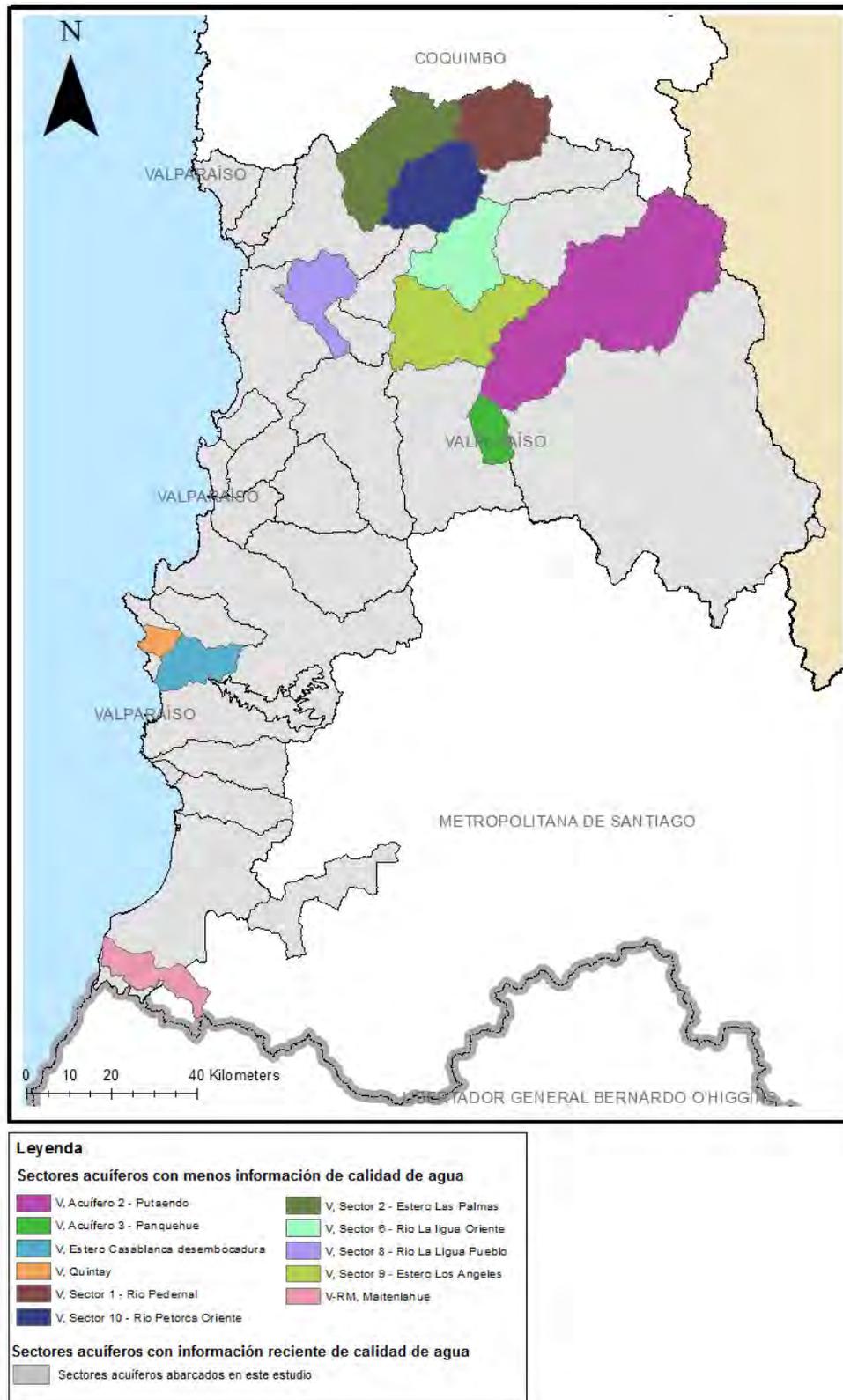


Figura 4. Sectores acuíferos de la V región de Valparaíso que fueron considerados en este estudio (áreas grises) y aquellos cuya calidad del agua debe ser estudiada (áreas coloreadas).

Tabla 10. Lista de APR sugeridos en sectores acuíferos con menos información.

N°	Nombre APR	Sector Acuífero	Acuífero	Coordenadas wgs 84, Huso 19H	
				Norte	Este
1	POBLACIÓN HIDALGO	Acuífero 2 - Putaendo	Aconcagua	348570	6400350
2	LA VIÑA-LA VEGA	Sector 6 - Río La ligua Oriente	La Ligua	323080	6413210
3	LA MORA	Sector 9 - Estero Los Ángeles	La Ligua	315920	6402940
4	HIERRO VIEJO	Sector 10 - Río Petorca Oriente	Petorca	310480	6426400
5	PALQUICO	Sector 2 - Estero Las Palmas	Petorca	299370	6429460
6	PUENTE TALANQUÉN	Sector 8 - Río La Ligua Pueblo	La Ligua	287530	6402800
7	CHALACO	Sector 1 - Río Pedernal	Petorca	331600	6438200
8	SAN ENRIQUE	Maitenlahue	Maitenlahue	248950	6244480
9	PANQUEHUE	Acuífero 3 - Panquehue	Aconcagua	328275	6372950
10	PASO HONDO	Estero Casablanca desembocadura	Casablanca	269440	6321945
11	QUINTAY	Quintay	Quintay	249445	6324292

DANIELA FREDES MUÑOZ

ANALISTA DE DESARROLLO AMBIENTAL

DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

DIEGO SAN MIGUEL CORNEJO
Jefe Área 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

7. Referencias

Antich, N, Canals, A, Soler, A, Darbishyre, DPF, y Spiro, BF 2000, *The isotope composition of dissolved strontium as tracer of pollution in the Llobregat River*, International Association of Hydrological Science, northeast Spain.

Dirección General de Aguas (DGA)2013, Reglamento sobre normas de exploración y explotación de aguas subterráneas, Ministerio de Obras Públicas, Santiago de Chile, visto el 12/09/17, <http://www.dga.cl/legislacionynormas/normas/Reglamentos/Reglamento_Aguas_Subterranas.pdf>.

Mason, R 2013, *Trace Metals in Aquatic Systems*, Wiley-Blackwell Publishing, West Sussex.

Norma Chilena 1333 (NCh) Oficial de 1978 (Mod. 1987), Requisitos de calidad de agua para diferentes usos.

Norma Chilena 409/1 (NCh) Oficial de 2005, Agua Potable – Parte 1 – Requisitos.

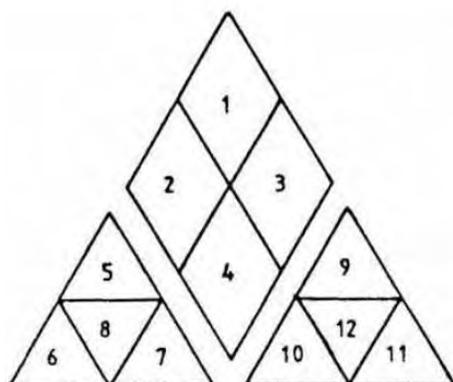
Otero, N, Tolosana-Delgado, R, Soler, A, Pawlowsky-Glahn, V y Canals, A 2005, 'Relative vs absolute statistical analysis of compositions: A comparative 194 study of surface waters of a Mediterranean river', *Water Research*, Vol. 39, no. 7, pp. 1404-1414.

Soler, A, Canals, A, Goldstein, L, Otero, N, Antich, N y 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*, Vol. 136, no.1-4, pp. 207-224.

Thompson, RL y Troeh, FR 1988, *Los suelos y su fertilidad*, Reverté, Barcelona.

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

8. 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 V región.

Parámetros	Campaña	LD	Laboratorio	Metodología
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	5	Analab	NCh 409 Manual SISS-2007
	2016			
Cl	2015	1	Analab	ME-28-2007
	2016			
	2016	<2,5	DGA	SM 4500-Cl C
	2016	<0,4	DGA	
SO4	2015	1	Analab	ME-30-2007
	2016			
	2016	3,5	DGA	SM 4500 SO4 ²⁻ E
	2016	1,1	DGA	
HCO3	2015	1	Analab	SM 2320 B Ed 22-2012
	2016			
Na	2015	0,2	Analab	SM 3111 B-D Ed 22-2012
	2016			
	2016	0,1	DGA	SM 3111 B
K	2015	0,2	Analab	SM 3111 B-D Ed 22-2012
	2016			

Parámetros	Campaña	LD	Laboratorio	Metodología
	2016	0,2	DGA	SM 3111 B
Ca	2015	0,4	Analab	SM 3111 B-D Ed 22-2012
	2016			
	2016	0,1	DGA	SM 3111 B
Mg	2015	0,1	Analab	SM 3111 B-D Ed 22-2012
	2016			
	2016	0,01	DGA	SM 3111 B
NO3	2015	0,01	Analab	ME-16-2007
	2016			
N-(NO2+NO3)	2016	0,01	DGA	Método Salicilato Rodier, 1981
NH4	2015	0,01	Analab	ME-27-2007
	2016			
P-PO4	2015	0,1	Analab	SM 3120 B Ed 22-2012 Hach Method 8048, USEPA approved, SMEWW 21st Edition, Method 4500-PE
	2016			
Alc. Total	2015	10	Analab	SM 2320 B Ed 22-2012
	2016			
As	2015	0,001	DGA	Método SM 3114B
	2016			
	2016	0,001	DGA	Propia Basada en SM 3114B. 4e
Cd	2015	0,01	DGA	Método SM 3111B
	2016			
	2016	0,01	DGA	SM 3111 B
Co	2015	0,04	DGA	Método SM 3111B
	2016			
	2016	0,02	DGA	Método SM 3111B
Cu	2015	0,02	DGA	Método SM 3111B
	2016	0,01		
Fe	2015	0,02	DGA	Método SM 3111B
	2016			
Hg	2015	0,002	DGA	Método SM 3112B
	2016	0,002		
Mn	2015	0,02	DGA	Método SM 3111B
	2016	0,01		
Ni	2015	0,05	DGA	Método SM 3111 B
	2016			
Pb	2015	0,07	DGA	Método SM 3111 B

Parámetros	Campaña	LD	Laboratorio	Metodología
	2016	0,02		
Se	2015	0,001	DGA	Método SM 3114B
	2016			
Zn	2015	0,01	DGA	Método SM 3111 B
	2016			

Tabla 12. Microelementos que registraron valores bajo el límite de detección en todos los APR muestreados de la V región.

N°	Nombre Pozo	Fecha Muestreo	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Hg (mg/L)	Ni (mg/L)
1	Valle de los Olmos	18/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		08/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
2	La Canela	18/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		08/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
3	Mantagua	17/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		07/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
4	El Totoral	13/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		06/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
5	Laguna Verde	16/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		01/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
6	Colliguay	10/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		01/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
7	Campiche	17/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		07/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
8	Santa Rosa de Colmo	17/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		05/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
9	El Turco	13/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		09/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
10	Lo Abarca	13/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		06/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
11	Cuncumén	13/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		06/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
12	Mundo Nuevo	10/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		18/10/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
13	La Peña	11/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		07/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
14	Parceleros El Melón	11/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		07/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
15	Huacalpo	11/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05

N°	Nombre Pozo	Fecha Muestreo	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Hg (mg/L)	Ni (mg/L)
		05/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
16	Pueblo de Indios	12/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		05/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
17	Tapihue	16/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		09/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
18	Casas de Hualquén	17/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		08/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
19	San José	18/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		08/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
20	Los Maitenes	10/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05
		05/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05
21	Palmira Romano	05/09/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05