



DEPTO. CONSERVACIÓN Y
PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS
PROCESO N° 10991588

MINUTA: DCPRH N° 20/
MAT.: Seguimiento de la calidad
del agua subterránea –
Pozos APR VI región.
SANTIAGO, 12 de junio de 2017

1. Introducción

El año 2014 la Dirección General de Aguas (DGA) realizó un estudio denominado “Diagnóstico de la calidad del agua subterránea de la región del Libertador Bernardo O’Higgins”¹. En este estudio se utilizó la infraestructura instalada de 70 pozos APR para estudiar la calidad de su agua proveniente del acuífero previo a cualquier tratamiento y en total se logró estudiar la calidad de 12 sectores acuíferos.

Entre los resultados de este estudio se destacaron ciertos sectores acuíferos cuya calidad del agua tenía bajo potencial uso potable y/o de riego. En el estudio en comento se recomendó realizar un seguimiento de estos sectores acuíferos, para ellos se realizó un muestreo durante el año 2015 y sus resultados quedaron plasmados en el estudio denominado “Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la región del Libertador Bernardo O’Higgins”². Durante el año 2016 continuando con el seguimiento de estos sectores acuíferos, se muestrearon los mismos pozos y se incorporaron 9 pozos APR al muestreo rutinario de calidad de agua subterránea de la VI región.

2. Objetivos

El objetivo del presente documento es analizar los resultados del seguimiento a la calidad del agua de pozos APR de la VI región de las muestras tomadas durante los años 2015 y 2016, y de aquellos incorporados al muestreo rutinario de calidad de agua subterránea. Identificar su calidad respecto al uso potable y en riego indicados por las normas NCh 409/05 y NCh 1333/78, y respecto al Índice de calidad general desarrollado en el estudio “Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la región del Libertador Bernardo O’Higgins”.

3. Metodología

Se reúne la información de los análisis fisicoquímicos³ de los pozos APR de los cuales se hizo el seguimiento y de aquellos incorporados a la red (Figura 1, desde el pozo 12 al 20) y se evalúa la

¹ S.D.T. N°368

² S.D.T. N°382

³ Las metodologías analíticas, límites de detección de cada técnica y los laboratorios que realizaron los análisis se detallan en la Tabla 10 del Anexo.

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 físico y químico 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 pozos APR donde se realiza el seguimiento de calidad, y la cantidad de campañas.

N°	Nombre Pozo	Provincia	Comuna	Acuífero	Sector Acuífero	Este (wgs84 H19)	Norte (wgs84 H19)	N° Campañas
1	Los Romos	Cachapoal	Pichidegua	Cachapoal	Peumo-Pichidegua-Las Cabras	285000	6198406	3
2	Pupuya	Cardenal Caro	Navidad	Pupuya	Pupuya	236589	6233915	2
3	Las Arañas	Colchagua	Chepica	Tinguiririca	Tinguiririca superior	294709	6156262	3
4	Paredones	Cardenal Caro	Paredones	Paredones	Estero Paredones	233602	6162296	2
5	Quinta del Tilcoco	Cachapoal	Quinta de Tilcoco	Cachapoal	Requinoa-Rosario-Rengo- Quinta Tilcoco	319377	6196468	3
6	San Antonio el Cuadro	Colchagua	Chepica	Tinguiririca	Tinguiririca superior	295237	6152416	3
7	Cabaña Blanca	Cachapoal	Las Cabras	Cachapoal	Peumo-Pichidegua-Las Cabras	284765	6203759	3
8	Patagual 2	Cachapoal	Pichidegua	Cachapoal	Peumo-Pichidegua-Las Cabras	281762	6200797	3
9	Pataguas orilla	Cachapoal	Pichidegua	Cachapoal	Peumo-Pichidegua-Las Cabras	284479	6200894	3
10	El Carmen bajo	Cachapoal	Codegua	Cachapoal	Graneros-Rancagua	347696	6227480	2
11	El Barco	Colchagua	Peralillo	Tinguiririca	Tinguiririca inferior	279576	6183680	3
12	Cooperativa Auquínco	Colchagua	Chepica	Tinguiririca	Tinguiririca superior	298872	6151024	4
13	El Niche	Cachapoal	San Vicente	Cachapoal	Pelequen-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	300725	6186616	4
14	Idahue	Cachapoal	Coltauco	Cachapoal	Doñihue-Coinco-Coltauco	303480	6200527	4
15	Idahue de San Vicente	Cachapoal	San Vicente	Cachapoal	Laguna San Vicente	298591	6182507	4
16	Juan Nuñez Valenzuela Ltda. Planta N2	Cachapoal	San Vicente	Cachapoal	Pelequen-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	304368	6186807	4
17	La Arboleda Valle Hermoso	Colchagua	Palmilla	Tinguiririca	Tinguiririca inferior	285941	6178213	4
18	Los Maitenes Tagua Tagua	Cachapoal	San Vicente	Cachapoal	Pelequen-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	306194	6185139	4
19	Nenquén el Tambo La Puerta	Colchagua	Santa Cruz	Tinguiririca	Tinguiririca superior	282358	6167281	4
20	Pencahue bajo	Cachapoal	San Vicente	Cachapoal	Pelequen-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	301670	6188024	4

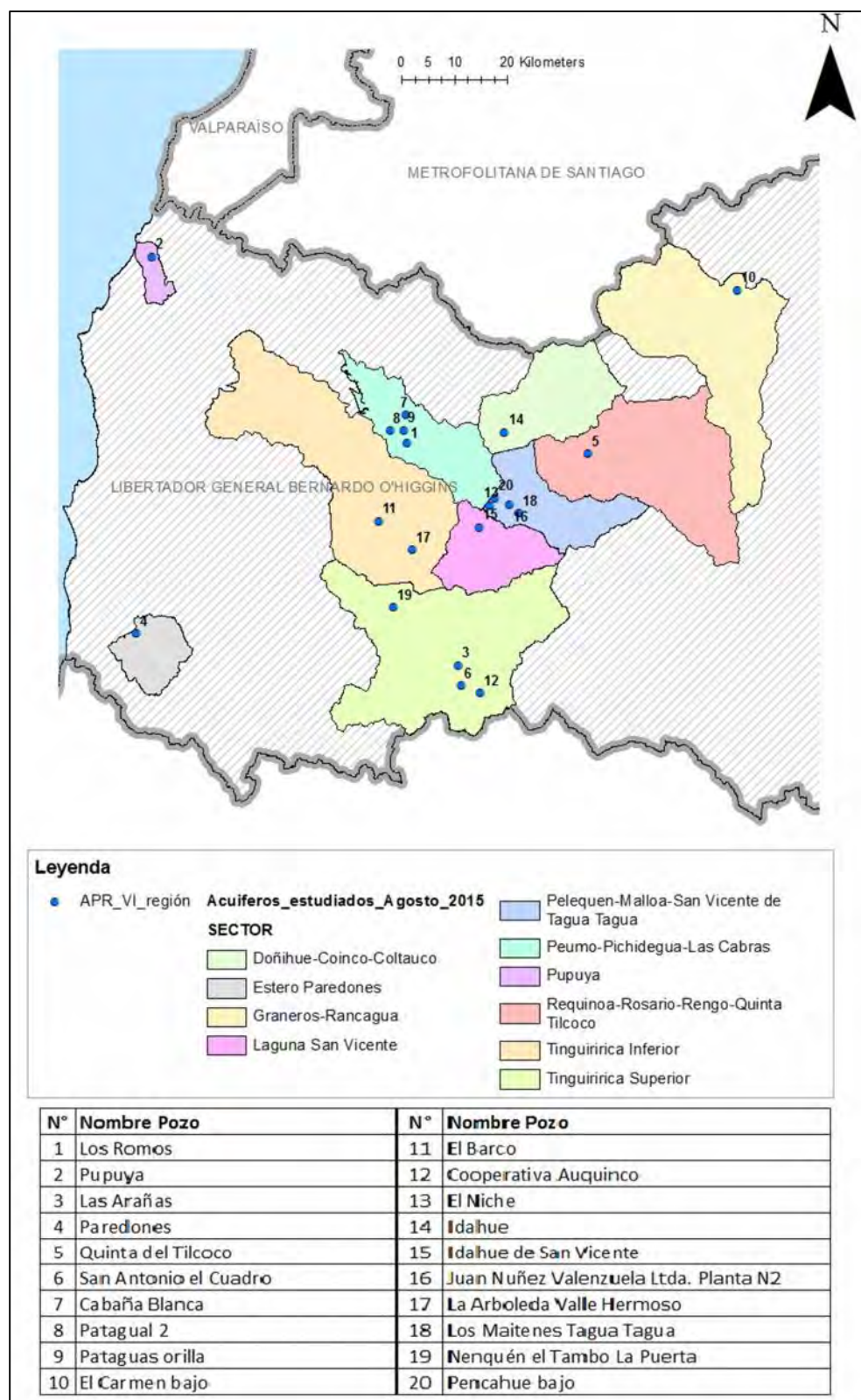


Figura 1. Ubicación de pozos APR en seguimiento de la VI región del Libertador Bernardo O'Higgins.

4. Resultados

4.1. Parámetros de terreno

De los parámetros monitoreados en terreno, el pH y la conductividad eléctrica no reflejan de forma general un aumento o disminución en los valores registrados desde el 2014 hasta el 2016.

Respecto a la NCh 409/05 de uso potable, los APR Los Romos, Pataguas Orilla, El Carmen bajo, Cooperativa Auquingo, Idahue, Los Maitenes Tagua Tagua y Nenquén El Tambo La Puerta presentaron en la última campaña de monitoreo del 2016 una leve acidificación de sus aguas (disminución del pH) respecto a lo detectado en campañas anteriores y a las recomendaciones de esta norma.

Respecto a los usos señalados por la NCh 1333/78, particularmente en riego, la conductividad eléctrica es un parámetro que supera, en al menos una de las campañas realizadas, los valores recomendados en 14 de los 20 APR estudiados a mencionar: Los Romos, Pupuya, Quinta de Tilcoco, Cabaña Blanca, Patagual 2, Paraguas orilla, El Barco, El Niche, Idahue, Juan Nuñez Valenzuela, La Arboleda Valle Hermoso, Los Maitenes Tagua Tagua, Nenquén, El Tambo La Puerta y Pencahue Bajo. Estos valores de conductividad le atribuyen al agua potenciales efectos perjudiciales de ser aplicada en cultivos sensibles.

Respecto a los sólidos disueltos totales se observó una superación de lo recomendado por la norma en las campañas del año 2016 en los APR Quinta de Tilcoco, Pataguas orilla y El Barco, mientras que en Cabaña Blanca se superó la recomendación el 2015 y 2016.

Por otro lado, los APR Las Arañas, Paredones, San Antonio el Cuadro, el Carmen Bajo e Idahue de San Vicente no superaron los límites sugeridos por la NCh 1333/78 para la conductividad ni pH, caracterizándola como un agua donde generalmente no se observarán efectos perjudiciales respecto a su uso en riego.

Tabla 2. Resultados de temperatura, pH, conductividad eléctrica del agua y parámetros el pozo obtenidos de los APR en seguimiento VI región.

Nombre Pozo	Fecha Muestreo	Cond. eléctrica (uS/cm)	Temperatura agua (°C)	pH (Unidades)	SDT (mg/L)	N. Dinám. pozos (m)	N. Estát. pozos (m)	Prof. Pozo (m)
1. Los Romos	22/10/14	864	18,7	6,71	-	34,71	-	37
	02/11/15	740	17,5	7,10	416,0	34,75	33,32	
	28/08/16	843	16,8	6,34	450,0	36,9	36,9	
2. Pupuya	29/10/15	918	19,0	7,23	494,0	80	80	80
	30/08/16	939	17,6	6,75	488,0	68,9	74,1	
3. Las Arañas	21/10/14	424	17,1	6,89	-	-	38,03	40
	30/10/15	402	16,7	7,26	222,0	38,25	32,5	
	31/08/16	423	15,9	6,78	280,0	32,0	37,9	
4. Paredones	03/11/15	213	17,2	6,90	112,9	12	12	12
	30/08/16	263	14,0	6,81	177,0	7,0	7,0	
5. Quinta del Tilcoco	16/10/14	1020	17,1	7,25	-	-	30,40	40
	02/11/15	725	16,2	7,40	397,0	30,54	40	
	29/08/16	825	17,8	6,77	541,0	16,2	-	
6. San Antonio el Cuadro	21/10/14	478	17,8	6,87	-	-	26,55	40
	30/10/15	476	18,9	6,90	259,0	38,21	27,21	
	31/08/16	505	14,5	6,9	284,0	26,6	38,1	
7. Cabaña Blanca	22/10/14	1092	18,1	7,05	-	-	27,90	35
	27/10/15	980	17,5	7,05	508,0	27,8	26,6	
	29/08/16	1045	15,6	6,65	703,0	27,7	29,1	
8. Patagual 2	22/10/14	959	18,2	6,85	-	-	33,00	36
	27/10/15	867	18,2	7,03	467,0	34,21	30,2	
	29/08/16	919	17,4	6,55	296,0	29,4	33,8	
9. Pataguas orilla	22/10/14	958	18,1	7,02	-	-	25,5	30
	27/10/15	840	17,9	7,06	449,0	25,2	24,2	
	29/08/16	894	16,2	6,45	631,0	21,8	22,9	
10. El Carmen bajo	06/11/15	505	17,5	7,40	280,0	79	78,5	110
	31/08/16	545	15,0	6,40	482,0	83,2	83,9	
11. El Barco	23/10/14	1385	19,3	6,68	-	-	78,0	40
	06/11/15	651	17,5	7,40	364,0	38,15	35,0	
	30/08/16	702	18,0	6,70	501,0	35,2	38,2	
12. Cooperativa Auquenco	21/10/14	461	16,8	7,05	-	-	46,5	50
	30/10/15	461	17,0	7,50	232,0	47,3	45,8	
	23/05/16	510	13,7	7,80	-	-	-	
	10/11/16	490	18,4	6,02	-	-	-	
13. El Niche	15/10/14	683	19,0	6,75	-	-	4,7	14
	28/10/15	515	19,0	7,14	246,0	7,22	7,2	
	26/05/16	874	16,2	7,81	-	-	-	

Nombre Pozo	Fecha Muestreo	Cond. eléctrica (uS/cm)	Temperatura agua (°C)	pH (Unidades)	SDT (mg/L)	N. Dinám. pozos (m)	N. Estát. pozos (m)	Prof. Pozo (m)
	11/11/16	474	18,4	7,42	-	-	-	
14.Idahue	14/10/14	1082	16,5	7,03	-	-	28,1	30
	26/10/15	760	19,3	6,80	404,0	27,8	23,3	
	11/04/16	808	16,7	7,11	-	-	-	
	07/11/16	700	18,6	6,21	-	-	-	
	15/10/14	687	17,9	7,53	-	50,45	-	
15.Idahue de San Vicente	28/10/15	429	17,9	7,80	215,0	61,96	46,2	62
	26/05/16	526	17,0	7,42	-	-	-	
	11/11/16	503	18,3	7,24	-	-	-	
	15/10/14	640	18,2	6,80	-	-	37,2	
16.Juan Nuñez Valenzuela Ltda Planta N2	02/11/15	478	17,0	7,40	261,0	36,97	34,5	40
	26/05/16	1243	17,2	7,93	-	-	-	
	11/11/16	500	18,1	6,84	-	-	-	
	23/10/14	1150	19,3	7,80	-	-	67,0	
17. La Arboleda Valle Hermoso	06/11/15	1050	17,2	7,10	264,0	-	-	70
	23/05/16	-	18,1	7,55	-	-	-	
	08/11/16	532	25,2	6,70	-	-	-	
	15/10/14	817	17,8	6,83	-	-	50,4	
18. Los Maitenes Tagua Tagua	28/10/15	620	17,9	7,01	326,0	50,52	49,6	54
	26/05/16	656	17,1	6,76	-	-	-	
	11/11/16	659	17,4	6,31	-	-	-	
	23/10/14	2034	18,1	6,64	-	-	56,1	
19.Nenquén El Tambo La Puerta	03/11/15	657	17,8	7,02	363,0	54,88	53,8	60
	23/05/16	787	17,8	7,36	-	-	-	
	08/11/16	761	19,5	5,93	-	-	-	
	15/10/14	1090	17,0	6,73	-	-	26,0	
20.Pencahue bajo	28/10/15	774	16,8	6,98	412,0	26,1	24,9	30
	11/04/16	1163	17,5	7,43	-	-	-	
	11/11/16	830	17,1	6,58	-	-	-	

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.

A continuación se muestran espacialmente aquellos APR que superaron las recomendaciones otorgadas por las normas de calidad en más de una campaña, particularmente la NCh 1333/78 para uso en riego (Figura 2). Se utiliza este criterio para identificar potenciales tendencias de superación de la norma descartando que sean eventos puntuales. En este mapa se percibe que el 70% de los sectores acuíferos presentan una superación en las recomendaciones de conductividad eléctrica, y en el APR Cabaña Blanca, del sector acuífero Peumo-Pichidegua-Las Cabras, la superación se extiende al contenido de los sólidos disueltos totales.

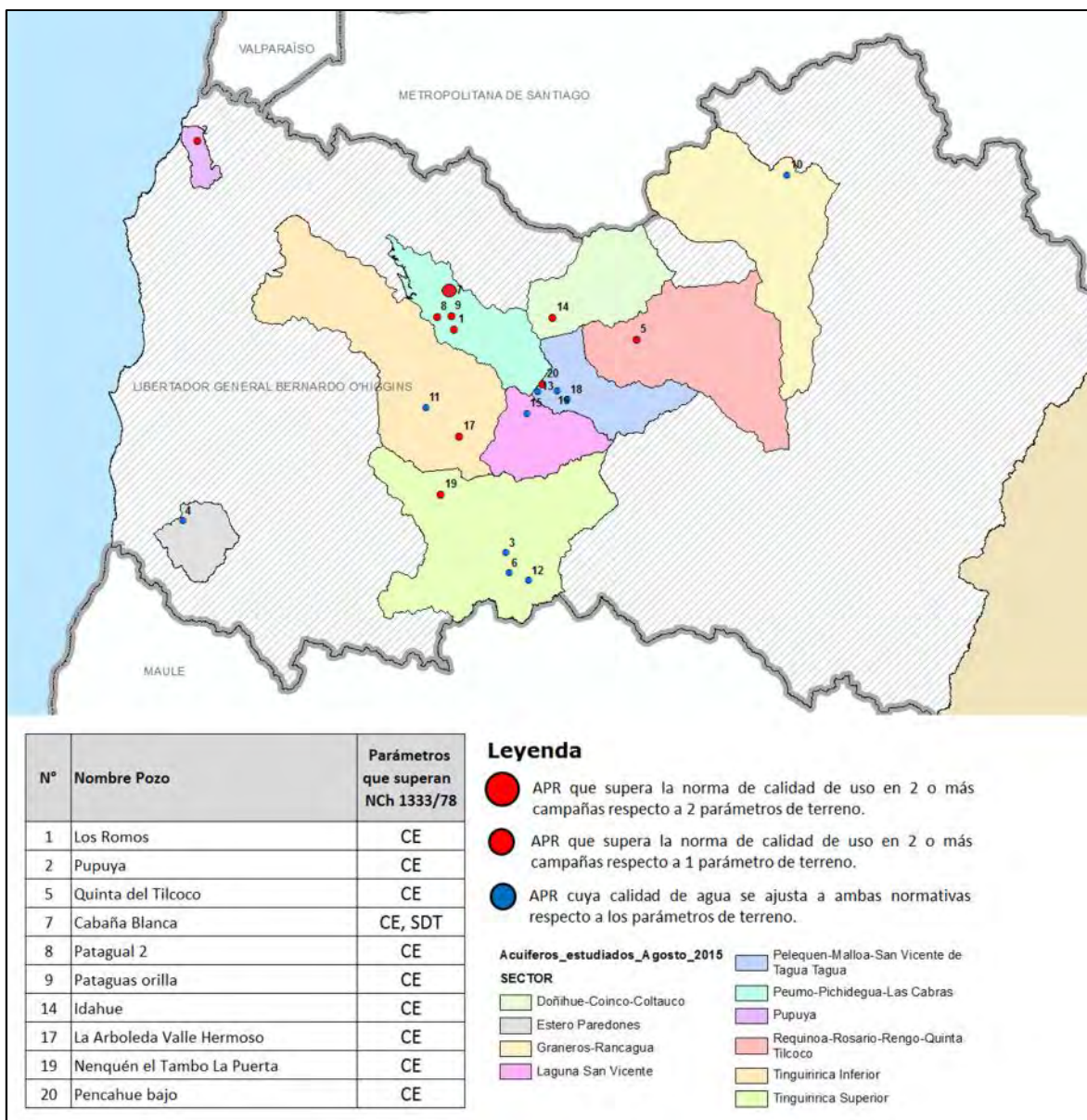


Figura 2. Comparación de los resultados de terreno de los pozos APR en seguimiento con normativa Chilena para uso en riego (NCh 1333/78), VI región del Libertador Bernardo O'Higgins.

4.2. Macroelementos

Al comparar la composición del agua de cada APR entre los años monitoreados (2014 al 2016, Figura 3), se observa que la mayoría de estos tiene un agua sulfatada cálcica (Anexo Figura 8). No así los APR Idahue San Vicente, Pupuya y Paredones que poseen aguas bicarbonatadas sódicas. En el caso de los APR Pupuya y Paredones, la composición del agua podría estar influenciada por su cercanía con la costa (Figura 1).

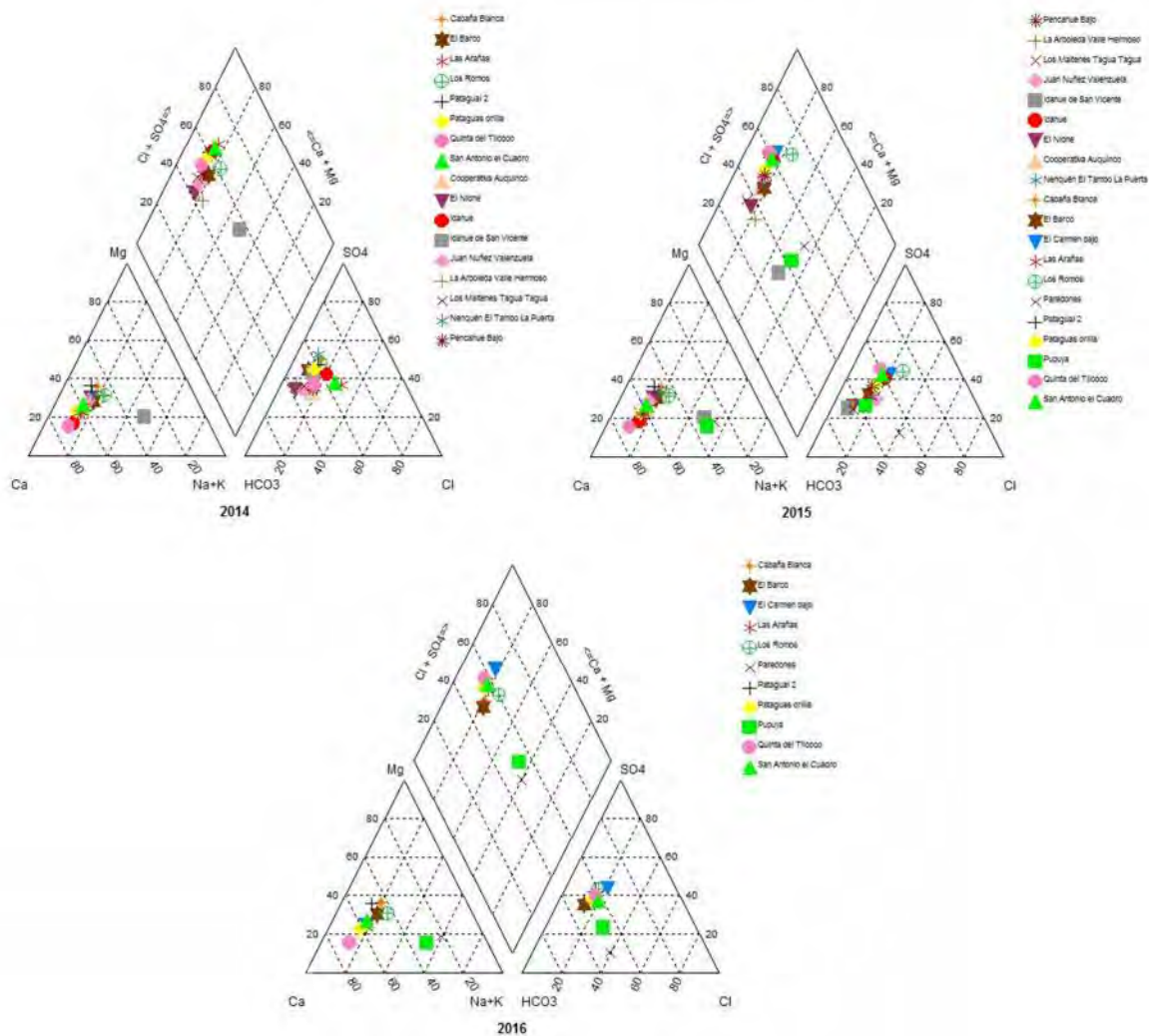


Figura 3. Diagramas de Piper de las campañas realizadas en el año 2014, 2015 y 2016 para los APR de la VI región.

Respecto al cumplimiento de la normativa referencial para uso en riego (NCh 1333/78), el contenido de sulfato en el APR Cabaña Blanca alcanzó el año 2014 un valor superior a la recomendación de la norma (250 mg/L). Este valor es considerado puntual por no repetirse en los años de monitoreo siguientes.

Respecto al sodio porcentual⁴, los valores calculados señalan que en general el agua de todos 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).

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

Tabla 3. Resultados de macroelementos del agua obtenida de los APR en seguimiento VI región y su comparación con la NCh 409/05 y NCh 1333/78.

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. Los Romos	22/10/14	48,2	216,0	219,0	57,4	2,6	101,0	42,0	54
	02/11/15	83,5	186,8	155,5	53,7	3,7	89,2	38,4	54
	28/08/16	50,6	174,6	203,7	54,1	4,4	81,7	35,3	56
2. Pupuya	29/10/15	68,6	145,5	398,5	133,2	7,5	76,4	22,1	79
	30/08/16	121,6	130,2	332,0	133,0	8,0	69,1	20,7	80
3. Las Arañas	21/10/14	60,0	97,8	110,0	18,3	2,1	64,5	16,6	40
	30/10/15	27,4	73,8	155,4	17,9	3,3	60,6	15,8	40
	31/08/16	25,8	71,7	107,0	17,9	3,5	52,3	13,1	44
4. Paredones	03/11/15	36,0	14,9	71,2	29,2	1,0	13,6	5,3	81
	30/08/16	35,7	13,0	79,0	35,5	1,1	11,7	6,0	84
5. Quinta del Tilcoco	16/10/14	44,5	134,4	213,5	24,7	2,9	128,0	16,4	35
	02/11/15	46,8	196,8	220,3	25,9	3,2	142,0	18,3	34
	29/08/16	52,1	157,8	215,3	28,3	3,6	127,0	17,1	38
6. San Antonio el Cuadro	21/10/14	55,0	105,0	125,0	18,6	2,0	68,7	19,0	39
	30/10/15	28,5	98,4	116,6	18,4	3,2	68,5	19,4	38
	31/08/16	31,7	80,4	117,0	19,5	3,5	59,6	17,5	42
7. Cabaña Blanca	22/10/14	59,7	291,9	267,0	52,4	2,8	130,0	60,0	44
	27/10/15	63,1	183,4	349,8	48,3	3,6	112,8	53,1	45
	29/08/16	59,1	187,7	322,1	51,9	4,7	102,0	51,8	48
8. Patagual 2	22/10/14	51,2	248,3	259,0	35,1	2,0	117,0	51,8	37
	27/10/15	65,2	194,9	246,2	33,3	2,7	107,7	48,6	38
	29/08/16	54,6	192,5	242,8	37,8	3,5	107,0	47,9	41
9. Pataguas orilla	22/10/14	50,0	241,0	292,0	35,4	1,7	154,0	33,8	37
	27/10/15	55,9	171,5	278,0	32,4	2,6	133,6	28,5	38
	29/08/16	53,1	169,3	256,2	37,4	3,2	128,0	29,2	42
10. El Carmen bajo	06/11/15	39,6	110,0	120,0	20,3	2,2	70,5	19,0	40
	31/08/16	37,2	103,3	104,0	22,3	2,6	67,9	17,6	43
11. El Barco	23/10/14	30,7	185,0	241,0	31,9	6,9	88,8	29,0	43
	06/11/15	43,9	124,2	253,8	31,1	7,6	86,1	30,7	42
	30/08/16	34,7	120,2	219,0	34,1	7,6	76,6	28,9	46
12. Cooperativa Auquenco	21/10/14	27,8	72,6	140,0	18,7	1,7	65,4	15,8	41
	30/10/15	25,4	78,3	168,4	20,5	3,1	68,1	17,0	41
	23/05/16	8,13	66,1	-	26,3	4,0	56,4	14,4	51
	10/11/16	1,49	82,1	-	23,7	2,9	57,5	14,5	49
13. El Niche	15/10/14	17,4	94,2	201,0	20,3	2,1	60,8	21,0	42
	28/10/15	21,7	74,5	229,9	21,8	2,2	64,2	22,5	42
	26/05/16	2,57	49,4	-	431,1	10,0	52,1	15,6	94

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
	11/11/16	<0,4	44,1	-	28,6	2,3	66,8	9,6	54
14.Idahue	14/10/14	75,0	208,8	235,0	37,5	2,3	157,0	23,3	40
	26/10/15	60,0	166,5	207,0	31,6	2,7	120,7	20,1	41
	11/04/16	35,783	104,2	-	33,1	3,1	93,2	18,1	47
	07/11/16	0,475	119,9	-	26,5	2,8	99,4	17,7	41
15.Idahue de San Vicente	15/10/14	32,5	143,1	186,0	68,6	2,4	38,6	15,2	78
	28/10/15	18,8	75,2	255,8	68,1	2,2	40,0	15,6	77
	26/05/16	<2,5	6,4	-	67,4	3,4	35,7	14,4	78
	11/11/16	<0,4	1,1	-	73,8	2,6	36,7	14,6	80
16.Juan Nuñez Valenzuela Ltda Planta N2	15/10/14	24,3	83,8	166,0	19,2	1,7	60,0	19,1	42
	02/11/15	44,3	88,8	187,8	21,7	1,8	72,0	22,6	40
	26/05/16	30,6	67,7	-	24,4	9,5	58,0	19,5	44
	11/11/16	0,48	70,0	-	34,2	1,9	57,9	19,3	56
17.La Arboleda Valle Hermoso	23/10/14	13,0	99,4	184,0	30,2	1,5	56,6	23,3	52
	06/11/15	18,7	74,1	233,0	30,0	2,1	55,4	24,6	51
	23/05/16	<2,5	70,8	52,5	2,7	55,2	0,1	-	-
	08/11/16	<0,4	67,1	34,6	2,3	52,2	0,0	0,1	7
18.Los Maitenes Tagua Tagua	15/10/14	28,5	119,5	218,0	21,3	2,3	92,0	20,5	37
	28/10/15	34,2	102,5	336,2	22,5	2,3	104,7	23,2	35
	26/05/16	<2,5	91,1	-	28,0	4,1	86,7	21,1	43
	11/11/16	<0,4	104,9	-	25,2	2,5	90,0	21,3	41
19.Nenquén El Tambo La Puerta	23/10/14	33,2	216,7	193,0	31,9	5,0	94,5	35,7	41
	03/11/15	55,5	130,3	279,0	33,2	5,3	90,2	39,3	41
	23/05/16	<2,5	110,6	-	37,4	7,0	78,3	32,4	47
	08/11/16	0,4	134,4	-	34,2	5,9	83,1	34,0	44
20.Pencahue bajo	15/10/14	54,9	149,3	262,0	32,1	1,8	115,0	24,9	41
	28/10/15	52,8	176,0	298,0	36,0	1,8	132,1	28,6	41
	11/04/16	62,5	116,0	-	23,0	15,0	106,4	26,8	31
	11/11/16	0,82	126,3	-	39,3	2,0	111,2	25,0	47

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.

A continuación se muestran espialmente aquellos APR que superaron las recomendaciones otorgadas por las normas de calidad en más de una campaña, particularmente la NCh 1333/78 para uso en riego (Figura 4). Se utiliza este criterio para identificar potenciales tendencias de superación de la norma en vez de eventos puntuales. En este mapa se percibe que la totalidad de los sectores acuíferos presentan una superación en las recomendaciones de sodio porcentual.

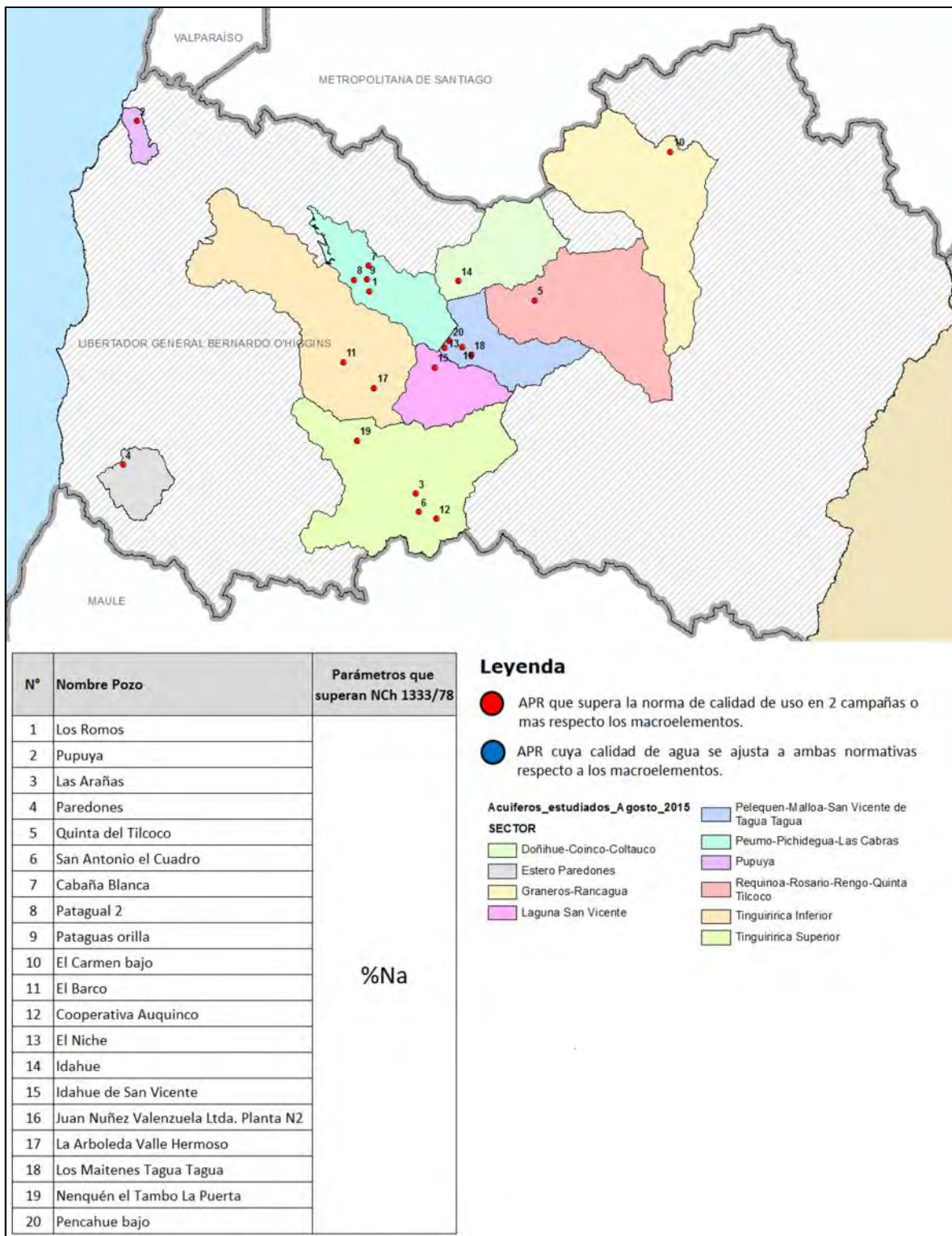


Figura 4. Comparación de los resultados de macroelementos de los pozos APR en seguimiento con normativa Chilena para uso en riego (NCh 1333/78), VI región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

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 2014 y 2016 en todos los APR. En Las Arañas se percibe una leve disminución de las concentraciones entre el 2014 y 2016.

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 Los Romos (2014-2016), Las Arañas (2014), Quinta de Tilcoco (2014 - 2016), San Antonio el cuadro (2014-2016), Cabaña Blanca (2014 - 2016), Patagual 2 (2014 - 2016), Pataguas orilla (2014 - 2016), El Carmen bajo (2015 y 2016), El Barco (2015 y 2016) y Cooperativa Auquenco (2014 y 2015).

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 2014 y 2016 sin identificarse un aumento o disminución entre las campañas. Como se percibe de la Tabla 4, todos 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.

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 cerca del límite de detección de la técnica analítica (<0,1 mg/L) indicando que el aporte de este compuesto es más bien reducido.

Los APR Los Romos, Pupuya, Las Arañas, Cabaña Blanca, Patagual 2 y El Carmen Bajo concentran los contenidos de fosfato más altos en el año 2016. Salvo en el APR Pupuya, estos valores presentan escasa diferencia con aquellos registrados en las campañas anteriores, por tanto podrían considerarse dentro del error analítico.

Respecto a la distribución de los diferentes nutrientes en los pozos muestreados no se observa una agrupación particular de las concentraciones, lo cual puede asociarse a que la mayoría de los pozos se encuentran a una profundidad similar (30-40 m), es decir, estarían expuestos de forma similar a estos compuestos. Aquellos pozos que presentar concentraciones notoriamente diferentes (menores) al general de los APR son el pozo Pupuya y Paredones que se encuentran más cercanos a la costa donde la composición del agua podría estar influenciada por el agua de mar. La influencia del mar en el agua que se extrae de estos pozos puede ser mayor en el pozo

Pupuya respecto al pozo Paredones, principalmente porque el primero se encuentra a una cota de 30 m.s.n.m alcanzando una profundidad de 80 m, mientras que el pozo Paredones se ubica a una cota de 52 m.s.n.m. con una profundidad menor de 12 m.

Tabla 4. Información sobre la profundidad de los pozos y resultados de nutrientes (nitrato, amonio y fosfato) obtenidos de los APR en seguimiento VI región.

Nombre Pozo	Fecha Muestreo	NO3 (mg/L)	NH4 (mg/L)	P-PO4 (mg/L)
1.Los Romos	22/10/14	54,60	<0,01	0,4
	02/11/15	64,20	0,01	0,1
	28/08/16	51,70	<0,01	0,3
2.Pupuya	29/10/15	0,10	0,05	0,1
	30/08/16	0,52	0,67	0,5
3.Las Arañas	21/10/14	34,50	<0,01	0,1
	30/10/15	26,10	0,01	0,1
	31/08/16	21,30	0,02	0,2
4.Paredones	03/11/15	0,66	0,01	0,1
	30/08/16	2,57	0,02	0,1
5.Quinta del Tilcoco	16/10/14	41,30	<0,01	0,1
	02/11/15	50,90	0,01	0,1
	29/08/16	42,00	<0,01	<0,10
6.San Antonio el Cuadro	21/10/14	44,30	<0,01	0,1
	30/10/15	59,30	0,02	0,1
	31/08/16	45,10	0,01	<0,10
7.Cabaña Blanca	22/10/14	45,80	<0,01	0,1
	27/10/15	42,50	0,02	0,1
	29/08/16	43,70	<0,01	0,2
8.Patagual 2	22/10/14	43,40	<0,01	0,1
	27/10/15	41,00	0,02	0,1
	29/08/16	45,90	<0,01	0,2
9.Pataguas orilla	22/10/14	49,00	<0,01	0,1
	27/10/15	32,00	0,02	0,1
	29/08/16	45,90	<0,01	0,1
10.El Carmen bajo	06/11/15	31,50	0,01	0,1
	31/08/16	34,10	<0,01	0,2
11.El Barco	23/10/14	30,00	<0,01	0,3
	06/11/15	33,50	0,01	0,1
	30/08/16	33,90	<0,01	0,2
12.Cooperativa Auquinco	21/10/14	39,20	<0,01	<0,10
	30/10/15	51,30	0,02	0,1
	23/05/16	-	-	-

Nombre Pozo	Fecha Muestreo	NO3 (mg/L)	NH4 (mg/L)	P-PO4 (mg/L)
	10/11/16	26,07*	-	-
13.El Niche	15/10/14	10,10	<0,01	<0,10
	28/10/15	14,40	0,01	0,1
	26/05/16	-	-	-
	11/11/16	10,32*	-	-
14.Idahue	14/10/14	29,60	<0,01	<0,10
	26/10/15	26,70	0,02	0,1
	11/04/16	-	-	-
	07/11/16	10,70*	-	-
15.Idahue de San Vicente	15/10/14	1,30	<0,01	0,90
	28/10/15	0,23	0,03	0,1
	26/05/16	-	-	-
	11/11/16	0,43*	-	-
16.Juan Nuñez Valenzuela Ltda Planta N2	15/10/14	2,00	<0,01	<0,10
	02/11/15	6,60	0,01	0,1
	26/05/16	-	-	-
	11/11/16	3,50*	-	-
17.La Arboleda Valle Hermoso	23/10/14	20,40	<0,01	0,49
	06/11/15	21,20	0,01	0,1
	23/05/16	-	-	-
	08/11/16	17,10*	-	-
18.Los Maitenes Tagua Tagua	15/10/14	9,90	<0,01	<0,10
	28/10/15	0,10	0,01	0,1
	26/05/16	-	-	-
	11/11/16	7,46*	-	-
19.Nenquén El Tambo La Puerta	23/10/14	13,60	<0,01	<0,10
	03/11/15	14,50	0,01	0,1
	23/05/16	-	-	-
	08/11/16	12,57*	-	-
20.Pencahue bajo	15/10/14	20,40	<0,01	<0,10
	28/10/15	18,90	0,01	0,1
	11/04/16	-	-	-
	11/11/16	16,35*	-	-

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

■ : Concentraciones superiores a 30 mg/lit atribuibles a contaminación difusa

*Los análisis de nitrato de estas campañas corresponden a NO3+NO2.

En la figura siguiente se muestran espacialmente aquellos APR que superaron las recomendaciones otorgadas por las normas de calidad en más de una campaña, particularmente la NCh 409/05 para uso potable del agua (Figura 5). En este mapa se observa que en el 50% de los

sectores acuíferos se caracterizan por tener concentraciones de alerta respecto al nitrato, mientras que el APR Los Romos del sector acuífero Peumo-Pichidegua-Las Cabras, indica tener una concentración que supera la recomendación para uso potable de la NCh 409/05.

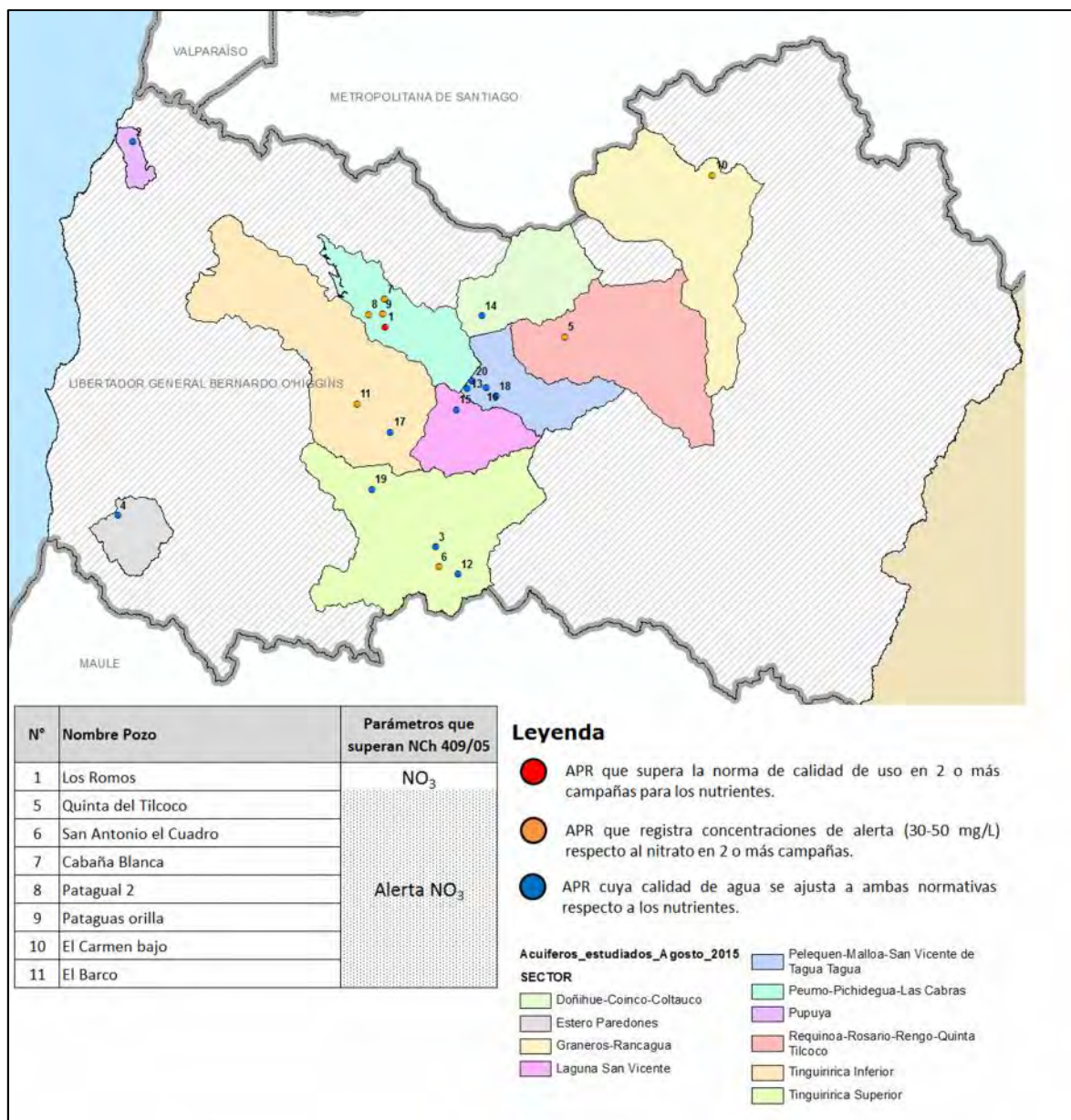


Figura 5. Comparación de los resultados de nutrientes de los pozos APR en seguimiento con normativa Chilena para uso potable del agua (NCh 409/05), VI región del Libertador Bernardo O'Higgins.

4.4. Microelementos

Los elementos cadmio, cobalto, mercurio, níquel y selenio 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 restantes (arsénico, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc), no se aprecia de forma general un aumento o disminución en los valores registrados desde el 2014 hasta el 2016.

Al comparar con la NCh 409/05 para uso potable, se observa que los APR que superaron la recomendación para arsénico fueron Pupuya (2015 y 2016), Idahue de San Vicente (2014 - 2016) y La Arboleda Valle Hermoso (2014). Aquellos que superaron la recomendación para el hierro fueron Pupuya (2015 - 2016), Las Arañas (2015), Paredones (2015), Idahue de San Vicente (2015-2016), Juan Nuñez Valenzuela (2014) y Nenquén El Tambo La Puerta (2015). Solo el pozo Cooperativa Auquenco superó la recomendación para zinc durante 2014 y 2016. Se observó que una gran cantidad de pozos superó la recomendación para manganeso, a mencionar: Pupuya (2015-2016), El Niche (2014-2015), Idahue (2014-2016), Idahue de San Vicente (2014-2016), Juan Nuñez Valenzuela (2014-2016), Los Maitenes Tagua Tagua (2014-2016), Nenquén El Tambo La Puerta (2014-2016) y Pencahue Bajo (2014-2016).

Respecto a la NCh 1333/78, particularmente para su uso en riego, el APR Idahue y San Antonio el Cuadro (ambos en la segunda campaña 2016) superaron la recomendación de cobre. Respecto al manganeso, los APR que superaron la recomendación fueron el Niche (2014-2015), Idahue (2014-2015), Idahue de San Vicente (2014-2016), Juan Nuñez Valenzuela (2014-2016), los Maitenes Tagua Tagua (2014-2016), Nenquén El Tambo La Puerta (2014-2016) y Pencahue Bajo (2014-2016). En cuanto al contenido de zinc el APR Cooperativa Auquenco supera la recomendación para riego. En los APR restantes no se observó superación de los límites recomendados⁵ por la norma NCh 1333/78 en los elementos analizados.

Tabla 5. Resultados de microelementos en el agua obtenida de los APR en seguimiento VI región.

Nombre Pozo	Fecha Muestreo	As (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
1.Los Romos	22/10/14	0,003	<0,02	<0,02	<0,02	<0,07	<0,01
	02/11/15	0,008	<0,02	0,05	<0,02	<0,07	<0,01
	28/08/16	0,002	<0,01	0,09	0,01	0,03	-
2.Pupuya	29/10/15	0,013	<0,02	1,69	0,98	<0,07	<0,01
	30/08/16	0,013	<0,01	2,15	1,18	<0,02	-
3.Las Arañas	21/10/14	0,001	<0,02	0,03	<0,02	<0,07	<0,01
	30/10/15	0,002	0,02	0,81	<0,02	<0,07	0,05
	31/08/16	< 0,001	<0,01	0,16	<0,01	<0,02	-
4.Paredones	03/11/15	0,003	<0,02	1,29	0,02	<0,07	<0,01
	30/08/16	< 0,001	<0,01	0,19	0,03	0,02	-
5.Quinta del Tilcoco	16/10/14	0,002	<0,02	0,27	<0,02	<0,07	0,07
	02/11/15	0,007	<0,02	0,03	<0,02	<0,07	0,03

⁵ El límite de detección de la técnica analítica empleada para determinar plomo (2014 y 2015) era superior a la concentración máxima presente en la NCh 1333/78. Por tanto no se tiene claridad si en las campañas desarrolladas el 2014 y 2015 para el plomo superaron la recomendación de la norma.

Nombre Pozo	Fecha Muestreo	As (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
	29/08/16	0,001	<0,01	0,07	0,01	<0,02	-
6.San Antonio el Cuadro	21/10/14	0,001	<0,02	<0,02	<0,02	<0,07	<0,01
	30/10/15	0,002	< 0,02	0,02	<0,02	<0,07	<0,01
	31/08/16	< 0,001	0,22	<0,02	<0,01	0,02	-
7.Cabaña Blanca	22/10/14	0,005	<0,02	0,02	<0,02	<0,07	<0,01
	27/10/15	0,003	<0,02	<0,02	<0,02	<0,07	<0,01
	29/08/16	0,003	<0,01	<0,02	<0,01	<0,02	-
8.Patagual 2	22/10/14	0,004	<0,02	0,06	<0,02	<0,07	0,02
	27/10/15	0,004	0,04	0,02	0,02	<0,07	0,03
	29/08/16	0,002	<0,01	<0,02	0,05	0,03	-
9.Pataguas orilla	22/10/14	0,002	<0,02	<0,02	<0,02	<0,07	<0,01
	27/10/15	0,002	<0,02	<0,02	<0,02	<0,07	<0,01
	29/08/16	< 0,001	<0,01	0,03	<0,01	0,03	-
10.El Carmen bajo	06/11/15	< 0,001	<0,02	0,03	<0,02	<0,07	<0,01
	31/08/16	< 0,001	<0,01	0,04	0,01	<0,02	-
11.El Barco	23/10/14	0,007	<0,02	<0,02	<0,02	<0,07	<0,01
	06/11/15	0,004	<0,02	<0,02	<0,02	<0,07	<0,01
	30/08/16	0,005	<0,01	<0,02	<0,01	0,02	-
12.Cooperativa Auquinco	21/10/14	< 0,001	<0,02	0,04	<0,02	<0,07	7,55
	30/10/15	0,002	0,188	0,03	<0,02	<0,07	0,05
	23/05/16	<0,001	0,02	0,19	0,028		9,11
	10/11/16	-	0,01	0,05	<0,01	<0,02	7,60
13.El Niche	15/10/14	0,001	<0,02	<0,02	0,62	<0,07	0,02
	28/10/15	0,004	<0,02	<0,02	0,65	<0,07	<0,01
	26/05/16	0,002	<0,02	0,032	0,042	-	0,02
	11/11/16	-	<0,01	<0,02	<0,01	<0,02	0,02
14.Idahue	14/10/14	< 0,001	<0,02	0,06	0,61	<0,07	0,02
	26/10/15	0,002	<0,02	0,03	0,33	<0,07	0,03
	11/04/16	0,001	0,02	0,06	0,103	0,07	0,02
	07/11/16	-	0,22	0,02	0,156	0,02	0,012
15.Idahue de San Vicente	15/10/14	0,034	<0,02	0,29	0,52	<0,07	<0,01
	28/10/15	0,038	<0,02	0,32	0,51	<0,07	0,13
	26/05/16	0,024	<0,02	0,65	0,52	-	0,61
	11/11/16	-	<0,01	0,30	0,53	<0,02	<0,01
16.Juan Nuñez Valenzuela Ltda Planta N2	15/10/14	< 0,001	<0,02	0,34	0,55	<0,07	0,02
	02/11/15	0,003	<0,02	0,20	0,52	<0,07	0,01
	26/05/16	<0,001	<0,02	0,14	0,60	-	0,03
	11/11/16		<0,01	0,15	0,69	<0,02	<0,01
17.La Arboleda Valle Hermoso	23/10/14	0,013	<0,02	<0,02	0,05	<0,07	<0,01

Nombre Pozo	Fecha Muestreo	As (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
	06/11/15	0,007	0,030	0,04	0,057	<0,07	0,12
	23/05/16	0,010	<0,02	0,09	0,063	-	0,03
	08/11/16	-	<0,01	0,04	0,048	<0,02	0,06
18.Los Maitenes Tagua Tagua	15/10/14	< 0,001	<0,02	<0,02	0,41	<0,07	0,02
	28/10/15	0,003	0,036	0,10	0,42	<0,07	0,02
	26/05/16	0,001	<0,02	0,15	0,45	-	0,02
	11/11/16	-	<0,01	0,16	0,48	<0,02	0,07
19.Nenquén El Tambo La Puerta	23/10/14	0,008	<0,02	0,29	0,52	<0,07	0,12
	03/11/15	0,006	<0,02	0,75	0,57	<0,07	0,02
	23/05/16	0,004	<0,02	0,20	0,35	-	0,04
	08/11/16	-	<0,01	0,05	0,45	<0,02	<0,01
20.Pencahue bajo	15/10/14	< 0,001	<0,02	<0,02	0,28	<0,07	0,07
	28/10/15	0,003	<0,02	0,04	0,31	<0,07	<0,01
	11/04/16	0,002	<0,02	0,112	0,24	<0,07	0,02
	11/11/16	-	<0,01	0,02	0,25	<0,02	<0,01

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.

Espacialmente, se destacan algunos sectores acuíferos que agruparon superaciones de las recomendaciones otorgadas por las normas de calidad de agua potable (NCh 409/05) y de riego (NCh 1333/78) en más de una campaña (Figura 6). En este mapa se observa que en el 50% de los sectores acuíferos presentaron concentraciones de microelementos que superaron ambas normativas, a mencionar Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua, Tinquiririca superior, Doñihue-Coinco-Coltauco, Laguna San Vicente y Pupuya, siendo el factor común el contenido de manganeso (salvo por el APR Cooperativa Auquinco donde se superó la norma respecto al zinc). Se destacan los sectores acuíferos de Pupuya y en Laguna San Vicente que registraron tres (3) parámetros que superaron la normativa de agua potable en más de una campaña, siendo estos parámetros el arsénico, hierro y manganeso.

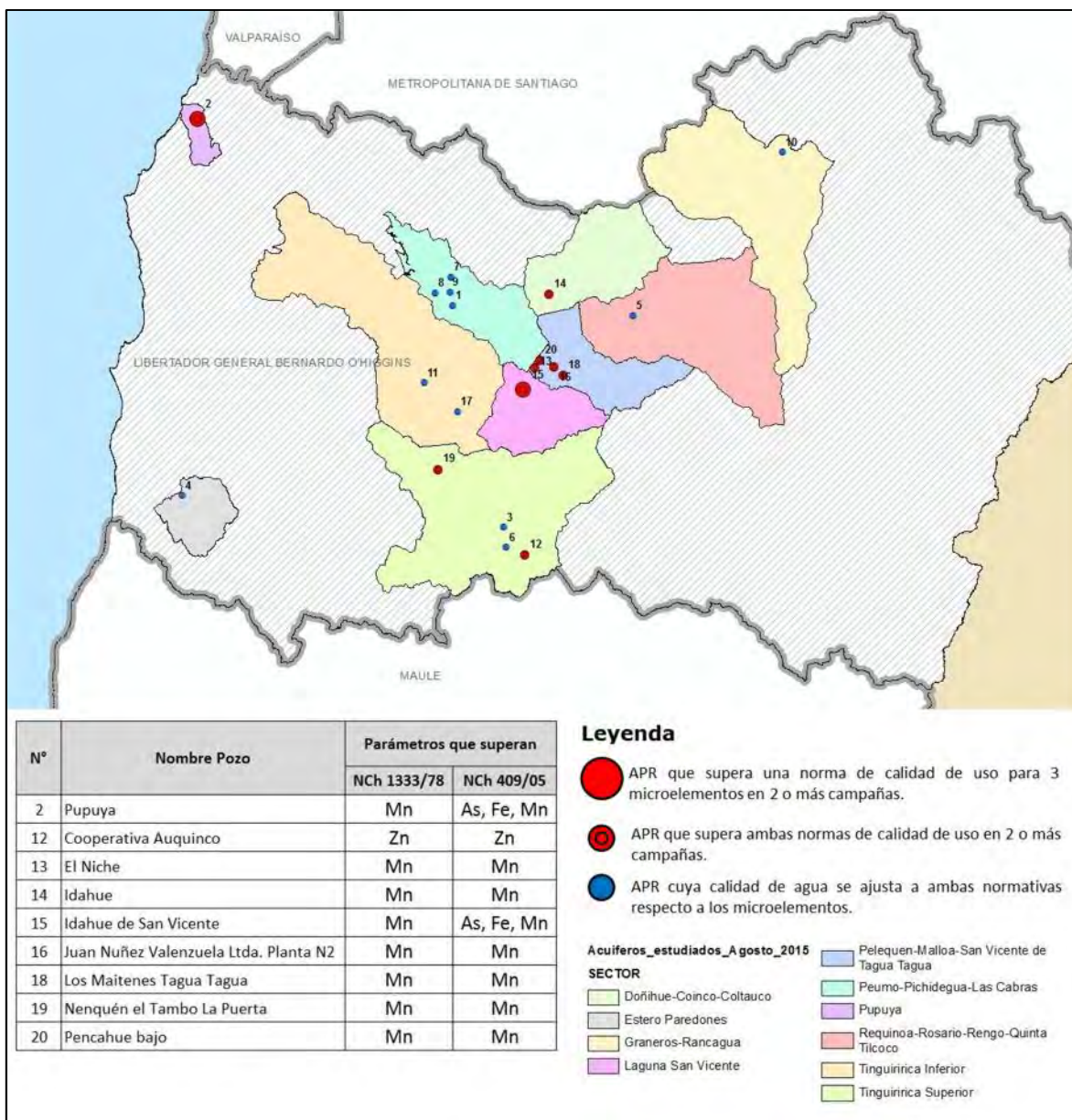


Figura 6. Comparación de los resultados de microelementos de los pozos APR en seguimiento con normativa Chilena para uso potable del agua (NCh 409/05) y para uso en riego (NCh 1333/78), VI región del Libertador Bernardo O'Higgins.

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 de la Calidad de las Aguas Subterráneas de la Región Lib. Bernardo O'Higgins" (DGA 2016), 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 7 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.

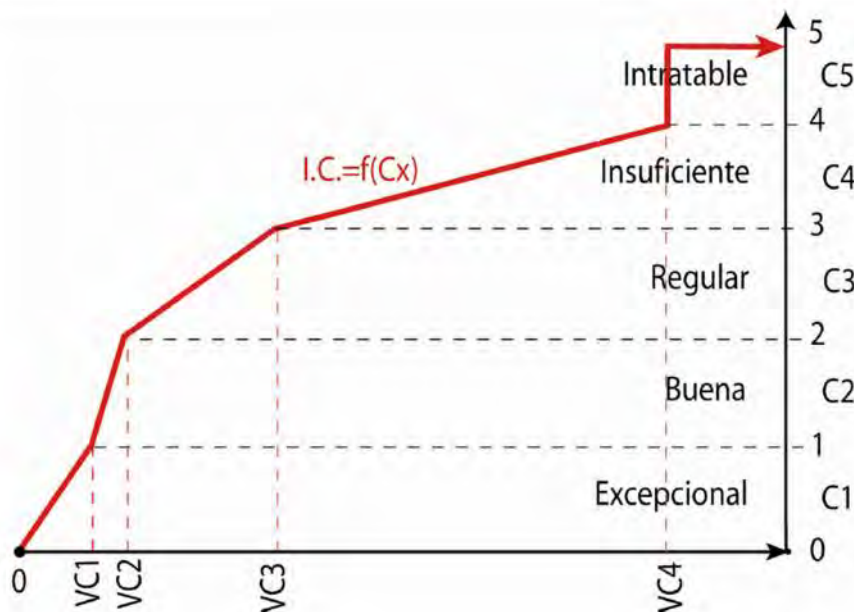


Figura 7. Cálculo de índice de calidad mediante interpolación lineal entre clases⁶.

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.

⁶ Para más detalle se recomienda revisar el Diagnóstico y clasificación de sectores acuíferos (DGA 2009).

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

5.2. 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 (INN), 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	$Si \exists IC_{individual} = 5$ $IC_{general} = 5$
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	$Si \exists 1 < IC_{individual} \leq 4$ $IC_{general} = \max(IC_{individual})_{i=parámetro}$
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	$Si \forall 1 \geq IC_{individual}$ $IC_{general} = \frac{\sum_{i=parámetro} IC_{individual}}{n^{\circ} parámetros}$

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 Diagnóstico y clasificación de sectores acuíferos, 2009.

Los resultados resumidos en la Tabla 9 indican que los APR Las Arañas, Cabaña Blanca, Patagual 2, Pataguas Orilla, El Carmen bajo y El Barco han mantenido una calidad Buena a través de las campañas 2014 al 2016. Se destaca el APR Paredones que señala una calidad Excepcional entre el año 2015 al 2016.

Los APR Los Romos y Pupuya señalan una calidad Regular, la cual se extiende entre el 2014 al 2016 en Los Romos, y entre el 2015 y 2016 en Pupuya.

Los APR Quinta del Tilcoco y San Antonio el Cuadro indican que su calidad pasó de Buena a Regular y nuevamente a Buena entre el 2014 y el 2016. En estos APR el parámetro que causó esta fluctuación en la calidad fue el nitrato, el cual se encuentra en el límite de ambas clases. Esto implica que si se aplican medidas para controlar este contaminante es posible mantener una calidad Buena del agua en estos APR.

En los APR que pertenecen a la red de monitoreo rutinario de la VI región (N°12 al 20 de la Tabla 9) no fue posible calcular el Índice de calidad general por falta de datos en ambas campañas del año 2016, en detalle, no se cuenta con información de nitrógeno de nitrito y nitrato ($N-(NO_2+NO_3)$) para la primera campaña de otoño (26/05/16), y no fue posible analizar arsénico en la segunda campaña de primavera (11/11/16) porque el equipo de Espectrometría de Absorción Atómica presentó una falla durante el 2016.

Tabla 9. Evolución temporal de los Índices de calidad general de aguas de los años 2014, 2015 y 2016 en las estaciones de seguimiento de la VI región del Libertador Bernardo O'Higgins.

N°	Nombre Pozo	2014	2015	2016
		Primavera	Primavera	Invierno*
1	Los Romos	Regular	Regular	Regular
2	Pupuya	-	Regular	Regular
3	Las Arañas	Buena	Buena	Buena
4	Paredones	-	Excepcional	Excepcional
5	Quinta del Tilcoco	Buena	Regular	Buena
6	San Antonio el Cuadro	Buena	Regular	Buena
7	Cabaña Blanca	Buena	Buena	Buena
8	Patagual 2	Buena	Buena	Buena
9	Pataguas orilla	Buena	Buena	Buena
10	El Carmen bajo	-	Buena	Buena

N°	Nombre Pozo	2014	2015	2016
		Primavera	Primavera	Invierno*
11	El Barco	Buena	Buena	Buena
12	Cooperativa Auquinco	Buena	Regular	-
13	El Niche	Buena	Buena	-
14	Idahue	Buena	Buena	-
15	Idahue de San Vicente	Regular	Regular	-
16	Juan Nuñez Valenzuela Ltda. Planta N2	Excepcional	Excepcional	-
17	La Arboleda Valle Hermoso	Regular	Buena	-
18	Los Maitenes Tagua Tagua	Excepcional	Buena	-
19	Nenquén el Tambo La Puerta	Buena	Buena	-
20	Pencahue bajo	Buena	Buena	-

*En los pozos APR en seguimiento que no pertenecen a la red de monitoreo de la VI región la campaña del año 2016 se realizó durante invierno.

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. 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, aquel que presentó la mayor cantidad de parámetros desviados respecto a una o ambas normativas por más de una campaña fue el ARP Pupuya con 6 parámetros (NCh 1333: CE, %Na, Mn y NCh 409: As, Fe, Mn) siguiendo el APR Idahue de San Vicente con 5 parámetros (NCh 1333: %Na, Mn y NCh 409: As, Fe, Mn). Los APR restantes presentaron una menor cantidad de desviaciones destacando que la mayoría se relaciona la conductividad y sodio porcentual, nitrato y manganeso.

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 2014 y 2016 para el uso más sensible del agua; el consumo humano. Los resultados indican que existen tres APR cuya calidad debe ser mejorada antes de disponer al consumo humano, a mencionar: Pupuya, Los Romos e Idahue de San Vicente. La calidad del APR Pupuya e Idahue de San Vicente debe ser mejorada respecto al arsénico, mientras que la calidad de Los Romos debe ser mejorada respecto al nitrato. 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 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.

Se recomienda compartir estos resultados con la DOH regional, y Comités de APR para así buscar los mecanismos o acciones para prevenir un detrimento mayor de la calidad a nivel de fuente.

Se recomienda el 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. Se recomienda continuar todos los años con el análisis de los datos levantados con el objeto de observar la evolución de la calidad en el tiempo y además, analizar la calidad del agua en los sectores acuíferos con una menor cantidad de información, a mencionar: Graneros Rancagua hacia el sur, Quinta del Tilcoco hacia el este y Tinguiririca-inferior hacia el noroeste, esto para delimitar la influencia de la salinización, nitratos y elementos como el arsénico, hierro y manganeso en el agua.



Daniela Fredes

Profesional Unidad de Desarrollo Depto. Conservación y Protección Recursos Hídricos

Dirección General de Aguas



Diego San miguel Cornejo

Jefe Unidad de Desarrollo Depto. Conservación y Protección Recursos Hídricos

Dirección General de Aguas

6. 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.

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.

7. Anexo

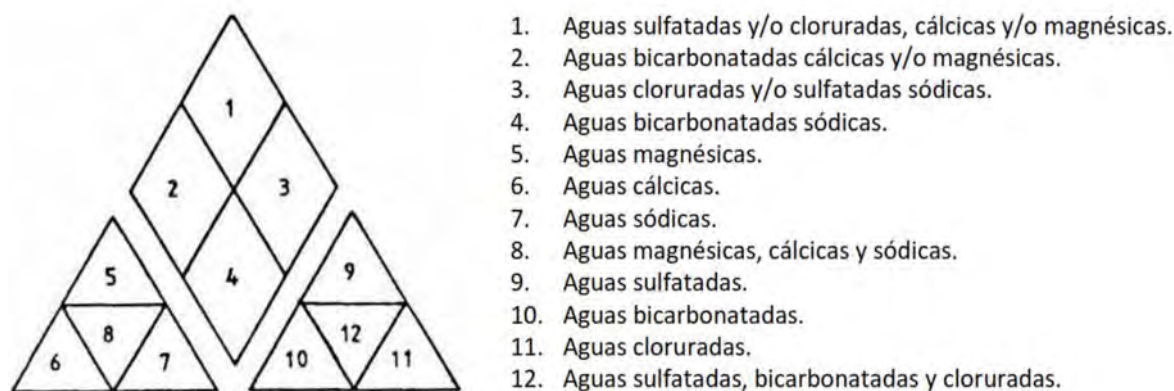


Figura 8. Clasificación de los diversos tipos de agua según el Diagrama de Piper.

Tabla 10. Laboratorios, metodología analítica y límites de detección involucrados en cada análisis realizado a las muestras de APR de la VI región.

Parámetros	Campaña	LD	Laboratorio	Metodología
Conductividad eléctrica	2014-2016	-	DGA	Nch 411/3 Of. 2014
Temperatura agua	2014-2016	-	DGA	Nch 411/3 Of. 2014
pH	2014-2016	-	DGA	Nch 411/3 Of. 2014
Potencial Redox	2015-2016	-	Analab	S.I.
SDT	2015	5	Analab	NCh 409 Manual SISS-2007
	2016			
Cl	2014	1	Analab	ME-28-2007
	2015			
	2016			
	2016	<2,5	DGA	SM 4500-Cl C
	2016	<0,4	DGA	
SO ₄	2014	1	Analab	ME-30-2007
	2015			
	2016			
	2016	3,5	DGA	SM 4500 SO ₄ ²⁻ E
	2016	1,1	DGA	
HCO ₃	2014	1	Analab	SM 2320 B Ed 22-2012
	2015			
	2016			
Na	2014	0,2	Analab	SM 3111 B-D Ed 22-2012
	2015			
	2016			
	2016	0,1	DGA	SM 3111 B
K	2014	0,2	Analab	SM 3111 B-D Ed 22-2012
	2015			
	2016			
	2016	0,2	DGA	SM 3111 B
Ca	2014	0,4	Analab	SM 3111 B-D Ed 22-2012
	2015			
	2016			
	2016	0,1	DGA	SM 3111 B
Mg	2014	0,1	Analab	SM 3111 B-D Ed 22-2012
	2015			
	2016			
	2016	0,01	DGA	SM 3111 B
NO ₃	2014	0,01	Analab	ME-16-2007
	2015			
	2016			
N-(NO ₂ +NO ₃)	2016	0,01	DGA	Método Salicilato Rodier, 1981

Parámetros	Campaña	LD	Laboratorio	Metodología
NH4	2014	0,01	Analab	ME-27-2007
	2015			
	2016			
P-PO4	2014	0,1	Analab	SM 3120 B Ed 22-2012
	2015			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	2014	0,001	DGA	Método SM 3114B
	2015			
	2016			
	2016	0,001	DGA	Propia Basada en SM 3114B. 4e
Cd	2014	0,01	DGA	Método SM 3111B
	2015			
	2016			
	2016	0,01	DGA	SM 3111 B
Co	2014	0,04	DGA	Método SM 3111B
	2015			
	2016			
	2016	0,02	DGA	Método SM 3111B
Cu	2014	0,02	DGA	Método SM 3111B
	2015			
	2016	0,01		
Fe	2014	0,02	DGA	Método SM 3111B
	2015			
	2016			
Hg	2014	0,002	DGA	Método SM 3112B
	2015	0,0005		
	2016	0,002		
Mn	2014	0,02	DGA	Método SM 3111B
	2015			
	2016	0,01		
Ni	2014	0,05	DGA	Método SM 3111 B
	2015			
	2016			
Pb	2014	0,07	DGA	Método SM 3111 B
	2015			
	2016	0,02		
Ag	2014	0,01	DGA	Método SM 3111B
	2016			

Parámetros	Campaña	LD	Laboratorio	Metodología
Se	2014	0,001	DGA	Método SM 3114B
	2015			
	2016			
Zn	2014	0,01	DGA	Método SM 3111 B
	2015			
	2016			

Tabla 11. Microelementos que registraron valores bajo el límite de detección en todos los APR muestreados de la VI región.

Nombre Pozo	Fecha Muestreo	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Hg (mg/L)	Ni (mg/L)	Se (mg/L)
Los Romos	22/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
	02/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	28/08/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
Pupuya	29/10/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	30/08/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
Las Arañas	21/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
	30/10/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	31/08/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
Paredones	03/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	30/08/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
Quinta del Tilcoco	16/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
	02/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	29/08/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
San Antonio el Cuadro	21/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
	30/10/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	31/08/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
Cabaña Blanca	22/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
	27/10/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	29/08/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
Patagual 2	22/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
	27/10/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	29/08/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
Pataguas orilla	22/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
	27/10/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	29/08/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
El Carmen bajo	06/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	31/08/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
El Barco	23/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001

Nombre Pozo	Fecha Muestreo	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Hg (mg/L)	Ni (mg/L)	Se (mg/L)
	06/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	30/08/16	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
Cooperativa Auquingo	21/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
	30/10/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	23/05/16	-	-	-	-	-
	10/11/16	<0,01	<0,04	-	<0,05	-
El Niche	15/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
	28/10/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	26/05/16	-	-	-	<0,05	-
	11/11/16	<0,01	<0,04	-	<0,05	-
Idahue	14/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
	26/10/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	11/04/16		<0,04	<0,002	<0,05	0,001
	07/11/16	<0,01	<0,04		<0,05	
Idahue de San Vicente	15/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
	28/10/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	26/05/16	-	-	-	<0,05	-
	11/11/16	<0,01	<0,04	-	<0,05	-
Juan Nuñez Valenzuela Ltda Planta N2	15/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
	02/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	26/05/16	-	-	-	<0,05	-
	11/11/16	<0,01	<0,04	-	<0,05	-
La Arboleda Valle Hermoso	23/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
	06/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	23/05/16	-	-	-		-
	08/11/16	<0,01	<0,04	-	<0,05	-
Los Maitenes Tagua Tagua	15/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
	28/10/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	26/05/16	-	-	-	<0,05	-
	11/11/16	<0,01	<0,04	-	<0,05	-
Nenquén El Tambo La Puerta	23/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
	03/11/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	23/05/16	-	-	-	-	-
	08/11/16	<0,01	<0,04	-	<0,05	-
Pencahue bajo	15/10/14	<0,01	<0,04	<0,002	<0,05	<0,001
	28/10/15	<0,01	<0,04	<0,0005	<0,05	<0,001
	11/04/16	-	-	-	<0,05	<0,001
	11/11/16	<0,01	<0,04	-	<0,05	-