



DEPTO. CONSERVACIÓN Y
PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS
PROCESO N° 12115953

MINUTA: DCPRH N° 17/
MAT.: Programa plurianual de
monitoreo de pozos APR
(2018-2021).
SANTIAGO, 29 de junio de 2018

1 Introducción

1.1 Rol de la DGA en el monitoreo de la calidad del agua

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

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

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

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

1.2 Importancia del agua subterránea

En el planeta el porcentaje de agua subterránea es menor que el 2% del monto total de agua, esto es de suma importancia considerando que representa el 98% del agua apta para consumo humano (Ibanez, y otros 2006). En Chile las aguas subterráneas son muy importantes como fuente de agua potable para la población urbana y rural, y para la actividad minera y agricultura de las regiones del norte y centro del país (Banco Mundial 2011), sin dejar de mencionar las interacciones de este sistema con aquellos superficiales, ya sean bióticos o abióticos.

De acuerdo al Banco Mundial (2011) la sostenibilidad de los acuíferos en Chile encuentra en riesgo porque existe un sobre otorgamiento de derechos de aprovechamiento que excede la capacidad de explotación, y además porque existe una deficiente gestión de su calidad, la cual merma aún más la disponibilidad del recurso al ser un sistema particularmente vulnerable. Esta gestión deficiente se atribuye, entre otras razones, a la falta de información respecto a su cantidad y calidad.

1.3 Desarrollar la red de calidad de aguas subterráneas

Ante el panorama antes descrito la DGA realizó un estudio de su red de calidad de aguas subterráneas denominado “Diagnóstico y desafíos de la red de calidad de aguas subterráneas” (Dirección General de Aguas (DGA) 2017), donde se hace un análisis de la red y se plantea un conjunto de desafíos en el corto y mediano plazo para su optimización (Dirección General de Aguas (DGA) 2017). El diagnóstico se realizó sobre la situación al año 2015, se evaluó un conjunto de aspectos técnicos y económicos en miras de identificar temáticas prioritarias de acción, dentro de los cuales se destaca el desafío de densificar la red. Respecto a esto, se propone e implementa una metodología para cuantificar el déficit teórico de pozos de monitoreo a escala regional y por acuífero. Con los resultados obtenidos para las 9 regiones con acuíferos delimitados¹ se estimó un déficit teórico de 1140 pozos (17 veces el tamaño de la red en el año 2015), el cual derivó en la propuesta de metas y líneas de acción al año 2018 asociadas a 3 objetivos estratégicos, a saber: I. Mejorar la cobertura espacial de la Red en 600 pozos adicionales; II Optimizar la operatividad de la Red; y III. Sustentar técnicamente la interpretación de los datos generados por la Red.

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

Las regiones donde se realizaron los diagnósticos de calidad de agua fueron en Libertador Bernardo O’Higgins, Valparaíso, Metropolitana y Coquimbo, resultando las siguientes publicaciones: “Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la Región Lib. Bernardo O’Higgins” (S.D.T. N°368 de 2015 y S.D.T N°383 de 2016); “Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas en la región Metropolitana – Complementario Diagnóstico Plan Maestro de Recursos Hídricos Región Metropolitana de Santiago” (S.D.T. N° 390 de 2016); “Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la región de Valparaíso” (S.D.T. N° 382 de 2016); “Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la región de Coquimbo” (S.D.T. N° 397 de 2017)². Durante el año 2017 se ejecutó el diagnóstico de la región del Maule, cuyo informe se encuentra en elaboración.

Estos diagnósticos no sólo permitieron levantar información de línea de base de calidad de agua y difundirla, sino que además contribuyeron con la densificación de la red pues a estos pozos se les asignó un código BNA³, el cual permite almacenar la información de calidad de los seguimientos

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

² Los diagnósticos de calidad de agua realizados se encuentran disponibles en el catálogo bibliográfico de la DGA (<http://sad.dga.cl/>) ingresando el S.D.T. Actualmente se encuentra en elaboración el diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la región del Maule.

³ Corresponde al código único que tiene cada estación de monitoreo de la DGA en la cual se representa la cuenca, subcuenca y sub-subcuenca donde se emplaza la estación. Este código proviene del Sistema Banco Nacional de Aguas,

que se realicen. A la fecha se han codificado 332 pozos APR y se han realizado dos informes de seguimientos de la calidad en la región de Valparaíso (Minuta N°37/2017) y la región del Libertador Bernardo O'Higgins (Minuta N°20/2017)⁴. A continuación se muestra un resumen de los acuíferos, SHAC⁵ y acuíferos preliminares abarcados con los estudios mencionados.

Tabla 1. Cobertura espacial de los diagnósticos de calidad de agua subterránea realizados por el DCPRH entre el 2014 y 2017 representado en cantidad de acuíferos, SHAC y Acuíferos preliminares por región.

Año	Región	Diagnósticos de calidad de agua – cobertura espacial		
		Acuíferos	SHAC	Acuíferos Preliminares
2014	Libertador Bernardo O'Higgins	5	13	-
2015	Libertador Bernardo O'Higgins	6	7	-
2015	Valparaíso	11	16	-
2015	Región Metropolitana	3	22	1
2016	Coquimbo	6	33	1
2017	Maule*	3	5	6

*El Diagnóstico de la calidad de agua subterránea de esta región se encuentra en elaboración.

1.4 Objetivo

Con miras a mejorar el conocimiento de la calidad del agua de Chile, particularmente del agua subterránea, se decide elaborar un plan de monitoreo de mediano plazo (2018-2021) que permita disminuir el déficit de estaciones que tiene la red y que nos otorgue mejor información para proteger y gestionar nuestros acuíferos.

2 Programa de muestreo y análisis de calidad de agua

2.1 Diseño de muestreo

2.1.1 Tipo de muestreo

El muestreo y parte del análisis de muestras será externalizado a través de licitaciones públicas, como se ha desarrollado en los estudios de diagnóstico de calidad de agua realizados por la DGA⁶.

2.1.2 Frecuencia de muestreo

De acuerdo a los estudios de diagnóstico de calidad de agua que se han realizado a la fecha⁷ y a la programación que tiene la red actual de monitoreo de aguas subterráneas⁸, la frecuencia mínima de monitoreo de fuentes de pozos APR será de 1 vez durante el programa plurianual. Se considerará como recomendación el aumentar esta frecuencia de acuerdo a la calidad del agua analizada u otras necesidades levantadas durante el programa (consultar sección 3.1. Impactos directos).

2.1.3 Análisis de calidad de agua

La calidad del agua de los APR se conocerá a través de una batería de parámetros listados en la Tabla 2, los cuales se dividen en básicos y complementarios. Los parámetros básicos son aquellos que entregan información general de la composición fisicoquímica del acuífero, por otro lado, los

una base de datos orientada al almacenamiento, procesamiento y difusión de estadística hidrometeorológica y de calidad de aguas proporcionada por las estaciones de monitoreo DGA a lo largo del país.

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

⁵ Sector hidrogeológico de aprovechamiento común (SHAC): Acuífero o parte de un acuífero que por sus características hidrológicas se puede gestionar o administrar de manera independiente (http://www.dga.cl/legislacionynormas/normas/Reglamentos/Reglamento_Aguas_Subterranas.pdf).

⁶ Estudios licitados por el DCPRH a la fecha de publicación de este documento: O'Higgins 1019-97-LE14, Valparaíso 1019-101-LE15, Coquimbo 1019-60-LE16, Maule 1019-46-LE17, Biobío 1019-15-LE18.

⁷ Consultar 1.3 Desarrollar la red de calidad de aguas subterráneas

⁸ Minuta DCPRH N°44/2017: Programación de muestreo para el año 2018 correspondiente a la Red Rutinaria de Calidad de Aguas Superficial, Subterránea y Normas Secundarias de Calidad de Aguas NSCA.

parámetros complementarios son requeridos a medida que se reconoce un potencial problema de contaminación en el acuífero.

La selección de los parámetros básicos antes mencionados responde a la necesidad de conocer la composición del agua y así identificar esta con la mineralogía del lugar y con las actividades desarrolladas en la cuenca. La relación con la mineralogía se logra analizando la composición de cationes (calcio, potasio, sodio y magnesio) y aniones (bicarbonato, sulfato, cloruro) además de otros parámetros como el pH, sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica, mientras que la relación con las actividades desarrolladas en la cuenca se perciben a través del contenido de nitrato, amonio, fosfato, y arsénico.

Los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica permiten reconocer si un agua se encuentra muy mineralizada (a mayores valores de estos parámetros mayor tiempo en contacto con material geológico) (Postma y Apello 2013) o si se encuentra mezclada con otro tipo de agua (lluvia o agua de río que usualmente presentan valores bajos de estos parámetros). Los nutrientes (nitrato, amonio y fosfato) reflejan contaminación difusa de actividades agrícolas y pecuarias (particularmente fertilizantes, y descargas orgánicas). El arsénico es un metaloide abundante en la geología de Chile (principalmente en la zona norte) (Sacha y O’Ryan 2008), su ciclo bioquímico es afectado directamente por la extracción de minerales, aumentando su movilización en el ambiente y por tanto sus concentraciones en el agua (Mason 2013). Siendo considerado un elemento tóxico para personas (Sacha y O’Ryan 2008)⁹, se asume necesario el identificar la presencia de este y si esta puede llegar a niveles de alerta para la salud.

Finalmente, el pH y potencial redox indican cuales formas de los compuestos o elementos (especiación) (Stumm y Morgan 1996) podrían estar biodisponibles o reactivas, y cuáles no.

Los análisis de los parámetros químicos básicos serán divididos entre el laboratorio ambiental de la DGA y un laboratorio externo de apoyo.

Tabla 2. Análisis de terreno y químicos a realizar en las muestras de agua de los APR contemplados en este programa.

Clasificación	Parámetro	Responsable
Parámetros de terreno (Básicos)	Temperatura	Externo capacitado
	Ph	
	Potencial de óxido reducción	
	Conductividad eléctrica	
Parámetros químicos (Básicos)	Cloruro	Laboratorio DGA y laboratorio externo
	Sodio	
	Potasio	
	Calcio	
	Magnesio	
	Nitrato	
	Amonio	
	Sulfato	
	Bicarbonato	
	Fosfato	
	Alcalinidad total	
	Sólidos disueltos totales	
	Arsénico	
Otros parámetros de interés	Metales metaloides	Laboratorio DGA y

⁹ Existe evidencia de lesiones vasculares, respiratorias y cutáneas por ingerir agua contaminada con arsénico.

Clasificación	Parámetro	Responsable
(Complementarios)	nutrientes hidrocarburos etc.	laboratorio externo

2.1.4 Programación en 4 años

La programación del muestreo de calidad de aguas en el programa plurianual depende de si se ha levantado o no información de calidad de agua en un área por el DCPRH, se identifique esta última como un acuífero, SHAC o acuífero preliminar¹⁰ (Figura 1). Se recuerda que no todo Chile tiene estudiados sus acuíferos, a la fecha en la macrozona Austral no se ha identificado ningún acuífero, lo que no debe ser interpretado como la inexistencia de estas unidades (Dirección General de Aguas (DGA) 2016). Independiente si el área donde se estudiará la calidad del agua subterránea tiene estudios de acuíferos o no los tiene se consideran dos opciones: I. Áreas sin información de calidad de agua levantada por el DCPRH y II. Áreas con información de calidad del DCPRH (Figura 1).

Las áreas sin información de calidad de agua son aquellas cuyos APR disponibles no han sido estudiados por el DCPRH y por tanto requieren de una i. “Línea Base” de calidad de agua. Por otro lado, las áreas con calidad de agua DCPRH son aquellas donde se ha levantado información de calidad de agua, sin embargo ii. Su situación requiere ser robustecida (ej.: el área estudiada es de tal dimensión que requiere abarcar una mayor cantidad de APR que el realizado en el levantamiento inicial), o iii. Se han estudiados todos los APR disponibles del área pero se considera necesario hacer un seguimiento a algunos que presentan una calidad cuestionable¹¹ de agua (Figura 1).

De acuerdo a lo descrito, se establecieron prioridades para los distintos requisitos de información de calidad de agua, siendo primera prioridad la “Línea de Base”. El robustecer la línea de base y hacer seguimiento a pozos APR se consideran tareas equivalentes y complementarias al levantamiento de línea de base (Figura 1). Con estos criterios se elaboró un programa de monitoreo de APR que abarca el periodo 2018 – 2021 y 13 de las 15 regiones existentes en Chile (no se incluyeron la Region de Aysen ni la Region de Magallanes)

¹⁰ Acuíferos con recarga preliminar (acuíferos preliminares): son aquellos sectores acuíferos que no cuentan con una estimación de recarga y que presentan demanda de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas (<http://documentos.dga.cl/SUB5563.pdf>).

¹¹ Llámese calidad cuestionable si el agua posee una clasificación regular, insuficiente o intratable. Las definiciones de estas clasificaciones están en el

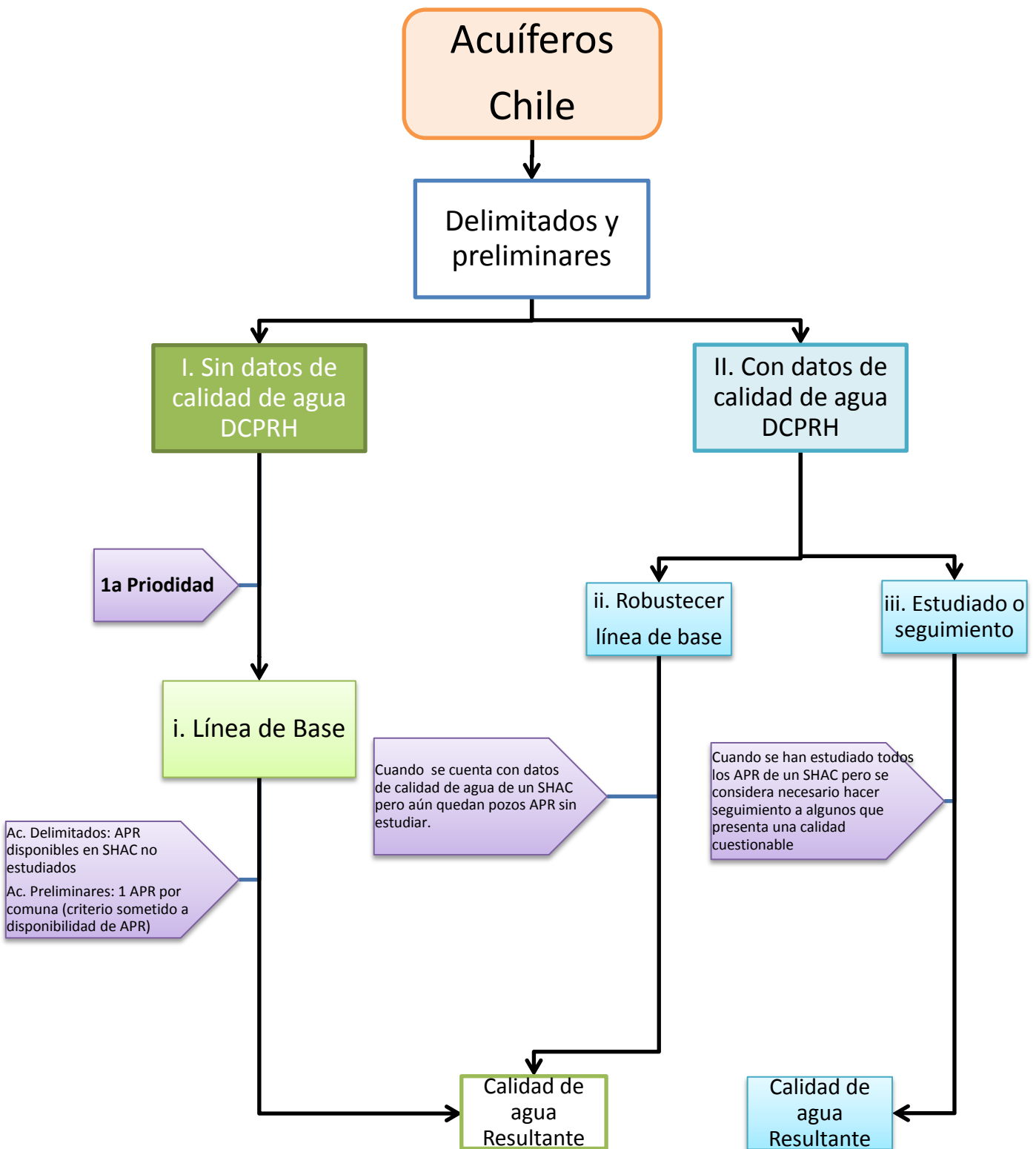


Figura 1. Diagrama de decisiones del monitoreo de APR en el programa plurianual 2018-2021.

Tabla 3. Programa Plurianual de monitoreo de calidad de agua (CA) subterránea de APR 2018-2021 priorizado por necesidad de información, LB: Línea de Base y RS: Robustecimiento de línea de base y seguimiento.

Etapa	Año	Necesidad de información (por región)	APR Línea Base	APR Seguimiento + Robustecimiento LB	Cobertura espacial línea de base (LB)		
					Acuíferos	SHAC	Acuíferos Preliminares
1°	2018	LB (VIII), RS (IV, V, VI, VII)	160	110	-	-	76
2°	2019	LB (XV, I, II, III), RS (a definir)	113	A definir	54	83	11
4°	2020	LB (XIV), RS (IX, a definir)	19	≥32*	-	-	11
3°	2021	LB (X), RS (a definir)	32	A definir	-	-	31
Total APR de LB al final del periodo			324				

(-) Aún no se cuentan con acuíferos ni SHAC definidos para estas regiones.

* A partir del “Estudio Hidrogeológico, Región de la Araucanía” (Dirección General de Aguas 2016) se identificaron 32 pozos que requieren de un seguimiento porque su calidad respecto a las normativas de agua potable (D.S. 409/05) y riego (NCh 1333/87) presenta desviaciones.

Conocer la calidad del agua resultante de cada APR generará impactos directos en la forma en que se monitorean estos pozos, como también impactos indirectos relacionados con el uso de la información, situaciones que se describen en la sección siguiente.

3 Impacto del programa plurianual

3.1 Impactos directos

Los impactos directos del programa plurianual son dos: El aumento de la densidad de la red de monitoreo de aguas subterráneas y la evaluación del monitoreo de los pozos APR a partir de la información de calidad.

3.1.1 Densificación de la red de calidad de aguas subterráneas

El origen y justificación de las necesidades de densificar la red de calidad de aguas subterráneas se describe con más detalle en la sección 1.3 Desarrollar la red de calidad de aguas subterráneas.

De acuerdo a los estudios realizados por la DGA tendientes a identificar e implementar mejoras en la red de calidad de aguas subterráneas se establecieron objetivos concretos de densificación de acuerdo a sus limitaciones (presupuestarias, técnicas, administrativas, etc.), imponiéndose de forma interna el aumentar su red en 600 puntos adicionales desde la publicación del Diagnóstico (Dirección General de Aguas (DGA) 2017). El aumento actual que ha alcanzado la red hasta el momento son 332 pozos APR adicionales, a lo anterior se suman 150 pozos analizados en la región del Maule¹², y de acuerdo a lo descrito por el programa plurianual en la sección 2.1.4 Programación en 4 años, se esperaría aumentar en 324 pozos más, superando la meta inicial establecida (600 pozos APR).

Se destaca que la densificación de la red de calidad de aguas subterráneas es un impacto donde sólo la DGA tiene exclusiva responsabilidad, al ser el administrador de las redes hidrométricas (Artículo 299, letra b), numeral 1 del Código de Aguas)¹³.

3.1.2 Evaluación del monitoreo de los pozos APR

Los datos de calidad de agua obtenidos de cada monitoreo se procesan para establecer el tipo de agua (cuáles son sus cationes y aniones predominantes), se comparan con normativa de uso de

¹² A la fecha de elaboración de este informe los pozos APR del Maule no contaban con código BNA creado.

¹³ Art. 299 b), número 1. Mantener y operar el servicio hidrométrico nacional, el que incluye tanto mediciones de cantidad como calidad de aguas, y proporcionar y publicar la información correspondiente.

agua nacional para establecer restricciones particulares en su uso¹⁴, y de forma complementaria se calcula un índice de calidad de agua que permite clasificar esta en 5 categorías basadas en el uso potencial del agua; Excelente, Buena, Regular, Insuficiente o Intratable¹⁵, siendo Excelente un agua de uso irrestricto (estándar de consumo humano), e Intratable un agua cuyo tratamiento se vuelve inviable por sus costos y por tanto no puede ser utilizada.

Una vez establecida la calidad del agua de los pozos APR a través del índice de calidad mencionado el impacto directo de esta nueva información será la reevaluación del monitoreo de los pozos. Es decir, ponderar si la frecuencia debería ser aumentada, si se debería focalizar el análisis en un área limitada y/o en parámetros químicos adicionales. Para esto se consideran dos escenarios de información de la calidad del agua: 1) Línea de base de calidad de agua y 2) Evolución (seguimiento) de la calidad del agua (Tabla 4).

Por ejemplo, si la calidad del agua levantada como línea de base o escenario 1 en este programa plurianual es excepcional o buena, se recomienda realizar el monitoreo del APR en el programa de monitoreo siguiente (periodo 2022-2025). En el otro extremo, si la calidad es insuficiente o intratable en cierto año se recomienda realizar un monitoreo el año siguiente con una frecuencia mayor a la anual a definir (Tabla 4).

En el caso del escenario 2 de seguimiento de la calidad del agua, la frecuencia de muestreo se evalúa en función de la evolución que presente la calidad en el pozo APR, vale decir, si ésta mejora, empeora o si se mantiene en el tiempo. La calidad de un agua mejora cuando pasa a una clasificación con menos restricciones, y por el contrario empeora cuando su uso se vuelve más restringido. Cuando los cambios de calidad en el tiempo no ofrecen una tendencia clara (son erráticos) se debe evaluar particularmente cuales son los parámetros que causan estas variaciones para así identificar la o las causas que puede estar controlando los cambios en calidad y con esto delinear una nueva recomendación de muestreo. Finalmente, la mantención de la calidad en el tiempo expresa que de acuerdo al índice utilizado esta no presentaría variaciones de importancia.

Es necesario mencionar que las recomendaciones de monitoreos de las fuentes de los APR antes mencionadas y resumidas en la Tabla 4 se enmarcan dentro de las funciones¹⁶ de la DGA. Sin embargo, considerando los recursos económicos actuales no sería posible atender todos las recomendaciones en el corto plazo. Así la concreción de las medidas, acciones sitio específicas o particulares, puede ser gestionada por otros actores como por ejemplo Gobiernos Regionales, DOH, Municipalidades, entre otros.

Las recomendaciones señaladas en la Tabla 4 individualizan a la DGA como responsable del monitoreo de las fuentes de los pozos APR informando mediante estudios el diagnóstico de la calidad de agua subterránea, los cuales son desarrollados anualmente desde el año 2015 (1.3 Desarrollar la red de calidad de aguas subterráneas). Las recomendaciones relacionadas con intensificar el muestreo, analizar la calidad de pozos cercanos a un APR con calidad comprometida, o aumentar el espectro de parámetros a analizar en las muestras de agua para identificar fuentes

¹⁴ Las normas de uso de agua en Chile la NCh 1333/78 para uso de agua en riego, NCh 409/05 para uso potable del agua, y NCh 143/03 para uso de agua con contacto directo.

¹⁵ Para acceder a un mayor detalle sobre las clasificaciones de calidad de agua referirse al Anexo 6.1 Índice de calidad de este documento.

¹⁶ El código de aguas le confiere múltiples atribuciones y funciones a la DGA, contándose entre estas: 1) Ser agente planificador del recurso en las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento y arbitrar las medidas necesarias para prevenir y evitar el agotamiento de los acuíferos (Art. 299, letra a), 2) Investigar, medir el recurso y monitorear tanto su calidad de como su cantidad, en atención a la conservación y protección de las aguas (Art. 299, letra b); y 3) Ser policía y vigilante de las aguas en los cauces naturales de uso público y acuíferos; con atribuciones para impedir, denunciar o sancionar la afectación a la cantidad y calidad de las aguas (Art.299, letra b).

contaminantes específicas dependerán de los recursos económicos disponibles tanto a nivel Regional como Nivel Central.

Tabla 4. Escenarios de información del monitoreo de calidad de agua de los pozos APR, recomendaciones otorgadas por la DGA y responsables identificados para concretarlas.

Escenarios de información	Descripción	Clasificación CA	Recomendaciones generales del monitoreo	Alcance de recomendación	
Escenario 1 Línea de Base de Calidad de Agua	Diagnóstico de Calidad de las Aguas	Excepcional	-Próximo Programa (2022-2025)	DGA	
		Buena	-Próximo Programa (2022-2025)	DGA	
		Regular	-Año siguiente (1 vez)	DGA	
		Intratable	-Año siguiente (>1 vez)	DGA compromete 1 muestreo* DGA deja constancia sobre necesidad de medidas adicionales	
		Insuficiente	-Año siguiente (>1 vez)	DGA compromete 1 muestreo* DGA deja constancia sobre necesidad de medidas adicionales	
Escenario 2 Seguimiento Calidad de Agua	Se mantiene	Excepcional	-Próximo Programa (2022-2025)	DGA	
		Buena	-Próximo Programa (2022-2025)	DGA	
		Regular	-Año siguiente (1 vez)	DGA	
			-Monitoreo o análisis de datos de pozos cercanos	DGA deja constancia sobre necesidad de medidas adicionales	
		Intratable	-Año siguiente (>1 vez)	DGA compromete 1 muestreo* DGA deja constancia sobre necesidad de medidas adicionales	
			-Monitoreo o análisis de datos de pozos cercanos	DGA deja constancia sobre necesidad de medidas adicionales	
		Insuficiente	-Año siguiente (>1 vez)	DGA compromete 1 muestreo y deja constancia sobre necesidad de medidas adicionales	
			-Monitoreo o análisis de datos de pozos cercanos	DGA deja constancia sobre necesidad de medidas adicionales	
		Mejora	a Excepcional	-Próximo Programa (2022-2025)	DGA
			a Buena	-Próximo Programa (2022-2025)	DGA
	a Regular		-Año siguiente (1 vez)	DGA	
			-Monitoreo o análisis de datos de pozos cercanos	DGA deja constancia sobre necesidad de medidas adicionales	
	a Insuficiente		-Año siguiente (1 vez)	DGA	
	Empeora	a Buena	-Próximo Programa (2022-2025). Si es nitrato o arsénico monitorear al año siguiente ¹⁷	DGA	
		a Regular	-Año siguiente (1 vez)	DGA	
			-Monitoreo o análisis de datos de pozos cercanos	DGA deja constancia sobre necesidad de medidas adicionales	
		a Insuficiente	-Año siguiente (>1 vez)	DGA compromete 1 muestreo* DGA deja constancia sobre necesidad de medidas adicionales	
			-Monitoreo o análisis de datos de pozos cercanos	DGA deja constancia sobre necesidad de medidas adicionales	
		a Intratable	-Análisis de parámetros químicos complementarios	DGA deja constancia sobre necesidad de medidas adicionales	
			-Año siguiente (>1 vez)	DGA compromete 1 muestreo DGA deja constancia sobre necesidad de medidas adicionales	
		a Intratable	-Monitoreo o análisis de datos de pozos cercanos	DGA deja constancia sobre necesidad de medidas adicionales	
	-Análisis de parámetros químicos complementarios		DGA deja constancia sobre necesidad de medidas adicionales		

*La DGA sólo puede comprometer 1 muestreo anual de acuerdo a los recursos disponibles actualmente. Cualquier medida adicional recomendada será comunicada a los actores involucrados.

¹⁷ Los parámetros nitrato (<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/arsenic/mcs-2008-arsen.pdf>) y arsénico (Fewthrell 2004) son considerados de carácter sensible pues existe suficiente evidencia de las alteraciones que causan en la salud de las personas.

3.2 Impactos indirectos

Uno de los propósitos de la información levantada por este plan de monitoreo de la calidad del agua es facilitar una toma de decisiones y gestión respecto al agua en la fuente. Por ejemplo, si se desea revisar o chequear si el agua extraída es apta o no para algún uso particular, puede contrastarse los resultados con las recomendaciones otorgadas por las normas NCh 409/05, NCh 1333/78 o NCh 143/3. Los resultados provenientes de los monitoreos también pueden ser contrastados con otros realizados de forma particular como una forma de validación.

Adicionalmente, el conocer la calidad del agua de una fuente puede permitir escoger entre uno o varios tratamientos físico-químicos que permitan mejorar la calidad, o incluso considerar prácticas agrícolas destinadas a proteger el recurso.

El público al cual está dirigida esta información es diverso, abarcando servicios públicos (DOH, SISS, SAG, etc.), organizaciones privadas (ONGs), o por los usuarios del agua que proveen los APR.

4 Evaluación del Programa de muestreo

El programa plurianual se evaluará anualmente junto con el resto de las metas del DCPRH.

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

5 Bibliografía

- Banco Mundial. «Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos/Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible .» Santiago de Chile , 2011.
- Dirección General de Aguas (DGA). «Altas del Agua - Capítulo 2 Nuestra Agua.» 2016.
<http://www.dga.cl/DGADocumentos/Atlas2016parte2-17marzo2016b.pdf> (último acceso: viernes 26 de enero de 2018).
- Dirección General de Aguas (DGA). «Diagnóstico y Desafíos de la Red de Calidad de Aguas Subterráneas de la DGA.» S.D.T N°396, Santiago de Chile, 2017.
- Dirección General de Aguas. «Estudio Hidrogeológico, Región de la Araucanía.» Estudio, Santiago de Chile, 2016.
- Fewthrell, L. «Drinking-water nitrate, methemoglobinemia, and global burden of disease: A discussion.» *Environmental Health Perspectives* 112, nº 14 (2004): 1371–1374.
- Gobierno de Chile. «Código de Aguas .» Santiago de Chile, 29 de octubre de 1981.
- Hounslow, A. *Water quality data: analysis and interpretation*. Boca Ratón.: Lewis Publishers, 1995.
- Ibanez, Jorge G, Margarita Hernandez-Esparza, Carmen Doria-Serrano, Arturo Fregoso-Infante , y Mono Mohan-Singh. *Environmental Chemistry*. New York: Springer, 2006.
- Mason, Robert. *Trace Metals in Aquatic Systems*. Oxford: Blackwell Publishing, 2013.
- Postma, C.A.J, y D Apello. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Leiden: AA Balkema Publishers, 2013.
- Sacha, Ana María, y Raul O'Ryan. «Managing Hazardous Pollutants in Chile.» *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* (Springer Science + Business Media) 196 (2008): 123-165.
- Stumm, Werner, y James J Morgan. *Aquatic Chemistry: Environmental Science and Technology*. New York: Wiley Interscience, 1996.
- Wendland, F, S Hannappel, R Kunkel, R Shenk, HJ Voight, y R Wolter. «A procedure to define natural groundwater conditions of groundwater bodies in Germany.» *Water Science and Technology* 3, nº 4 (2008): 249-257.
- Wetzel, Robert. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. San Diego: Elsevier, 2001.

6 Anexo

6.1 Índice de calidad

Este Índice fue desarrollado en el estudio “Diagnóstico y Clasificación de Acuíferos” (DGA 2009), encontrando a continuación el detalle de su cálculo.

6.2 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 2 y en la Tabla 5.

Tabla 5. 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.

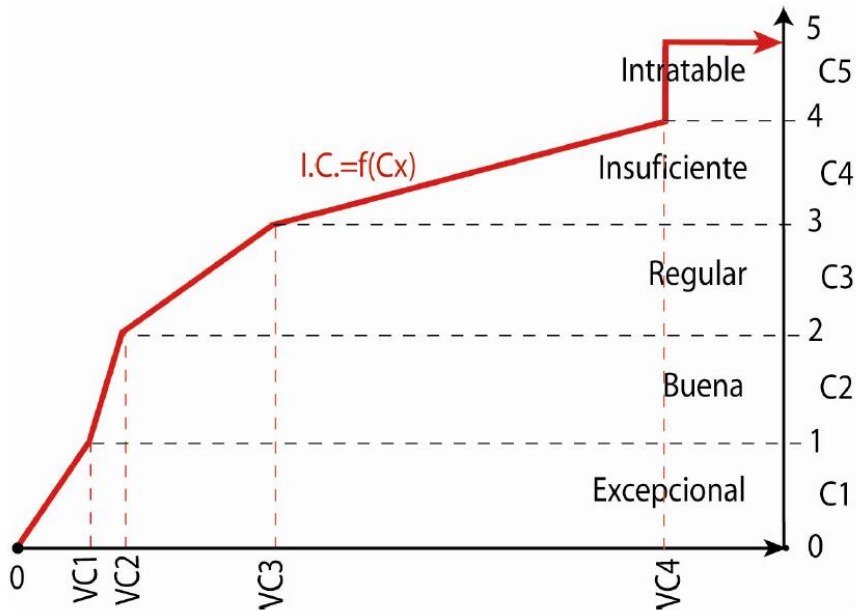


Figura 2. Cálculo de índice de calidad mediante interpolación lineal entre clases¹⁸.

En el caso de este estudio, los valores de cada clase dependen de los valores de corte mostrados en la Tabla 6 para cada componente químico.

Tabla 6. 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

6.3 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

¹⁸ Para más detalle se recomienda revisar el Diagnóstico y clasificación de sectores acuíferos (DGA 2009).

calidad del acuífero esté definida por el parámetro de peor calidad. Los criterios se presentan en la Tabla 7 y se aplican para cada celda del sector acuífero de acuerdo a la interpolación generada.

Tabla 7: 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	$Si 1 \geq IC_{individual}$ $IC_{general} = \frac{\sum_{i=parámetro} IC_{individual}}{n^{\circ} \text{ parámetros}}$