



DEPTO. CONSERVACIÓN Y
PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS
PROCESO N° 14878373

MINUTA: DCPRH N°13/

MAT.: Cálculo del Indicador
ODS 6.3.2 en Aguas
Subterráneas de fuentes
APR, periodo 2018 -2019.

SANTIAGO, 07 de mayo de 2021

Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN	4
1.1.	Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	4
1.2.	ODS 6, Agua y saneamiento para todos.....	4
1.3.	Indicador 6.3.2 Porcentaje de masas de agua con buena calidad	4
1.4.	Red de calidad de aguas de la DGA	5
2.	OBJETIVO	7
3.	METODOLOGÍA.....	7
3.1.	Implementación de la Metodología	7
3.1.1.	Definición del cuerpo de agua a utilizar	7
3.1.2.	Base de datos y parámetros a utilizar	11
3.1.3.	Variables que afectan la calidad del agua subterránea.....	12
3.1.4.	Valores objetivo	16
3.2.	Cálculo del indicador ODS 6.3.2.: Clasificación de la calidad del agua.....	17
3.3.	Recursos	18
4.	RESULTADOS	19
4.1.	Valores objetivo	19
4.2.	Indicador ODS 6.3.2. para el año 2018 en la región piloto	19
4.2.1.	Mapas del Indicador ODS 6.3.2. para aguas subterráneas por acuífero.....	21
4.3.	Indicador ODS 6.3.2. para el año 2019 en la región piloto	23
4.3.1.	Mapas del Indicador ODS 6.3.2. para aguas subterráneas por acuífero	24
4.4.	Comparación Indicador ODS 6.3.2.	27
5.	DISCUSIONES Y DESAFÍOS	29
5.1.	Parámetros para conocer la calidad del agua	29
5.2.	Red de Monitoreo de calidad de aguas subterráneas	30
5.3.	Definición de cuerpos de agua	30
5.4.	Informe Nivel 2.....	31
6.	Referencias.....	33

7. ANEXO DIGITAL.....	35
PLANILLAS	35
SHAPEFILE.....	35

Índice de Tablas

Tabla 1: Resumen Estadístico de datos de nitrato, conductividad y pH de las regiones en estudio.	11
Tabla 2: Criterios de cálculo de valores objetivo.	17
Tabla 3: Criterios de calidad para fuentes APR.	18
Tabla 4: Ejemplo cálculo indicador ODS 6.3.2. Región de O'Higgins.	18
Tabla 5: Criterio de calidad para acuíferos.	18
Tabla 6: Valores objetivo según NCh 409/05 y 1333/78.	19
Tabla 7: Valores objetivo calculados a partir de percentiles.	19
Tabla 8: Indicador ODS 6.3.2. Región de O'Higgins 2018.	19
Tabla 9: Indicador ODS 6.3.2. para el año 2019 en la Región de O'Higgins.	24
Tabla 10: Indicador ODS 6.3.2. por año.	27
Tabla 11: Parámetros sugeridos para mejorar el conocimiento de la calidad del agua subterránea.	30

Índice de Figuras

Figura 1: Distribución de estaciones monitoreadas (activas e inactivas) en aguas superficiales y subterráneas al año 2018.	6
Figura 2: Estaciones de monitoreo de APR utilizadas para el cálculo del indicador ODS 6.3.2.	7
Figura 3: Acuíferos Macrozona Norte.	9
Figura 4: Acuíferos Macrozona Centro.	10
Figura 5: Esquema del origen y recarga en la hiperárida Cordillera de la Costa. Fuente: Herrera et al., 2019.	13
Figura 6: Representación mediante diagrama de Piper de las características químicas de las aguas subterráneas muestreadas en el Cachapoal. Fuente: (DGA, 2016)	14
Figura 7: Diagramas de Stiff-modificado para las 40 muestras subterráneas tomadas en la Región de O'Higgins. Fuente: (DGA, 2016).	15
Figura 8: Diagrama de Piper, pozos APR estudiados de acuífero. Fuente: (DGA, 2017).	15
Figura 9: Composición aguas de pozos APR en el acuífero Elqui mediante diagramas Stiff. Fuente: (DGA, 2017)	16
Figura 10: Indicador ODS 6.3.2. Macrozona Norte año 2018.	21
Figura 11: Indicador ODS 6.3.2. para la Macrozona Centro año 2018.	22
Figura 12: Indicador ODS 6.3.2. para la Macrozona Sur año 2018.	23
Figura 13: Indicador ODS 6.3.2. para la Macrozona Norte año 2019.	25
Figura 14: Indicador ODS 6.3.2. para la Macrozona Centro año 2019.	26
Figura 15: Indicador ODS 6.3.2. para la Macrozona Sur año 2019.	27

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

En septiembre del año 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU, s.f.) aprobó la Agenda 2030, la cual cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que persiguen terminar con la pobreza, combatir el cambio climático, igualdad de género, energía asequible y no contaminante para todos, entre otros.

Estos 17 objetivos tienen como propósito generar oportunidades para que los países y sus respectivas y diferentes sociedades puedan erigir un camino nuevo con mayor equidad, para así mejorar en comunidad.

1.2. ODS 6, Agua y saneamiento para todos

El agua dulce representa menos del 1% del volumen total de agua de la Tierra, sin embargo, este porcentaje proporciona cuantiosos servicios que son fundamentales para el desarrollo sostenible. Se calcula que el 80% de las aguas residuales se vierten en las masas de agua sin ningún tipo de tratamiento previo. Industrias asociadas a la agricultura componen fuentes de contaminación, con procesos como la escorrentía de fertilizantes y plaguicidas (PNUMA, 2018). Por lo tanto, la evaluación adecuada del estado de las masas de agua dulce presenta una necesidad y un desafío.

De esta forma el agua es esencial para los ecosistemas, vital para la salud y bienestar de humanos y además, una condición previa para la prosperidad. En este contexto, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, fija el objetivo número 6 (ODS 6) que corresponde a “Agua Limpia y Saneamiento para todos”¹.

El alcance del ODS 6 abarca aspectos como el acceso al agua potable y saneamiento básico, la gestión integral de los recursos hídricos, el tratamiento de las aguas residuales y la protección de los ecosistemas. Con esto en mente ONU – Agua desarrolla el Monitoreo Integrado del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 para obtener datos confiables, que tiene los siguientes fines (PNUMA, 2018):

- Desarrollar metodologías y herramientas para monitorear los indicadores mundiales del ODS 6.
- Concienciar en los planes nacional e internacional sobre la importancia del monitoreo del ODS 6.
- Mejorar la capacidad técnica e institucional de los países para realizar labores de monitoreo.
- Recopilar datos nacionales e informar sobre los progresos mundiales hacia el logro del ODS 6.

Para esto la Agenda 2030 propone once indicadores que abarcan los temas de agua potable (6.1), saneamiento e higiene (6.2), calidad del agua y aguas residuales (6.3), uso del agua y escasez hídrica (6.4), gestión de los recursos hídricos (6.5) y ecosistemas (6.6). Además de temas de cooperación y participación (6.a y 6.b.).

1.3. Indicador 6.3.2 Porcentaje de masas de agua con buena calidad

La buena calidad del agua desde ríos, lagos y acuíferos es esencial para el desarrollo sostenible y la salud de ecosistemas, por lo tanto, conocer la calidad de las masas de agua se vuelve fundamental para su gestión.

El indicador ODS 6.3.2.² se refiere al “Porcentaje de masas de agua de buena calidad” (PNUMA, 2018). La calidad ambiental de las aguas se entiende como un agua natural no

¹[SDG 6 monitoring and reporting - sdg6monitoring](#)

²[SDG 6.3.2 Home - SDG 6.3.2 - Sitio global \(unep.org\)](#)

tratada que se ve afectada por combinación de influencias naturales y actividades antropogénicas, como las aguas residuales o escorrentía agrícola.

El programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) tiene a cargo la custodia del indicador ODS 6.3.2. y su socio implementador es el Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente para el Agua Dulce (GEMS/Agua) (PNUMA, s.f.).

Este índice de calidad del agua incorpora mediciones del pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, nitrato y el fósforo (pH, conductividad/salinidad y nitrato para aguas subterráneas). Donde los valores medidos para los distintos parámetros se comparan con los valores objetivo que indican que la calidad del agua no será perjudicial para la salud humana ni para los ecosistemas (PNUMA, 2018).

Según la definición técnica del indicador una masa de agua es de “buena calidad” cuando al menos el 80% de las mediciones evaluadas cumplen con los valores fijados como objetivo. Una “masa de agua” puede corresponder a la sección de un río o de una pequeña subcuenca fluvial, un lago o un acuífero para el caso de aguas subterráneas (PNUMA, 2018).

1.4. Red de calidad de aguas de la DGA

Chile como parte de los 193 miembros de la ONU, suscribió y comprometió el cumplimiento de la Agenda 2030. Por lo tanto, una red de monitoreo es fundamental para que Chile pueda cumplir los objetivos fijados por esta agenda.

La Dirección General de Aguas (DGA) mantiene y opera una red de calidad de agua con datos desde 1960s. A octubre del 2019 existen 1,887 estaciones (vigentes y suspendidas) monitoreando aguas subterráneas y aguas superficiales (excluyendo lagos) (Figura 1) que corresponden a 814 y 1073 estaciones, respectivamente, de las cuales 1365 se encuentran activas³. Dependiendo del cuerpo de agua, numerosos parámetros son medidos, desde *in-situ* (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura), iones (ej., Ca, Mg, Na, K, SO₄, Cl), metales totales (ej., As, Al, Cu, Fe, Mn, Pb)⁴, nutrientes (nitrógeno, fósforo, sílice), indicadores de productividad primaria (clorofila “a”) y de contaminación por materia orgánica (Demanda Química de Oxígeno) (CEDEUS-DGA, 2020).

En general, la frecuencia del monitoreo depende del cuerpo de agua. Las aguas subterráneas son monitoreadas 2 veces por año (otoño y primavera), y las aguas superficiales 4 veces por año (estacionalmente) (CEDEUS-DGA, 2020).

³ Banco Nacional de Aguas – Dirección General de Aguas

⁴ Ca: calcio, Mg: magnesio, Na: sodio, K: potasio, SO₄: sulfato, Cl: cloruro, As: arsénico, Al: aluminio, Cu: cobre, Fe: hierro, Mn: manganeso, Pb: plomo.

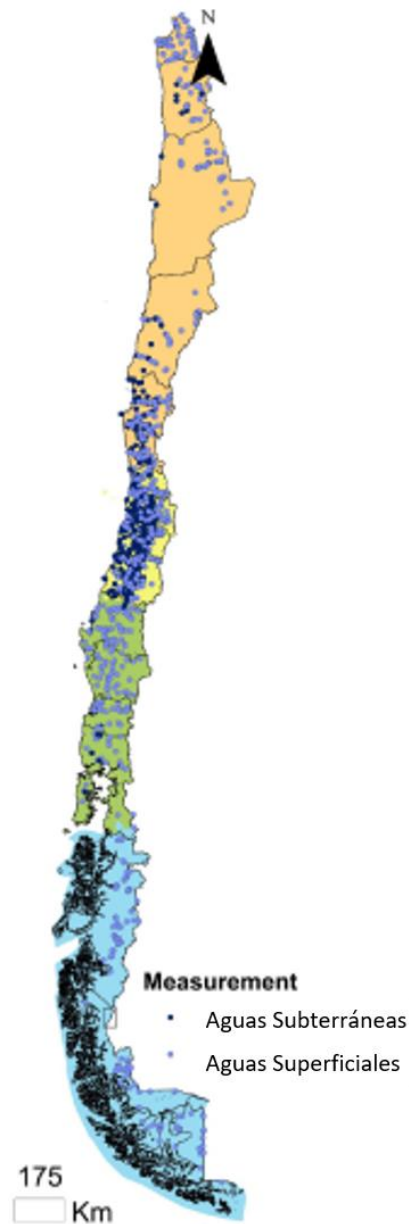


Figura 1: Distribución de estaciones monitoreadas (activas e inactivas) en aguas superficiales y subterráneas al año 2018
Fuente: CEDEUS-DGA 2020.

Para realizar el cálculo del Indicador se utilizarán las estaciones de monitoreo de Agua Potable Rural (APR) subterránea. Se decide estudiar la calidad de aguas subterráneas en estos pozos porque: 1) Cuentan con infraestructura para extraer agua fácilmente, porque todos cuentan con bomba; 2) se encuentran en constante funcionamiento y por tanto el agua es representativa del acuífero del cual se extrae; 3) 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 (DGA, 2020).

El año 2020 CEDEUS – DGA calcularon el Indicador ODS 6.3.2. para aguas superficiales (ríos)⁵. En este informe se calculará para aguas subterráneas a partir de las estaciones de Agua Potable Rural (APR) de las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins, Maule, Ñuble, Biobío y Los Ríos usando una adaptación de la Metodología propuesta por el PNUMA y algunos elementos de la metodología de CEDEUS-DGA (2020).

⁵Disponible en <https://www.cedeus.cl/wp-content/uploads/2020/06/200608-CEDEUS-DGA-Implementation-of-SDG-Indicator-6.3.2-in-Chile.pdf>

El indicador ODS 6.3.2 para aguas subterráneas se calculará por estación de monitoreo y a la escala de acuíferos estudiados por DGA hasta el 2018, siguiendo las sugerencias de la Metodología (PNUMA, 2018).

Estaciones APRs

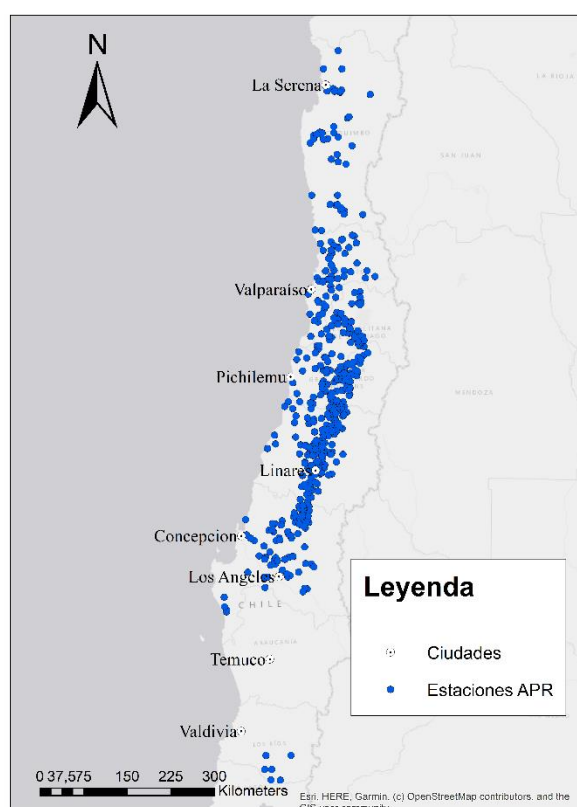


Figura 2: Estaciones de monitoreo de APR utilizadas para el cálculo del indicador ODS 6.3.2.

2. OBJETIVO

Utilizando como base la Metodología de cálculo del indicador ODS 6.3.2 se busca:

- 1.1. Calcular el indicador ODS 6.3.2 de cada pozo APR monitoreados por la DGA.
- 1.2. Calcular el indicador ODS 6.3.2. por acuífero delimitado por la DGA al año 2018.

3. METODOLOGÍA

3.1. Implementación de la Metodología

3.1.1. Definición del cuerpo de agua a utilizar

Chile se compone de 16 regiones, y 101 cuencas hidrográficas (DGA, 2016) donde a la fecha se han identificado 20 acuíferos y 36 sectores acuíferos (Agua, 2019). Para el indicador ODS 6.3.2. se utilizará la delimitación de acuíferos para aguas subterráneas desarrollada por la DGA. En el caso en que no esté el acuífero delimitado se entregará el indicador por pozo APR de información utilizada.

Para efectos de visualización y presentación de los resultados se utilizará una división por macrozona según los datos (DGA, 2016). Así, los acuíferos, cuerpos de agua definidos para el cálculo del indicador ODS 6.3.2., se agruparán por regiones, y estas posteriormente en macrozonas, debido a sus factores hidrográficos, orográficos y climáticos. De esta forma:

- La Macrozona Norte está conformada por las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo. Cuenta con 39 cuencas hidrográficas, de acuerdo con el Inventario de Cuencas Hidrográficas de la DGA.
- La Macrozona Centro incluye las regiones de Valparaíso, Metropolitana de Santiago, Libertador General Bernardo O'Higgins y del Maule. Cuenta con 16 cuencas hidrográficas⁶
- La Macrozona Sur comprende las regiones del Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Cuenta con 26 cuencas hidrográficas.
- La Macrozona Austral integra las regiones de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y Magallanes y de La Antártica Chilena, que presenta 20 cuencas hidrográficas (DGA, 2016).

Debido a los datos disponibles para este informe (Figura 2) se trabajará con las Macrozonas Norte, Centro y Sur.

Los acuíferos reconocidos hasta el año 2018⁷ para la Macrozona Norte, para la que sólo se tiene datos de la Región de Coquimbo, se observan en la Figura 3. Se observan sólo los acuíferos en los que existen estaciones APR para su posterior evaluación.

⁶ De acuerdo con el Inventario de Cuencas Hidrográficas de la DGA.

⁷ Disponible en <https://dga.mop.gob.cl/estudiospublicaciones/mapoteca/Paginas/default.aspx#uno>



Figura 3: Acuíferos Macrozona Norte.

Los acuíferos para la Macrozona Centro que se utilizarán para su evaluación, siguiendo el mismo criterio que para la Macrozona Norte (que existan estaciones APR), se presentan en la Figura 4.



Figura 4: Acuíferos Macrozona Centro y acercamiento a acuíferos costeros.

3.1.2. Base de datos y parámetros a utilizar

A partir de la base de datos de calidad de agua de la DGA (DGA, s.f.) se seleccionaron los parámetros nitrato (NO₃) en mg/L, conductividad en uS/cm y pH en unidades de pH. Se seleccionaron estos parámetros de acuerdo con lo sugerido por la Metodología (PNUMA, 2018) para el informe de Nivel 1.

Se dispone de datos de las estaciones APR desde la Región de Coquimbo a la Región de Los Ríos entre los años 2014 y 2019. En la Tabla 1 se presenta un resumen estadístico de los datos de las regiones analizadas.

Tabla 1: Resumen Estadístico de datos de nitrato, conductividad y pH de las regiones en estudio.

Región	Período muestreado	Estadígrafo ⁸	Nitrato (NO3)	pH	Conductividad
Coquimbo	2016-2019	N° de Datos	195	188	188
		Promedio	14,9	7,2	1127,4
		Desv.Estándar	24,9	0,4	1071,5
		Mínimo	0,01	6,2	147
		Percentil 25	1,7	6,9	507,8
		Percentil 50	6,0	7,2	764
		Percentil 75	18,0	7,4	1326,8
		Máximo	168,7	8,4	7082
Valparaíso	2015-2019	N° de Datos	114	113	113,0
		Promedio	23,6	7,1	771,5
		Desv.Estándar	20,2	0,2	486,8
		Mínimo	0,01	6,4	177
		Percentil 25	8,8	6,9	424
		Percentil 50	18,6	7,03	622
		Percentil 75	31,7	7,2	892
		Máximo	111,1	7,67	2208
Metropolitana	2015-2019	N° de Datos	259	262	95
		Promedio	25,3	7,2	1048,9
		Desv.Estándar	22,9	0,3	587,9
		Mínimo	0,82	6,47	125
		Percentil 25	10,5	7	510,5
		Percentil 50	18,4	7	1017,0
		Percentil 75	32,7	7,3	1524,0
		Máximo	150,7	8,9	2222
O'Higgins	2014-2019	N° de Datos	169	231	230
		Promedio	21,6	7,1	640,1
		Desv.Estándar	14,8	0,4	261,7
		Mínimo	0,01	5,93	148
		Percentil 25	10,7	6,8	478
		Percentil 50	20,4	7,05	617,5
		Percentil 75	30	7,4	782,5
		Máximo	64,2	8,06	2034
Maule	2017-2019	N° de Datos	214	215	215
		Promedio	12,8	7,0	254,1
		Desv.Estándar	11,3	0,4	143,8
		Mínimo	0,075	6,02	21

⁸ Datos: Número de datos/ Prom: Promedio/Des.Est.: Desviación estándar/ Mín: Mínimo/ P25, P50 y P75: percentiles 25,50 y 75 respectivamente/ Máx: Máximo.

Región	Período muestreado	Estadígrafo ⁹	Nitrato (NO3)	pH	Conductividad
		Percentil 25	4,5	6,7	153,5
		Percentil 50	10,8	7,1	232
		Percentil 75	17,4	7,3	312,5
		Máximo	72,7	8,4	798
Biobío y Ñuble	2018-2019	N° de Datos	117	116	116
		Promedio	8,1	7,1	184,2
		Desv.Estándar	9,2	0,6	109,7
		Mínimo	0,09	5,79	4
		Percentil 25	1,9	6,7	108
		Percentil 50	4,9	7,1	153
		Percentil 75	11,3	7,5	239,25
		Máximo	51,9	8,7	574
Los Ríos	2019	N° de Datos	28	28	28
		Promedio	2,9	7,3	214,2
		Desv.Estándar	3,3	0,3	71,3
		Mínimo	0,01	6,4	104
		Percentil 25	0,03	7,1	164,6
		Percentil 50	1,8	7,3	207,5
		Percentil 75	6,0	7,5	261,5
		Máximo	10,5	8,0	361

3.1.3. Variables que afectan la calidad del agua subterránea

La composición de aguas subterráneas está directamente relacionada con la composición de agua de lluvia, que posee características variables. Hacia la costa se espera que la concentración de iones de Cl, Na y K aumenten, en cambio, internándose hacia el continente se espera un incremento de iones como SO₄, HCO₃⁹ y Ca. Es por esto que se debe tener en cuenta la intrusión marina que pueda afectar la calidad de las aguas subterráneas, situación que no está relacionada necesariamente con un mal manejo de esta en la zona, sino que puede representar una condición natural (PNUMA, 2018).

La disminución de las concentraciones de NaCl es inversamente proporcional a la distancia desde la costa donde se produzca la precipitación, que se ve amplificado por una orografía abrupta, como la Cordillera de la Costa (DGA, 2017).

La Cordillera de la Costa es una morfo-estructura, de 2000 km de extensión, entre los 18-38°S, 10-40 km de profundidad y con un promedio de elevación de 1000 m.s.n.m. con un máximo de 2000 m. Está rodeada por el este por la Depresión Central, la cual está rellena por depósitos del Cenozoico. La Cordillera de la Costa es una barrera montañosa para el flujo hacia el oeste en dirección al océano del agua subterránea desde la Precordillera y las zonas más húmedas del Altiplano (Figura 5) (Christian Herrera, 2018).

⁹ Bicarbonato

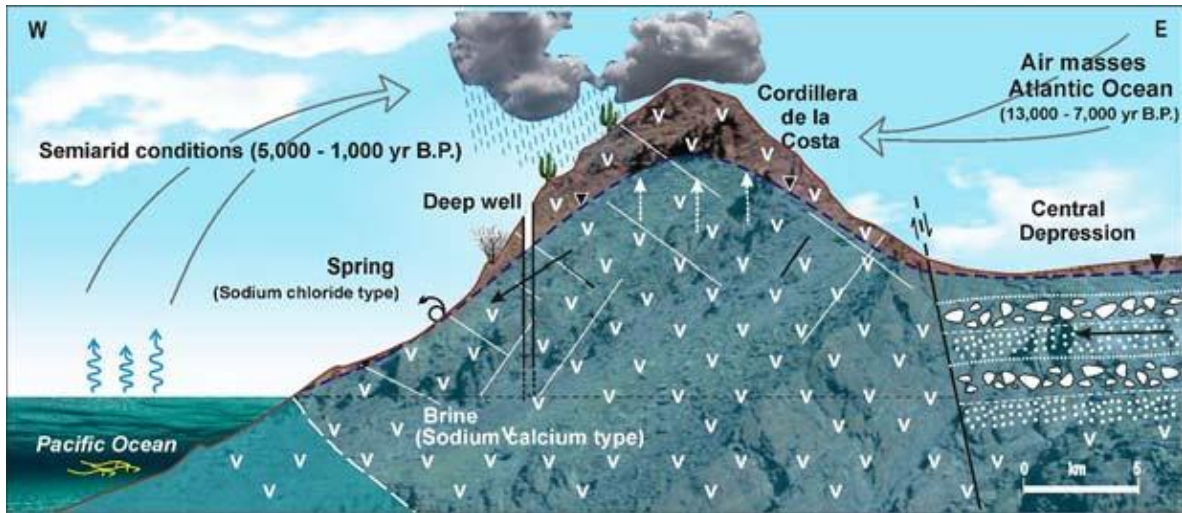


Figura 5: Esquema del origen y recarga en la hiperárida Cordillera de la Costa. Fuente: Herrera et al., 2019.

A partir de esto, se utiliza entonces la división en *Zona Costera* y *Zona Central*, donde:

1. Zona Costera: Coordenada Este (WGS84, Huso19) < 30°
2. Zona Central: Coordenada Este (WGS84, Huso19) > 30°.

Se utilizó los 30° (WGS84 Huso19) debido a que al oeste de esta longitud ya se presentan masivamente litologías de tipo ígneas intrusivas, que corresponden a la geología del arco volcánico ya extinto, que se denomina morfológicamente Cordillera de la Costa (SERNAGEOMIN, 2002), es decir esta roca ya presenta menos porosidad y entonces las intrusiones marinas no debieran influenciar los parámetros medidos para aguas subterráneas.

Para ejemplificar de mejor forma este análisis, tomarán las características hidroquímicas de dos regiones. A través de diagramas de Piper y Stiff (Figura 6 y Figura 7) se puede evidenciar que, hacia la costa, la concentración total de iones aumenta en la región de O'Higgins. Las muestras al oeste evidencian una composición cercana a clorurada sódica, mientras que hacia el este están más cercanas a bicarbonatadas y sulfatadas (DGA, 2016).

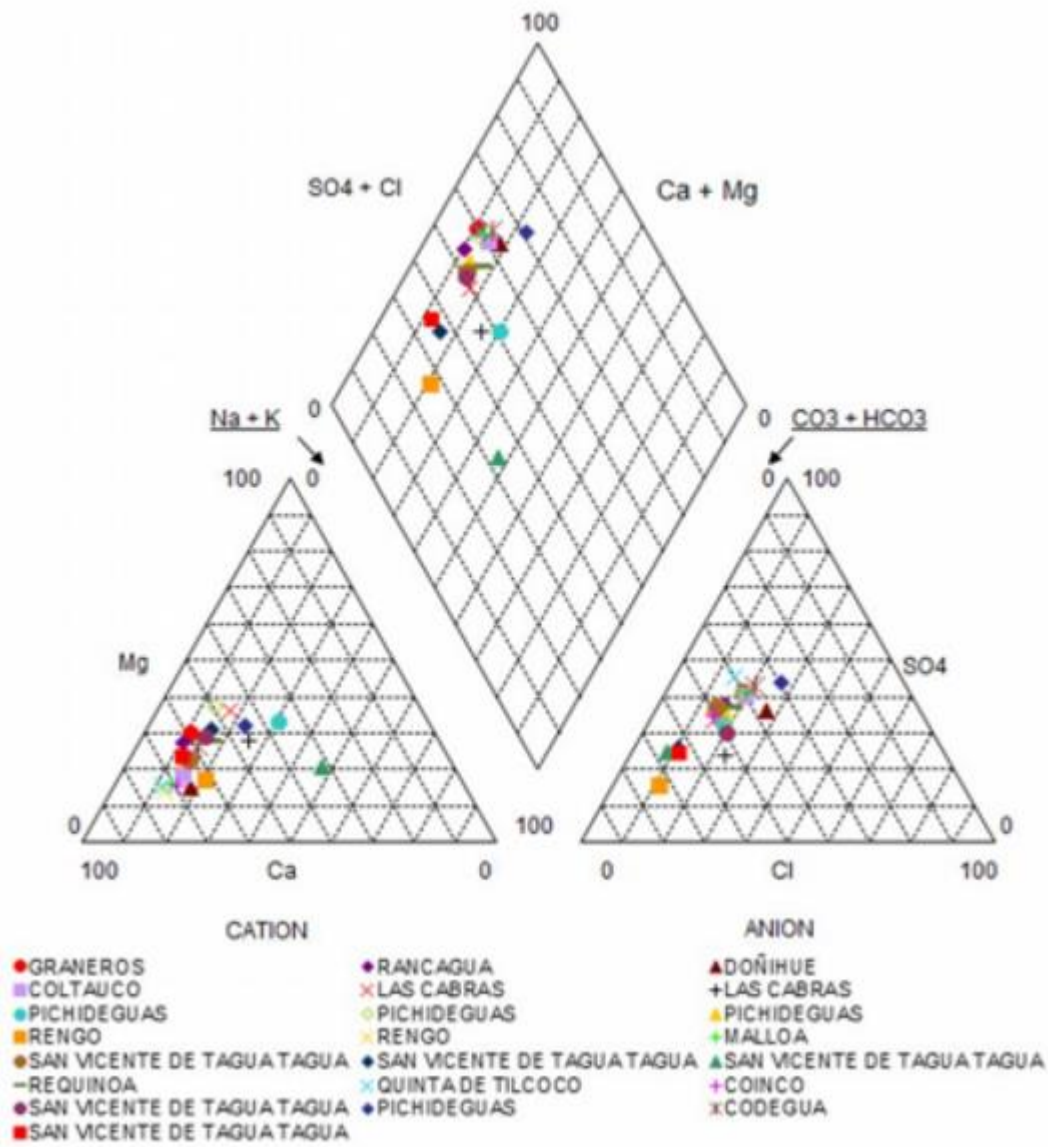


Figura 6: Representación mediante diagrama de Piper de las características químicas de las aguas subterráneas muestreadas en el Cachapoal. Fuente: (DGA, 2016)

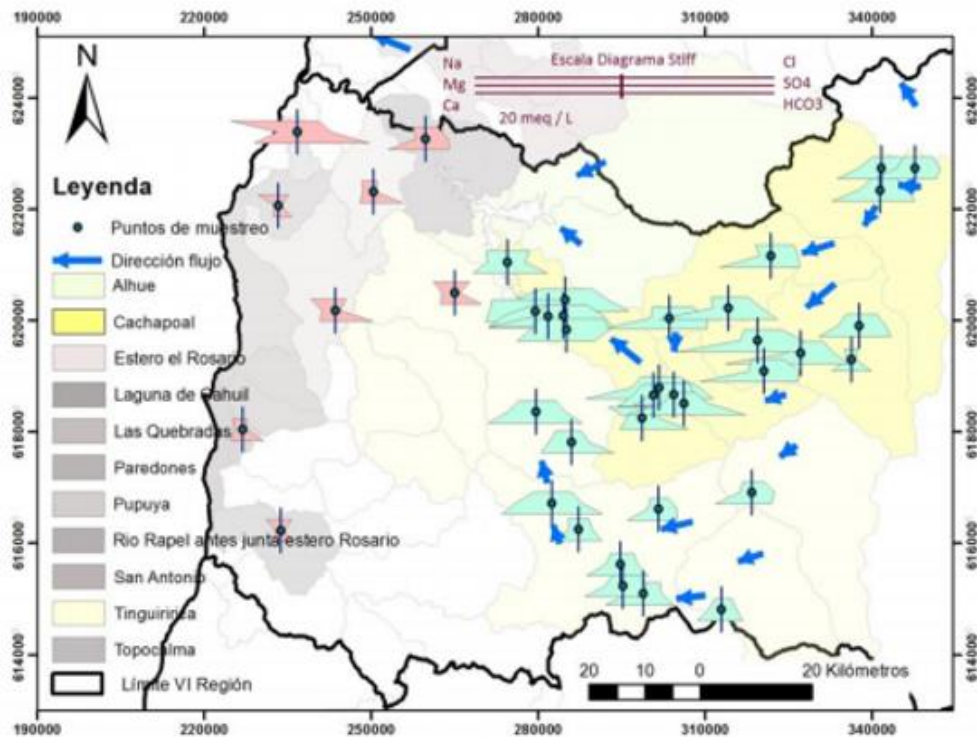


Figura 7: Diagramas de Stiff-modificado para las 40 muestras subterráneas tomadas en la Región de O'Higgins. Fuente: (DGA, 2016).

Un caso similar se observa los diagramas de Piper y Stiff para el acuífero Elqui en la Región de Coquimbo (DGA, 2017), donde se puede constatar como las aguas siguen un enriquecimiento en iones hacia la costa, lo cual coincide con los tiempos de residencia de las aguas subterráneas en el acuífero.

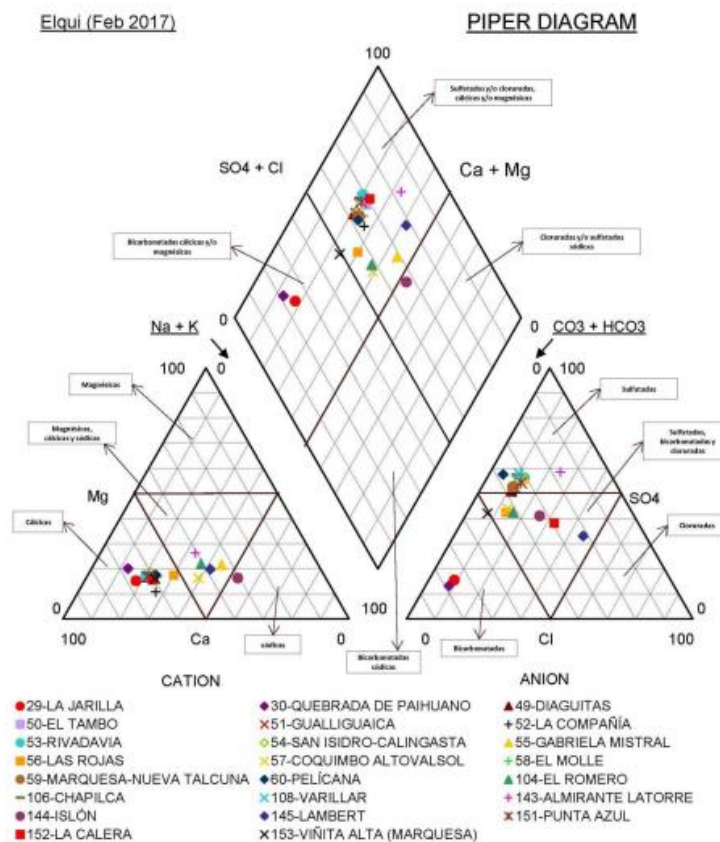


Figura 8: Diagrama de Piper, pozos APR estudiados de acuífero. Fuente: (DGA, 2017)

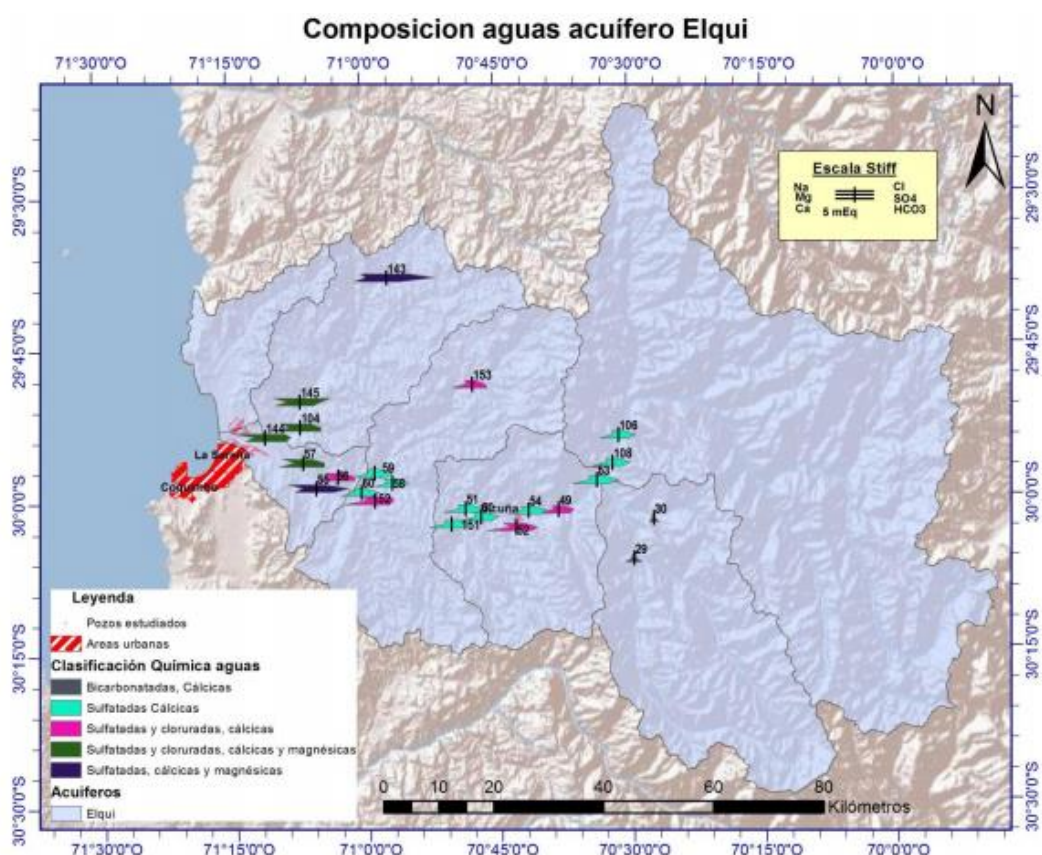


Figura 9: Composición aguas de pozos APR en el acuífero Elqui mediante diagramas Stiff. Fuente: (DGA, 2017)

Adicionalmente a la información hidroquímica y ante la falta de información sobre la delimitación o estudio de los acuíferos, se considera relevante tomar en consideración que cada región desarrolla actividades económicas que pueden afectar la calidad de una masa de agua, por tanto una separación por región es un criterio adicional a considerar y recomendado por la Metodología (PNUMA, 2018).

Con esta información presente se procede entonces a determinar los valores objetivo de cada región usando la separación de la zona costera y la zona central.

3.1.4. Valores objetivo

Para el cálculo de los valores objetivo la Metodología recomienda el uso de percentiles (Tabla 2), por lo tanto se necesita una densidad de datos suficientes para que los resultados sean confiables. Con esto en mente se decide considerar los datos disponibles previos al año 2018, que en algunos casos abarcará datos desde año 2014 cuando se iniciaron los estudios de diagnóstico de calidad de aguas subterráneas.

Entonces el cálculo del indicador ODS 6.3.2 se realizará sobre los datos de los años 2018 y 2019 separadamente debido a que ambos años presentan diferencias considerables en las precipitaciones anuales, siendo el año 2019 el segundo año más seco en casi 40 años, con un déficit promedio de 24% (DMC, 2020).

Para fijar los valores objetivo de conductividad, nitrato y pH se utilizaron 3 criterios que dependen de la densidad de datos en cada región en la Tabla 2.

Tabla 2: Criterios de cálculo de valores objetivo.

Situación	Implementación en Chile
(1) La región cuenta con datos, al menos desde el 2016.	Con los datos medidos antes del 2018 se calcula el percentil 95 para la conductividad y la concentración de nitratos (NO ₃), y se tomará este como el valor objetivo máximo. En el caso del pH, es necesario calcular un rango del valor objetivo, por lo tanto, se calcula el percentil 95 y 5, que corresponderán al máximo y mínimo, respectivamente.
(2) La región cuenta con datos desde el 2017.	Se calculan los percentiles 5 y 95 para el pH, y el percentil 95 para la concentración de nitratos y conductividad a partir del año 2017. Se comparan los valores objetivos calculados a partir de los percentiles con las Normas de Uso para Agua Potable (NCh409) ¹⁰ y Riego (NCh1333) ¹¹ . Si los valores objetivos calculados a partir de los percentiles son más conservadores que las Normas de Uso, se utilizan los primeros.
(3) La región cuenta con datos del 2018 y/o 2019.	Se utilizan las Normas de Uso para Agua Potable (NCh409) y Riego (NCh1333) más conservadoras como valores objetivo para cada parámetro.

3.2. Cálculo del indicador ODS 6.3.2.: Clasificación de la calidad del agua

Para demostrar el cálculo del indicador con la metodología antes descrita se usará la información de una de las regiones en estudio siguiendo los siguientes criterios: 1) que existan al menos 100 datos para calcular los percentiles para los valores objetivo (ver detalle en sección correspondiente) para cada parámetro (Ver Tabla 1), y 2) Que existan estaciones APR tanto en la zona costera (< 30° WGS84 Huso19) como central (> 30° WGS84 Huso19). La región que mejor cumple estos dos criterios corresponde a de O'Higgins que se utilizará como piloto para demostrar el cálculo del indicador ODS 6.3.2. Este ejercicio mostrará el cálculo en detalle para la región, no obstante, se calculará el indicador para todas las regiones bajo estudio (Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, Maule, Ñuble y Biobío, y Los Ríos), mostrando los resultados en mapas.

Como se mencionó en la metodología, el indicador se calcula para los años 2018 y 2019, es decir, se evalúa cada medición a partir de 2018 de cada APR utilizando los valores objetivo de la siguiente forma:

- Conductividad y nitrato: si el valor se encuentra bajo el valor objetivo se le asigna un valor 1 a la medición, y 0 en el caso contrario.
- pH: si el valor se encuentra dentro del rango objetivo se le asigna un valor 1 y 0 en caso contrario.

Luego siguiendo un procedimiento similar al desarrollado por CEDEUS (CEDEUS-DGA, 2020) y aquel sugerido por la Metodología (PNUMA, 2018), se calcula un porcentaje de conformidad para cada parámetro como:

¹⁰ Agua Potable. Parte I: Requisitos. Disponible en <https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh409.pdf>

¹¹ Requisitos de calidad de agua para diferentes usos. Disponible en https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh1333-1978_Mod-1987.pdf

$$C_{WQ} = \frac{n_c}{n_m} \times 100$$

Donde n_c corresponde a las mediciones que están dentro de los valores objetivos y n_m al número de mediciones totales realizadas por estación APR.

Luego, se promedia el porcentaje de conformidad de cada parámetro, y se utiliza el siguiente criterio para determinar si una estación tiene calidad “Buena” o “No Buena”:

$$C_{WQ_t} = \frac{C_{conductividad} + C_{pH} + C_{nitratos}}{3}$$

Tabla 3: Criterios de calidad para fuentes APR.

C_{WQ_t}	Calidad
$\geq 80 \%$	Buena
$< 80 \%$	No Buena

Así, a modo de ejemplo se debería presentar de la siguiente forma:

Tabla 4: Ejemplo cálculo indicador ODS 6.3.2. Región de O’Higgins.

APR	CÓDIGO	ESTE	Norte	CE	pH	Nitrato	Promedio	Indicador
APR RIGOLEMU-CUENCA-LOS MAQUIS	06017005-3	325062	6182912	100	100	100	100	Bueno
APR EL NICHE	06018020-2	300722	6186668	100	50		75	No Bueno

* En el caso de celdas vacías, no existen datos para ese parámetro.

Debido a que podría ocurrir que un acuífero tenga sólo una estación el indicador se deberá calcular por APR. Para evaluar la calidad del agua subterránea según el indicador ODS 6.3.2. se utiliza un criterio de conformidad:

$$C_{Acuífero} = \frac{n_c}{n_m} \times 100$$

Donde en este caso n_c corresponde a las estaciones que presentan calidad “Buena” y n_m la cantidad total de estaciones APR que se ubican dentro del acuífero.

A partir del valor del $C_{Acuífero}$ se utiliza el mismo criterio:

Tabla 5: Criterio de calidad para acuíferos.

$C_{Acuífero}$	Calidad
$\geq 80 \%$	Buena
$< 80 \%$	No Buena

3.3. Recursos

Para el procesamiento de los datos, se utilizaron los softwares Anaconda (Inc, 2021) que corresponde a una fuente abierta que utiliza Python 3.8.

Para la fabricación y modificación de mapas se utilizó ArcGis 10.4.1 y para la recopilación de datos utilizados y de resultados obtenidos se utilizó Excel Versión 2101.

4. RESULTADOS

4.1. Valores objetivo

Primero se presentan los que se utilizarán para la Región Ñuble-Biobío, en conjunto, y la Región de Los Ríos, que corresponde a los valores de la Norma Chilena para Agua Potable (NCh409) para los nitratos y pH, y la Norma Chilena para Riego para la conductividad (NCh1333).

Tabla 6: Valores objetivo según NCh 409/05 y 1333/78.

Parámetro	Central		Costero	
	Min	Max	Min	Max
Conductividad [uS/cm]	-	750	-	1500
pH	6,5	8,5	6,5	8,5
Nitrato [mg/L]	-	50	-	50

Para las Regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule se utilizan los valores objetivo a partir de los percentiles 5 y 95 para el pH, y para la conductividad y concentración de nitrato el percentil 95.

Tabla 7: Valores objetivo calculados a partir de percentiles (P₉₅ para conductividad y nitrato, y P₅ y P₉₅ para el pH).

Región	Zona	Conductividad [uS/cm]	pH		Nitrato [mg/L]
Coquimbo	Costero	3581,30	6,78	7,94	47,40
	Central	1001,15	6,47	7,75	25,70
Valparaíso	Costero	2040,75	6,71	7,38	66,30
	Central	823,70	6,68	7,54	47,28
Metropolitana	Costero	2190,30	6,82	7,79	27,15
	Central	1935,00	6,98	8,05	71,87
O'Higgins	Costero	1148,15	6,43	7,78	50,58
	Central	1017,25	6,31	7,92	41,31
Maule	Costero	506,54	6,37	7,71	38,09
	Central	548,89	6,16	7,40	20,83

4.2. Indicador ODS 6.3.2. para el año 2018 en la región piloto

El cálculo se realizó para las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins, Maule y Ñuble-Biobío. A continuación, se presenta el cálculo del indicador ODS 6.3.2. para la Región de O'Higgins, el caso piloto. Para consultar el resto de las regiones dirigirse a la sección Anexos.

Tabla 8: Indicador ODS 6.3.2. Región de O'Higgins 2018.

APR	CODIGO_BNA	ACUIFERO	CE	pH	Nitrato	Media	Indicador
APR El Carmen bajo	06011025-5	CACHAPOAL	100	100	100	100	Bueno
APR IDAHUE	06012020-K	CACHAPOAL	100	100		100	Bueno
APR TOTIHUE	06014010-3	CACHAPOAL	100	100	100	100	Bueno
APR RIGOLEMU-CUENCA-LOS MAQUIS	06017005-3	TINGUIRIRICA	100	100	100	100	Bueno
APR EL NICHE	06018020-2	CACHAPOAL	100	50		75	No Bueno
APR IDAHUE SAN VICENTE	06018021-0	CACHAPOAL	100	100		100	Bueno
APR LOS MAITENES DE TAGUA TAGUA EL INCA	06018022-9	CACHAPOAL	100	100		100	Bueno
APR PENCAHUE BAJO	06018023-7	CACHAPOAL	100	100		100	Bueno
APR JUAN NUÑEZ VALENZUELA PLANTA 2	06018024-5	CACHAPOAL	100	100		100	Bueno
APR COOPERATIVA	06034019-6	TINGUIRIRICA	100	50		75	No Bueno

APR	CODIGO_BNA	ACUIFERO	CE	pH	Nitrato	Media	Indicador
PUEBLO AUQUINCO							
APR LA ARBOLEDA VALLE HERMOSO	06035007-8	TINGUIRIRICA	100	100		100	Bueno
APR NENQUEN EL TAMBO LA PUERTA	06037011-7	TINGUIRIRICA	100	100		100	Bueno
APR LA LEONERA-SAN JOAQUIN	06011031-K	MAIPO	100	100	100	100	Bueno
APR LOS MOLINOS QUEMADOS	06011029-8	CACHAPOAL	100	100	100	100	Bueno
APR LAS MERCEDES-EL ARROZAL	06011030-1	MAIPO	100	100	100	100	Bueno
APR PUNTA DE CORTES	06010025-K	CACHAPOAL	100	100	100	100	Bueno
APR RINCONADA DE DONIHUE	06012030-7	CACHAPOAL	100	100	100	100	Bueno
APR UNION POLONIA	06016018-K	TINGUIRIRICA	100	100	100	100	Bueno
APR ROMA-SAN JOSE DE LOS LINGUES	06016019-8	TINGUIRIRICA	100	100	100	100	Bueno
APR ROMA ARRIBA-LA MARINANA	06016020-1	ACONCAGUA	100	100	100	100	Bueno
APR OLIVAR BAJO	06010026-8	CACHAPOAL	100	100	100	100	Bueno
APR GUACARHUE	06015028-1	CACHAPOAL	100	100	100	100	Bueno
APR SANTA AMALIA	06014011-1	CACHAPOAL	100	100	100	100	Bueno
APR LOS BOLDOS	06014012-K	CACHAPOAL	100	100	100	100	Bueno

* En el caso de celdas vacías, no existen datos para ese parámetro.

4.2.1. Mapas del Indicador ODS 6.3.2. para aguas subterráneas por acuífero

La Macrozona Norte se presenta en la Figura 10.

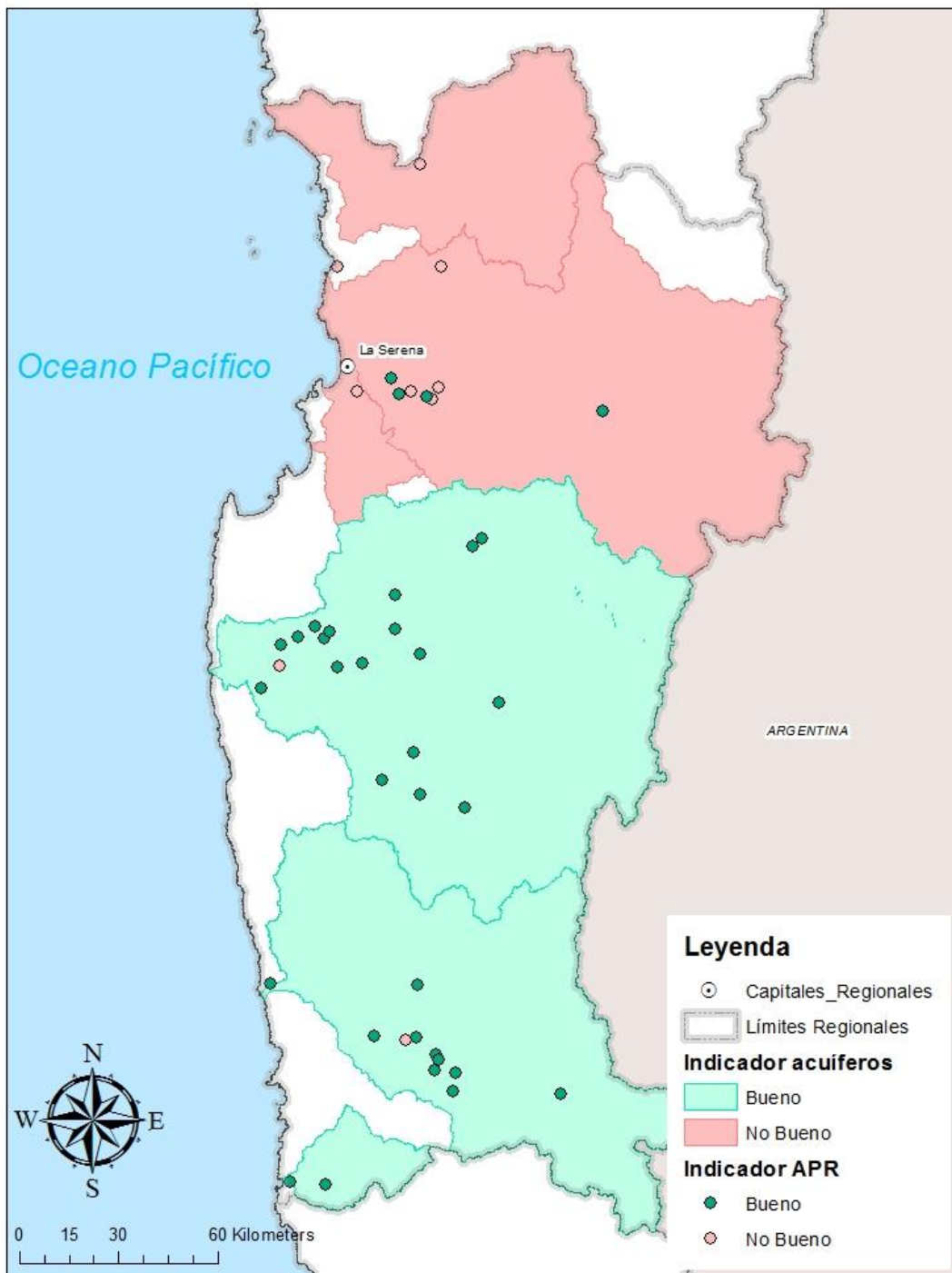


Figura 10: Indicador ODS 6.3.2. Macrozona Norte año 2018.

La Macrozona Centro que incluye a las regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule se presenta en la Figura 11.

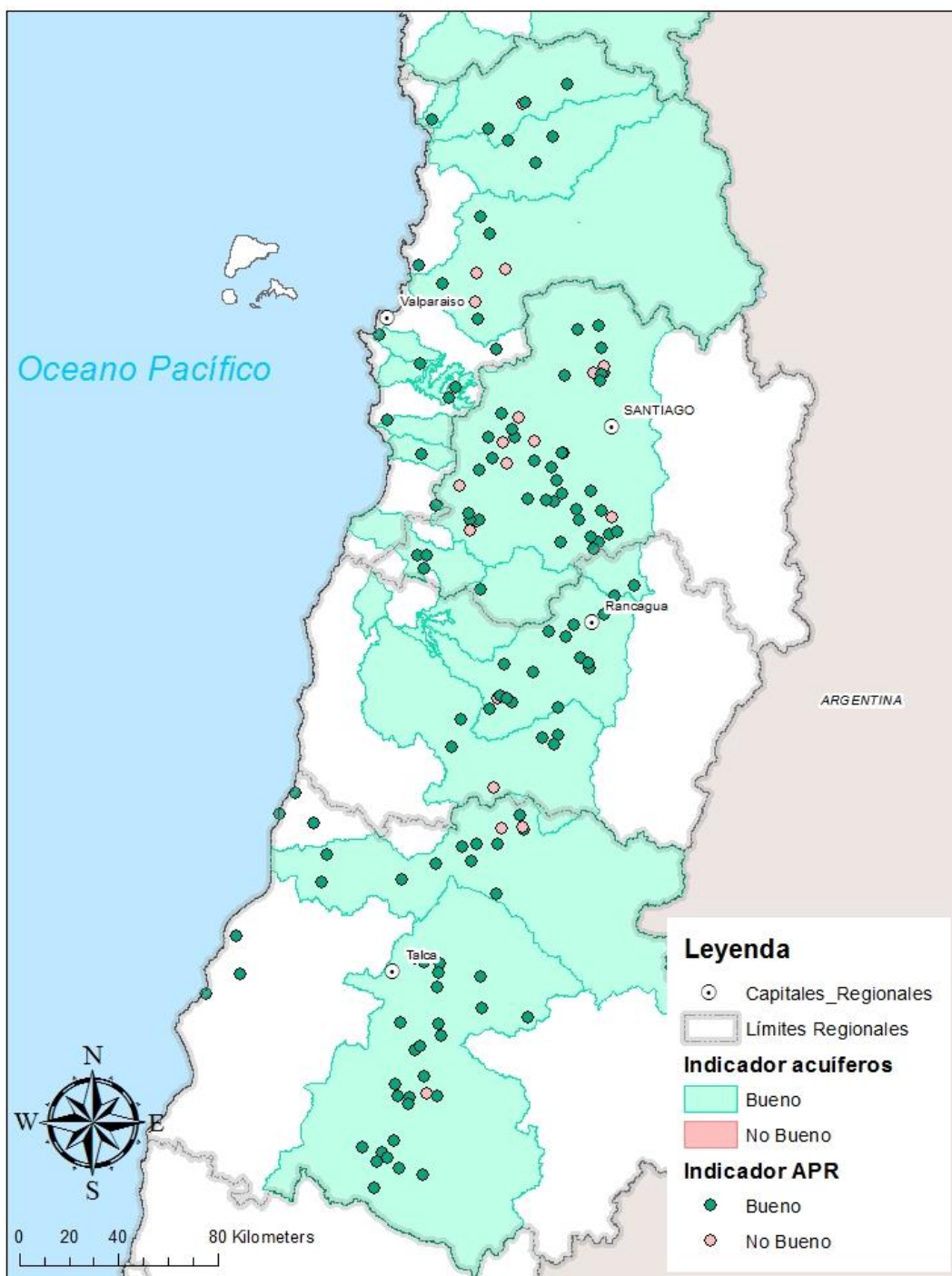


Figura 11: Indicador ODS 6.3.2. para la Macrozona Centro año 2018.

La Macrozona Sur incluyendo a las regiones de Ñuble y Biobío, que incluyen datos para el año 2018, se presenta en la Figura 12.

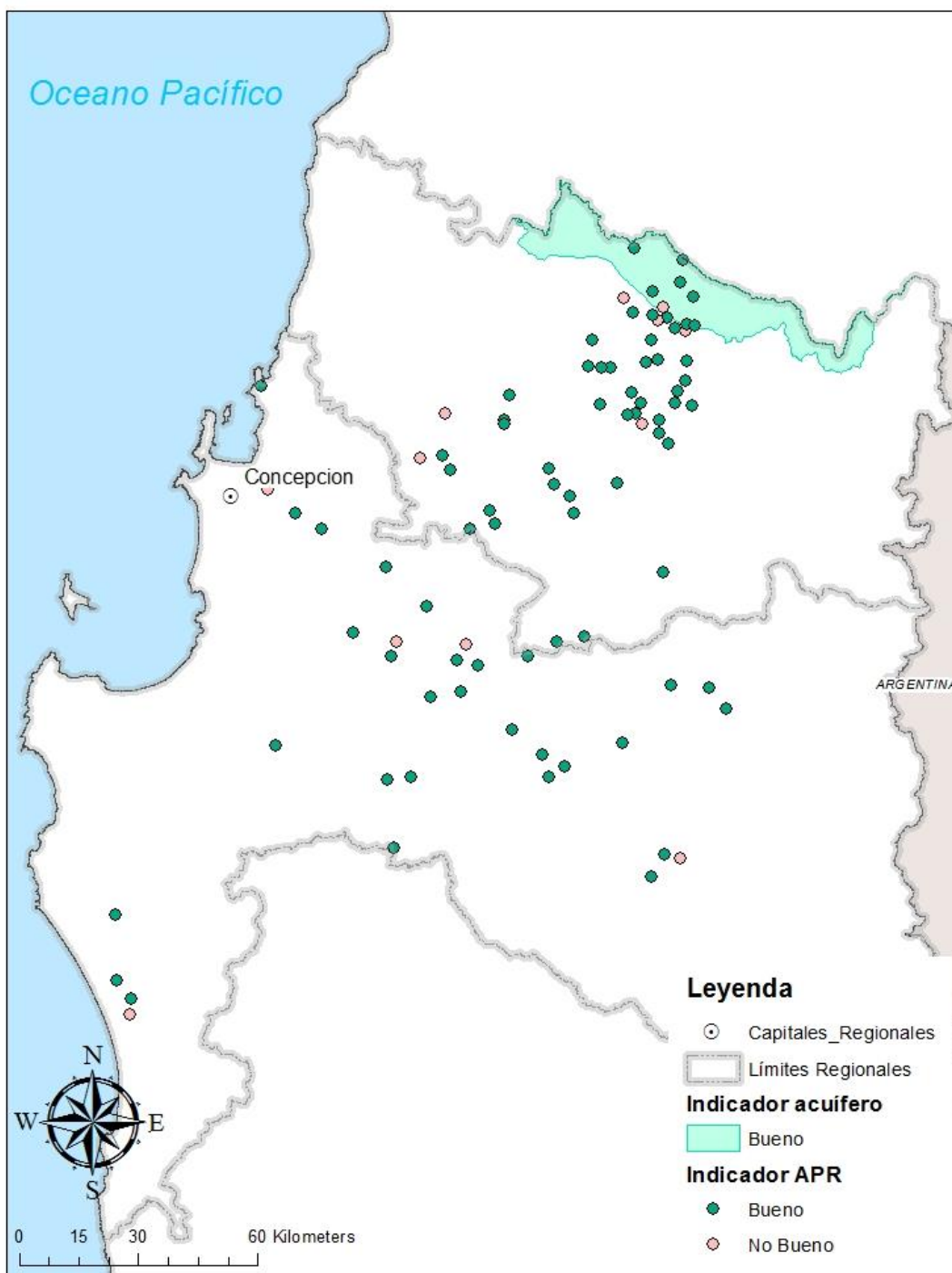


Figura 12: Indicador ODS 6.3.2. para la Macrozona Sur año 2018.

4.3. Indicador ODS 6.3.2. para el año 2019 en la región piloto

Se calculó para las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins, Maule, Ñuble-Biobío y Los Ríos. Se presenta el indicador ODS 6.3.2. para la región piloto de esta metodología (O'Higgins). Los resultados para el resto de las regiones se encuentran en la sección Anexos.

Tabla 9: Indicador ODS 6.3.2. para el año 2019 en la Región de O'Higgins.

APR	CODIGO_BNA	ACUIFERO	CE	pH	Nitrato	Media	Indicador
APR CABAÑA BLANCA SANTA JULIA	06010023-3	CACHAPOAL	0	100	0	33,3	No Bueno
APR IDAHUE	06012020-K	CACHAPOAL	100	100		100	Bueno
APR EL NICHE	06018020-2	CACHAPOAL	100	50		75	No Bueno
APR IDAHUE SAN VICENTE	06018021-0	CACHAPOAL	100	66,7	100	88,9	Bueno
APR LOS MAITENES DE TAGUA TAGUA EL INCA	06018022-9	CACHAPOAL	100	100		100	Bueno
APR PENCAHUE BAJO	06018023-7	CACHAPOAL	100	100		100	Bueno
APR JUAN NUÑEZ VALENZUELA PLANTA 2	06018024-5	CACHAPOAL	100	100		100	Bueno
APR LOS ROMOS LA PEDRINA	06019021-6	CACHAPOAL	100	100	100	100	Bueno
APR COOPERATIVA PUEBLO AUQUINCO	06034019-6	TINGUIRIRICA	100	100		100	Bueno
APR LA ARBOLEDA VALLE HERMOSO	06035007-8	TINGUIRIRICA	100	100		100	Bueno
APR NENQUEN EL TAMBO LA PUERTA	06037011-7	TINGUIRIRICA	100	100		100	Bueno
APR RANGUIL	06130008-2	NILAHUE	100	100	100	100	Bueno
APR PAREDONES	06140000-1	PAREDONES	100	0	100	66,7	No Bueno
APR CUTEMU-LA QUEBRADA	06140001-K	SAN PEDRO	100	100	100	100	Bueno

* En el caso de celdas vacías, no existen datos para ese parámetro.

4.3.1. Mapas del Indicador ODS 6.3.2. para aguas subterráneas por acuífero

Se presentan los resultados en forma gráfica a través de mapas, donde se agruparon las estaciones por macrozona con los acuíferos que las componen (DGA, 2016). Por lo tanto, se presentará la macrozona Norte con la Región de Coquimbo.

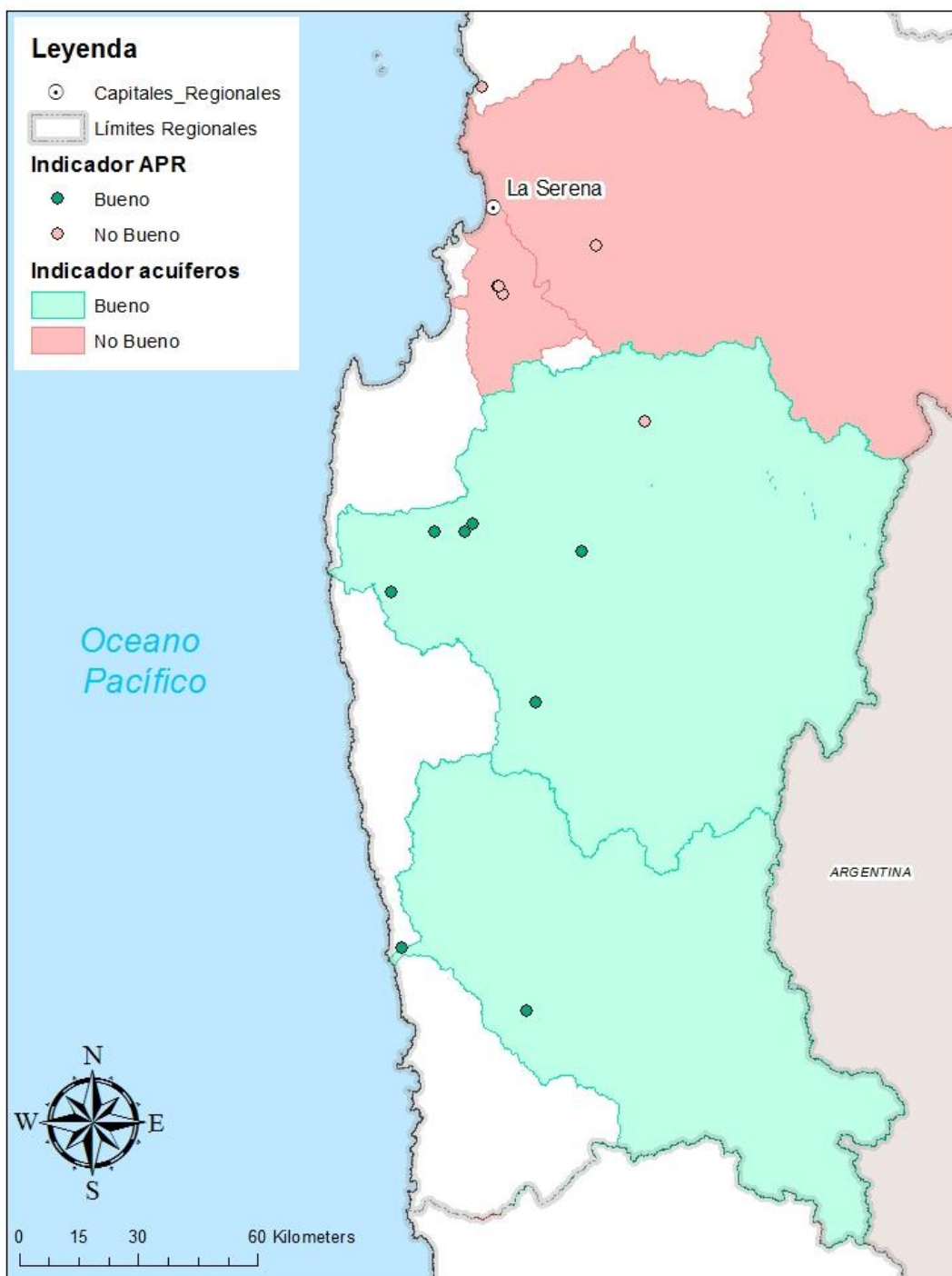


Figura 13: Indicador ODS 6.3.2. para la Macrozona Norte año 2019.

La Macrozona Centro, que incluye a la Región de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins y Maule se presentan en la Figura 14.

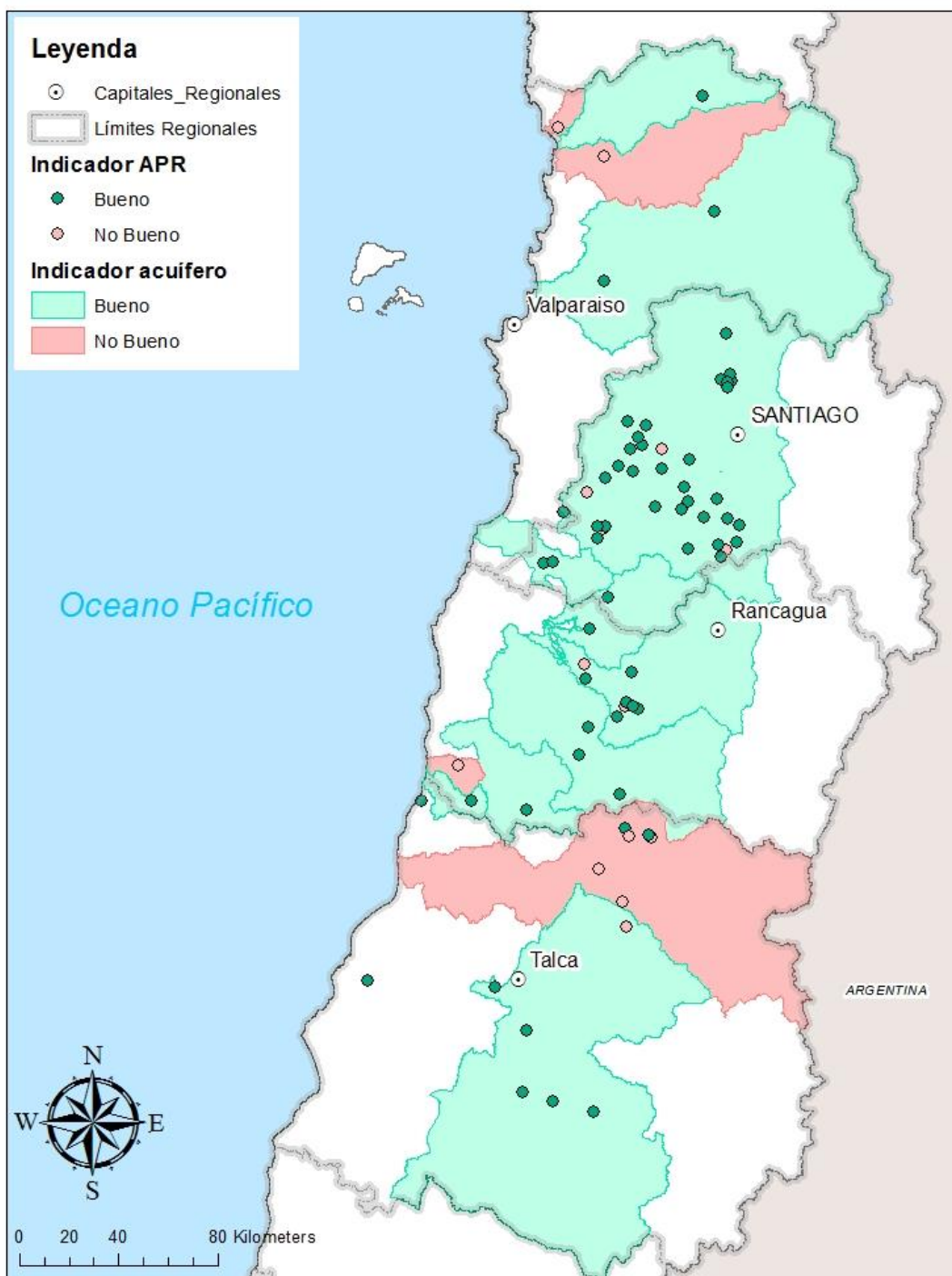


Figura 14: Indicador ODS 6.3.2. para la Macrozona Centro año 2019.

Macrozona Sur, incluye a las regiones de Ñuble, Biobío y Los Ríos, que se presenta en la Figura 15. En estas regiones no se encuentran acuíferos delimitados.

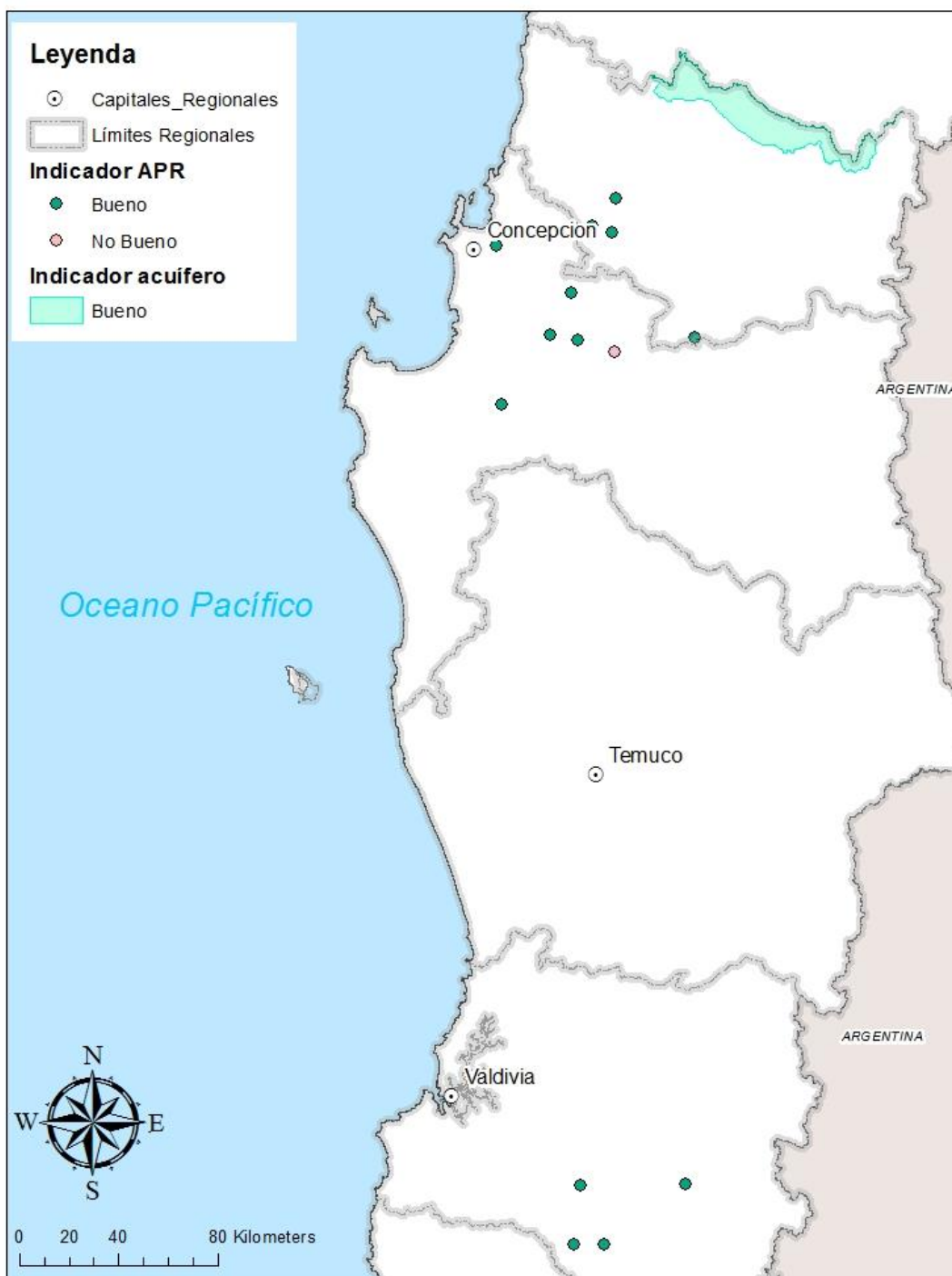


Figura 15: Indicador ODS 6.3.2. para la Macrozona Sur año 2019.

4.4. Comparación Indicador ODS 6.3.2.

Para una mejor comprensión del estado de los acuíferos según el indicador ODS 6.3.2. se presentan los resultados para los cuerpos de agua en los años 2018 y 2019 en la Tabla 10.

Tabla 10: Indicador ODS 6.3.2. por año, por acuífero ordenado de norte a sur.

Acuífero	2018		2019	
	Promedio	Indicador	Promedio	Indicador
LOS CHOROS	67	No Bueno		
ELQUI	79	No Bueno	67	No Bueno
CULEBRON LAGUNILLAS	67	No Bueno	67	No Bueno

Acuífero	2018		2019	
	Promedio	Indicador	Promedio	Indicador
LIMARI	98	Bueno	95	Bueno
CHOAPA	97	Bueno	100	Bueno
QUILIMARI	100	Bueno		
PETORCA	92	Bueno	100	Bueno
SIN INFORMACION	93	Bueno		
LA LIGUA	100	Bueno	67	No Bueno
ESTERO GUAQUEN	100	Bueno	67	No Bueno
QUINTEROS	100	Bueno		
ACONCAGUA	87	Bueno	100	Bueno
ESTERO LAGUNA VERDE	100	Bueno		
CASABLANCA	100	Bueno		
ESTERO EL ROSARIO	100	Bueno		
ESTERO CARTAGENA	100	Bueno		
MAIPO DESEMBOCODURA	100	Bueno	100	Bueno
YALI	100	Bueno	100	Bueno
ALHUE	100	Bueno	100	Bueno
MAIPO	93	Bueno	96	Bueno
CACHAPOAL	98	Bueno	87	Bueno
TINGUIRIRICA	96	Bueno	100	Bueno
PAREDONES			67	No Bueno
NILAHUE			100	Bueno
RIO MATAQUITO	100	Bueno		
MATAQUITO	94	Bueno	78	No Bueno
MAULE MEDIO	98	Bueno	89	Bueno

* En el caso de celdas vacías, no existen datos para ese parámetro.

5. DISCUSIONES Y DESAFÍOS

Los acuíferos de la Macrozona Norte presenta calidad “No Buena” en 3 de los 6 acuíferos estudiados el año 2018 (Figura 11) y para 2 de 5 el 2019 (Figura 13). Los parámetros que, en general, quedan fuera de los valores objetivos corresponden a la conductividad y nitratos (ver ANEXO). La relación entre el parámetro de conductividad y sólidos disueltos totales (SDT) está ampliamente documentada (Rusydi, 2018), pero dado que los parámetros utilizados proveen información limitada para realizar gestión de aguas, se recomienda considerar la información de metales y metaloides para identificar concentraciones anómalas.

En el caso de la Macrozona Centro, la metodología permitió identificar que el año 2019 se observaron 4 acuíferos como “No Bueno”. Dado los resultados (ANEXO) el parámetro que no cumplió con el valor objetivo fue en general el pH. Los orígenes de la alteración de parámetros son abordados en la Metodología (PNUMA, 2018), entre los escenarios que puedan causar el cambio en la calidad de un cuerpo de agua se encuentra la disminución de las precipitaciones anuales en la zona de recarga del acuífero, que es justamente lo que ocurre en la Macrozona Central entre el año 2018 y 2019¹². Sin embargo, esto es una hipótesis que debe ser estudiada.

El año 2018 para la Macrozona Sur presenta datos solo para las regiones Ñuble y Biobío, como se observa en la Figura 11. De forma general, los pozos indican una calidad “Buena” lo que se condice con el cálculo del ICA DGA¹³ que señala que más del 70% de los pozos estudiados cuenta con una clasificación Excepcional (70,5%) mientras que poco menos del 28% cuenta con calidad Buena, y solo el 1,9% corresponde a una clasificación Regular (DGA, 2019).

El 2019 la Macrozona Sur cuenta con datos para las regiones Ñuble-Biobío y Los Ríos (Figura 15), donde las primeras mantienen su calidad “Buena”. En la Región de Los Ríos el caso es similar, todas las estaciones APR presentan calidad “Buena”, nuevamente los resultados se condicen con los resultados ICA DGA que para 28 estaciones concluye que el 89,3% de los pozos estudiados cuenta con una clasificación Excepcional, el 7,1% con calidad Buena y solo 3,6% (1 estación) corresponde a Regular (DGA, 2020).

La metodología desarrollada y los resultados permiten clasificar los acuíferos delimitados hasta la fecha según el indicador ODS 6.3.2., sin embargo, algunos cuerpos de agua contaban con sólo una estación APR, que espacialmente puede no ser representativa. Mejorar la red de monitoreo y los parámetros utilizados implica desafíos y oportunidades para mejorar el cálculo para el indicador ODS 6.3.2., por lo tanto, la calidad de las masas de agua subterránea en Chile.

A continuación, se discutirán aspectos que se consideran relevantes al momento de implementar una mejora de la metodología de cálculo del indicador ODS 6.3.2 acá desarrollada.

5.1. Parámetros para conocer la calidad del agua

Los parámetros utilizados en esta metodología son acotados, por lo que al calcular el indicador ODS 6.3.2. para los acuíferos definidos se obtiene una clasificación básica debiendo utilizarse esta con precaución para realizar gestión de agua, sin embargo, sirve como guía para profundizar en los procesos que ocurren sobre los acuíferos con calidad “No Buena”.

Los requerimientos de los datos para calidad de aguas, depende altamente de los objetivos del proyecto, la Agenda 2030 pretende garantizar la gestión sostenible del agua

¹² <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>

¹³ Índice de Calidad de Aguas de la DGA (DGA, 2004)

y el saneamiento para todos, y para esto es fundamental considerar el ciclo del agua en su totalidad, incluidos todos los usos y usuarios. Así, para mejorar esta metodología se sugiere incluir la medición de parámetros asociados con residuos sólidos urbanos y domésticos, a contaminación agrícola e industrial (IGME: Porras Martín, et al., 1985) listados en la Tabla 11

Tabla 11: Parámetros sugeridos para mejorar el conocimiento de la calidad del agua subterránea.

Foco contaminación	Parámetros sugeridos
Residuos sólidos urbanos y domésticos	HCO_3 , Cl , SO_4
Contaminación agrícola	NH_4
Contaminación industrial	Fe , Mn , Zn ¹⁴

Adicionalmente incluir la evaluación de ciertos metales que presentan concentraciones mayores a lo que refleja la geología del país.

5.2. Red de Monitoreo de calidad de aguas subterráneas

La cantidad de estaciones que existen para la evaluación de ciertos acuíferos, en algunos casos corresponde a una (1), por lo tanto, la clasificación que se obtiene puede no ser representativa del cuerpo de agua evaluado. De esta forma, para mejorar la metodología se sugiere sumar estaciones que se encuentren dispersas dentro del acuífero, para así representarlo de forma adecuada. Estas estaciones pueden no ser APR, pero la muestra obtenida debe tener una profundidad similar, es decir, no mayor a 100 metros (FSPR, 2015) para que sea consistente con la medida en la red pozos APR.

El 2017 la superficie total urbana en Chile llegó a 289.781 hectáreas (ha.), lo que significó un aumento de 82.083 ha., respecto al 2002, lo que implica que los asentamientos urbanos crecieron tanto como la actual superficie del Gran Santiago que es de 78.252 ha. (INE, 2019). Lo que implica un aumento de demanda sobre los acuíferos, que eventualmente puede generar fuentes de contaminación (PNUMA, 2018).

Aumentar la cantidad de estaciones APR en zonas rurales cercanas a las ciudades de forma dispersa, puede mejorar la red de monitoreo existente. Una ventaja que presenta el indicador ODS 6.3.2. es que debe reportarse cada tres años (PNUMA, 2018), lo cual promueve un seguimiento constante de los acuíferos para así acceder a cambios en su calidad, permitiendo identificar, incluso, de focos de contaminación.

De no ser posible un incremento en la cantidad de pozos por acuífero se sugiere utilizar una subdivisión que cubra un área menor, como los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) de la DGA, o en último caso calcular el indicador por pozo APR.

5.3. Definición de cuerpos de agua

La falta de definición de acuíferos generó que varias zonas quedaran clasificadas con la calidad del indicador ODS 6.3.2 de las estaciones APR presentes., lo que no permite tener una caracterización espacial adecuada para el acuífero. Así, avanzar en la delimitación de acuíferos en base a parámetros hidrogeológicos es un desafío que debe enfrentar el país, que abre oportunidades al desarrollo de índices de calidad de agua y el monitoreo de aguas subterráneas.

Se sugiere, revisar la delimitación existente de acuíferos para la verificación de los parámetros hidrogeológicos utilizados. Además, se recomienda el uso de modelos de calidad de agua en el caso que no exista la suficiente información para delimitar un

¹⁴ NH_4 : Amonio, Fe: Hierro, Mn: Manganeso y Zn: Zinc.

acuífero para un mejor conocimiento e interpretación de la calidad del agua en estas zonas.

5.4. Informe Nivel 2

El informe de Nivel 2 tiene como objetivo complementar la información de Nivel 1 por lo que una aproximación de la condición natural de un acuífero para el informe de nivel 2 del indicador ODS 6.3.2. para aguas subterráneas permitirá a los países entender el funcionamiento de los acuíferos presentes en el territorio. Sin embargo, es un proceso difícil y costoso, que tampoco asegura que sea totalmente preciso, por lo tanto, una forma de determinar el origen de los contaminantes en un acuífero es buscar la fuente de estos, como lo puede ser el nitrógeno presente en el nitrato (NO_3) a través de sus isótopos (Carol Kendall, 2000).

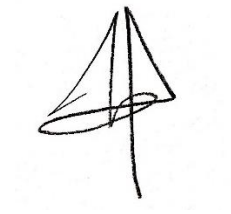
El Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) confeccionó el año 2006 una serie de mapas para determinar la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos y la ubicación de sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad a nivel nacional, abarcando a las regiones de Arica y Parinacota, Antofagasta, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana de Santiago (MMA, 2019). Utilizarlos para la gestión de aguas puede facilitar el estudio del origen de acuíferos con calidad “No Buena”.

El mejoramiento de la red de monitoreo debería extenderse también a zonas en la Precordillera y Cordillera de Los Andes, lo que permitiría realizar análisis de la evolución de las aguas subterráneas en su flujo hacia el océano, cuando sea el caso.

Además, se debe tener en especial consideración el monitoreo de los acuíferos con alta densidad poblacional, como lo es el acuífero Maipo que se encuentra en la Región Metropolitana, en la cual viven 6.061.185 habitantes, que equivalen al 40,1% de la población nacional y su densidad alcanza a 393 hb/km²¹⁵. Esto debido, al factor antrópico que puede afectar de manera importante a un acuífero considerado vulnerable (PNUMA, 2018).

¹⁵ <http://www.subdere.gov.cl/divisi%C3%B3n-administrativa-de-chile/gobierno-regional-metropolitano-de-santiago>

Mayo 2021



JAVIERA JAQUE
**ESTUDIANTE COLABORADORA
ESTUDIANTE DE GEOLOGÍA
UNIVERSIDAD DE CHILE**



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



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

6. Referencias

- Agua, C. M. (2019). *Recursos hídricos en Chile: Impactos y adaptación al cambio climático*.
- Ana María Sancha, R. O. (2008). *Managing Hazardous Pollutants in Chile: Arsenic*.
- Carol Kendall, R. A. (2000). Nitrate Isotopes in Groundwater Systems. En *Environmental Tracers in Subsurface Hydrology* (págs. 261-297).
- CEDEUS-DGA. (2020). *IMPLEMENTATION OF SDG INDICATOR 6.3.2 IN CHILE*.
- Christian Herrera, C. G. (2018). Groundwater origin and recharge in the hyperarid Cordillera de la Costa, Atacama Desert, northern Chile.
- DGA. (1986). *Mapa Hidrogeológico de Chile. Escala 1 : 2.500.000*. Santiago.
- DGA. (2004). *Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de agua según objetivos de calidad*.
- DGA. (2009). *Diagnóstico y Clasificación de Sectores Acuíferos*. Santiago.
- DGA. (2012). *Estudio hidrogeológico Cuenca del Río Mataquito*.
- DGA. (2016). *Atlas del Agua. Chile 2016*.
- DGA. (2016). *Diagnóstico de Calidad de aguas subterráneas en la Región Metropolitana - Complementario diagnóstico Plan Maestro de Recursos Hídricos Región Metropolitana de Santiago*.
- DGA. (2017). *Informe Técnico: Inventario Nacional de Acuíferos*. Santiago.
- DGA. (s.f.). *Biblioteca DGA*. Obtenido de <http://sad.dga.cl/hipres/html/links.html>
- DGA, D. d. (2003). *Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del río Elqui, IV región: informe técnico*.
- DGA, D. d. (2016). *Diagnóstico de la calidad de aguas subterráneas de la Región de Valparaíso*.
- DGA, D. d. (2016). *Diagnóstico de la calidad de aguas subterráneas de la Región Lib. Bernardo O'Higgins*. Santiago.
- DGA, D. d. (2017). *Diagnóstico de la calidad de aguas subterráneas de la Región de Coquimbo*. Santiago.
- DGA, D. d. (2019). *Diagnóstico de la calidad de aguas subterráneas de las regiones de Ñuble y Biobío*. Santiago.
- DGA, D. d. (2020). *Diagnóstico de la calidad de Aguas Subterráneas de la Región de Los Ríos*. Santiago.
- DGA, D. d. (2020). *Seguimiento de Calidad de Agua Subterránea en pozos APR 2019 - Regiones Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins, Maule y Ñuble-Biobío*. Santiago.
- DGA., D. d. (2018). *Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la Región del Maule*. Santiago.
- DMC. (2020). *Reporte anual de la evolución del clima en Chile*.

- FSPR. (2015). *Proyecto Agua Potable Rural*. Recuperado el 24 de Febrero de 2021, de <https://www.subinterior.gob.cl/media/2017/01/Anexo-N%C2%B07-PROYECTOS-AGUA-POTABLE-RURAL.pdf>
- IGME: Porrás Martín, J., Nieto López-Guerrero, P., EPTISA: Álvarez-Fernández, C., Fernández Uría, A., & Gimeno, M. V. (1985). 3. Contaminación de las aguas subterráneas. En *CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ESPAÑA*.
- Inc, A. (2021). *Anaconda*. Recuperado el 10 de Febrero de 2021, de <https://www.anaconda.com/products/individual>
- INE. (Agosto de 27 de 2019). *Prensa*. Recuperado el 24 de Febrero de 2021, de Entre 2002 y 2017 las áreas urbanas del país crecieron un tamaño equivalente al Gran Santiago: <https://www.ine.cl/prensa/2019/09/16/entre-2002-y-2017-las-%C3%A1reas-urbanas-del-pa%C3%ADs-crecieron-un-tama%C3%B1o-equivalente-al-gran-santiago#:~:text=Prensa-,Entre%202002%20y%202017%20las%20%C3%A1reas%20urbanas%20del%20pa%C3%ADs,tama%C3%B1o%20equivalente>
- MMA. (2019). *Estudio comparativo sobre vulnerabilidad de los acuíferos a nivel nacional, establecida por la DGA en relación a la señalada en los mapas de vulnerabilidad de SERNAGEOMIN*. Santiago.
- ONU. (s.f.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 16 de Febrero de 2021, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- PNUMA. (2018). *Prueba piloto de la metodología de monitoreo y primeras constataciones sobre el indicador 6.3.2. de los ODS*.
- PNUMA. (s.f.). *Documents and Materials*. Recuperado el 17 de Febrero de 2021, de Una Introducción al Indicador 6.3.2. de los ODS: Proporción de masas de agua de buena calidad.: <https://communities.unep.org/display/sdg632/Documents+and+Materials>
- Rusydi, A. F. (2018). Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review.
- SERNAGEOMIN. (2002). *Mapa Geológico de Chile*.
- Song He, P. L. (2019). Groundwater quality under land use/land cover changes: A temporal study from 2005 to 2015 in Xi'an, Northwest China.
- Victor A. Ramos, E. C. (2002). The Pampean flat-slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*.

7. ANEXO DIGITAL

PLANILLAS

- Indicador ODS 6.3.2. Año 2018.
- Indicador ODS 6.3.2. año 2019.
- Acuíferos con calidad “No Buena” año 2018.
- Acuíferos con calidad “No Buena” año 2019.

SHAPEFILE