



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO DE LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA ESCASEZ HÍDRICA EN LA
ZONA NORTE DE CHILE Y ANÁLISIS CRÍTICO DE LOS PLANES EXISTENTES**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

MARÍA JOSÉ PAZ ARELLANO HERNÁNDEZ

PROFESOR GUÍA
ADOLFO OCHOA LLANGATO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN
YARKO NIÑO CAMPOS
ENRIQUE KALISKI KRIGUER

SANTIAGO DE CHILE

2021

**RESUMEN DE MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL
POR: MARÍA JOSÉ ARELLANO HERNÁNDEZ
FECHA: ENERO DEL 2021
PROFESOR GUÍA: ADOLFO OCHOA LLANGATO**

Estudio de las variables que influyen en la escasez hídrica en la zona norte de Chile y análisis crítico de los planes existentes

Este trabajo de título pretende entregar un aporte a la solución de los problemas de abastecimiento de agua potable que existen en Chile, los que afectan cada día a miles de personas en el país. Actualmente no es discutible la escasez del recurso hídrico y la disminución de las precipitaciones; pero a pesar de esa realidad no existe un plan maestro, o central, que indique que el Estado está enfrentando esta situación de manera coordinada, integrando los diversos esfuerzos que existen hasta ahora, como: decretos de emergencia agrícola y de escasez hídrica, proyectos de Agua Potable Rural, plan de embalses. Los decretos, que destinan sumas de dinero importante a las zonas afectadas, no aportan a la solución del problema de fondo; mientras que los planes de construcción de obras hidráulicas no son debidamente acompañados por el Estado, no han sido actualizados y no ha habido un plan de reinversiones y, el plan de embalses no cuenta con las bases institucionales necesarias para que las aguas acumuladas puedan ser usadas para fines de consumo humano.

De la investigación realizada se destaca que en Chile hay 1.060.820 personas sin acceso a redes de agua potable, con 475.704 viviendas sin ese suministro, que representan el 47,2% de la población rural. A ellos deben sumarse las personas y viviendas conectadas; pero cuyo suministro de agua es insuficiente. Acerca de las dotaciones mínimas, existen diversos valores consensuados según cada institución: la OMS define 100 lts/hab/día; empresas concesionarias entre 166 y 216 lts/hab/día. Para los efectos del presente estudio se adoptó una dotación de 170 lts/hab/día.

En el presente trabajo se seleccionaron cinco comunas sobre las cuales se realizó un estudio de alternativas de solución para mejorar el suministro de agua potable. Las comunas son: Illapel, Canela, Los Vilos, Combarbalá y Punitaqui, todas de la IV Región de Coquimbo. La población afectada por la falta de agua alcanza las 17.597 personas, que es un 20,6% del total de habitantes de las cinco comunas. Además, se obtuvo la demanda de agua necesaria para satisfacer esas necesidades de la población asociada a la zona estudiada.

Del análisis sobre las características de la zona, se concluye que el problema de falta de agua potable no solo es por falta del recurso hídrico, sino también, por falta de inversiones e infraestructura para el suministro de agua potable. El plan de embalses no avanza al ritmo de las necesidades actuales y no se ha modernizado, incorporando el derecho de las personas a usar esas aguas para fines de consumo como agua potable. No existe un plan de desaladoras, que como se ha constatado, han comenzado a construirse con fines de abastecimiento de agua potable.

Como solución al problema en 4 de las 5 comunas seleccionadas, se presenta la alternativa de instalar plantas desaladoras y líneas matrices de tuberías para impulsar el agua, desde las plantas desaladoras ubicadas en la costa, hasta los lugares de consumo o cercanos a ellos. En este sistema se contempla la instalación de estanques acumuladores y estaciones de bombeo intermedias. Las líneas matrices, eventualmente, podrían tener un uso reversible conduciendo aguas dulces provenientes de los embalses cuando la institucionalidad así lo permita.

Para quienes se aventuran a pesar del miedo.

Agradecimientos

“Gracias a la vida que me ha dado tanto.” (Violeta Parra. 1966. Gracias a la vida)

Además de la vida, quiero agradecer a mis padres quienes me han aportado su mejor 50%, mi madre, su valentía y constancia, “pase lo que pase, tienes que terminar lo que empezaste, porque satisfacciones a medias no.”; y mi padre, su sensibilidad y consciencia social, que sin estos dos componentes este trabajo jamás se hubiera llevado a cabo. Me dijiste “la juventud es el cambio” y yo aun me siento joven.

De nuevo agradezco a la vida, por poner en mi camino personas tan maravillosas como mi maestra y guía espiritual Sheril, que me ayudó a enfrentar los momentos más difíciles de la carrera, y que gracias a su guía logré cambiar mi forma de percibir la vida y disfrutar cada día y cada momento que se presenta en mi camino. Me enseñó “el secreto” de vivir y todos los días agradezco un día más de aventuras y nuevos aprendizajes. Gracias, gracias, gracias.

Arriesgándome a ser redundante y repetitiva, agradezco infinitas veces al universo y todos los astros, por haberse alineado para encontrarme en esta etapa de mi vida profesional, con el profe Adolfo. Los pensamientos se me vienen todos juntos a la cabeza, así que le agradeceré en orden cronológico; primero, gracias por darse el tiempo de escuchar y apoyar un proyecto que en un principio se sostenía en las nubes, gracias por confiar en las capacidades de una alumna, que si le decimos lo bello que quedó el trabajo no se la cree. Gracias por estar al pie del cañón con mis ideas, y compartir las suyas, que tan oportunamente llegaban en mis semanas de confusión.

Gracias por compartir sus experiencias laborales conmigo, como dice mi madre “la gente inteligente aprende de sus propias experiencias, la gente extraordinaria aprende de las experiencias de los demás”, y yo me siento muy capaz y preparada para sumergirme en el mundo laboral gracias a sus aventuras como ingeniero. Sus vivencias me enseñaron que los profesionales con ganas de cambiar el mundo aún existen, somos pocos, pero locos, y cuando nos dan la oportunidad entonces nos arriesgamos a hacer las cosas para el bien común sin importar “los costos”, “el qué dirán” o las infinitas explicaciones que tengamos que dar, porque al final se demuestra con obras construidas, comunidades satisfechas, y nuevas amistades, que no cuesta nada hacer las cosas bien.

Y como me gusta rescatar una frase de todos mis grandes maestros, una de mis favoritas del profe es, “el dinero es una consecuencia”, y la atesoraré todos los días que me toque ejercer como ingeniera, porque mi foco para estudiar esta carrera siempre estuvo en ser un aporte, pequeño o del porte de un embalse que pueda abastecer de agua potable a toda una región, sin importar costos o ganancias, porque nuestra abundancia mora en nuestros corazones, no en el bolsillo.

Finalmente, me queda agradecer a mis coetáneos, porque una vida sin amigxs es bien fome. Gracias Javivi y Panchita, por apañarme cada vez que las wasapie en mi búsqueda de datos y estadísticas. Gracias a mis amigos y amigas de la facultad por compartir tardes de estudio y tiempos de relajo con mucha conversación. Lo pasé la raja. Y en especial a la Pachi que compartimos los altos, los bajos, borracheras y enfermedades durante toda la carrera. Les quiero con toda el alma.

Tabla de contenido

1	Introducción.	1
1.1	Motivación.	1
1.2	Objetivo General.	4
1.3	Objetivos Específicos.	4
1.4	Hipótesis del Trabajo.	5
2	Metodología y Alcances.	6
2.1	Zonas de Escasez Hídrica y/o Emergencia Agrícola.	6
2.2	Caracterización de Comunas con Escasez.	6
2.3	Políticas Públicas y Planes del Estado.	7
2.4	Análisis Proyectos de Embalse en Desarrollo.	8
2.5	Opinión Pública Acerca de Proyectos de Embalsamiento.	8
2.6	Propuestas de Soluciones Técnicas.	8
3	Marco Teórico.	9
3.1	Abastecimiento de Agua Potable en Sectores Rurales.	9
3.2	Caracterización Zonas Rurales.	11
3.3	Programas y Medidas del Estado de Chile.	13
3.4	Obras de Embalsamiento de Agua.	15
3.5	Cambio Climático y Sequía.	16
3.6	Estrés Hídrico.	17
3.7	Escasez Hídrica.	19
3.8	Dotación de Agua.	21
4	Criterios de Selección de Comunas.	24
4.1	Decretos de Escasez Hídrica.	24
4.2	Decretos de Emergencia Agrícola.	27
4.3	Población no Conectada a Sistema de Agua Potable, Censo 2017.	29
4.4	Población Vulnerable, Casen 2017.	31
4.5	Comunas Seleccionadas.	36
5	Caracterización de Comunas Seleccionadas.	38
5.1	Caracterización Físico- Ambiental de la Zona en Estudio.	38
5.2	Antecedentes Hidrometeorológicos.	39
5.2.1	Registros de Precipitaciones.	42
a)	Gráficos de Precipitaciones.	42
b)	Conclusiones Generales.	45
5.2.2	Registro de Caudales.	45
	Gráficos de Caudales.	45
a)	45	
b)	Conclusiones Generales.	48
5.3	Infraestructura Existente para Agua Potable.	50
5.3.1	Embalses.	51
5.3.2	Sistemas de Agua Potable Rural (APRs).	53
5.3.3	Empresas Concesionarias para el Abastecimiento de Agua Potable.	58
5.4	Número de Habitantes Sin Acceso a Red.	58
5.5	Determinación de Demanda de Agua Potable por Atender.	60

6	Análisis de Alternativas de Soluciones Técnicas.	62
6.1	Plantas Desaladoras de Agua de Mar.	63
a)	Planta Desaladora de Agua de Mar para la Región de Atacama.	63
b)	Planta Desaladora de Agua de Mar en la comuna de Tocopilla.	65
6.2	Obras de Embalse.	67
a)	Embalse Valle Hermoso, Combarbalá.	67
b)	Proyectos de Embalse, región de Coquimbo.	69
I.	Embalse Canelillo.	69
II.	Embalse Murallas Viejas.	69
III.	Embalse La Tranca.	70
6.3	Otras Fuentes.	72
7	Aplicación de Soluciones Técnicas en Zona de Estudio.	73
7.1	Metodología de Trabajo.	74
7.2	Uso de Agua Desalinizada.	75
7.2.1	Condiciones de Diseño.	75
7.2.2	Criterios de Diseño.	81
7.2.3	Dimensionamiento Matriz Limarí.	84
7.2.4	Dimensionamiento Matriz Quilimarí.	85
7.2.5	Dimensionamiento Matriz Canela – Illapel.	86
7.3	Uso de Embalses.	89
7.4	Caso Estudio Combarbalá.	91
7.5	Otros Aspectos Asociados a un Proyecto de Desalación.	92
7.5.1	Costos del Suministro de Agua en Chile.	92
7.5.2	Aspectos Medio Ambientales de los Proyectos de Desalación.	94
8	Comentarios y Conclusiones.	95
8.1	Logro de los Objetivos.	95
8.1.1	Objetivo General.	95
8.1.2	Objetivos Específicos.	95
8.2	Comentarios y Reflexiones.	97
9	Bibliografía	102

Índice de Figuras

Figura 1.1: Número de decretos emitidos anualmente entre el año 2008 y 2020.	2
Figura 3.1: Número de viviendas particulares ocupadas, según origen del agua, por sectores. “Síntesis de resultados Censo 2017”, INE junio 2018.....	10
Figura 3.2: Comparación para todas las cuencas piloto del flujo de precipitación entre los periodos del balance hídrico DGA 1987 y el balance actual 1985-2015.....	16
Figura 3.3: Disponibilidad de agua por habitante en las regiones de Chile. “Estado del Medio Ambiente”, 2016 Ministerio del Medio Ambiente.....	18
Figura 3.4: Estrés Hídrico en Chile, oferta versus demanda de agua en las regiones del país.....	20
Figura 3.5: Gráfico comparativo de la dotación de agua potable [l/hab/día] en regiones del norte de Chile con respecto al promedio nacional.....	23
Figura 4.1: Mapa geográfico de zonas bajo decreto de escasez hídrica entre los años 2015 y 2020.	25
Figura 4.2: Gráfico de frecuencia, expone cantidad de veces que una comuna ha sido declarada bajo de decreto de escasez hídrica entre los años 2015 y 2020.....	26
Figura 4.3: Gráfico de frecuencia, expone las comunas que han sido declaradas zonas de escasez hídrica entre los años 2015 y 2020.....	26
Figura 4.4: Cantidad de viviendas sin acceso a red en sector urbano y rural por cada región.....	29
Figura 4.5: Cantidad de viviendas sin acceso a red en sector urbano y rural, en regiones del norte del país.	30
Figura 4.6: Viviendas sin acceso a red en comunas de Coquimbo y Valparaíso.	30
Figura 4.7: Porcentaje de personas en situación de pobreza por ingresos, Nacional.....	31
Figura 4.8: Indicadores por dimensión, junto con el ponderador respectivo.	32
Figura 4.9: Porcentaje de personas en situación de pobreza Multidimensional (5 dimensiones) en cada región del país.....	33
Figura 4.10: Mapa geográfico de las comunas que componen la región de Coquimbo.	33
Figura 4.11: Porcentaje versus el número de personas en situación de pobreza por ingresos.	34
Figura 4.12: Porcentaje versus el número de personas en situación de pobreza Multidimensional (5 dimensiones). <i>Datos Casen 2017</i>	34
Figura 4.13: Gráfico comparativo de los índices de vulnerabilidad junto con el número de habitantes si acceso al agua, por comuna. <i>Datos</i>	35
Figura 4.14: Mapa geográfico de las comunas de Coquimbo, destacadas según el número de viviendas sin acceso a la red, presente en cada una. <i>Datos Censo 2017</i>	36
Figura 5.1: Mapa geográfico de la ubicación de las estaciones consultadas por comuna.	41
Figura 5.2: Gráfico promedios precipitaciones medias mensuales, comuna de Canela.	42
Figura 5.3: Gráfico promedios precipitaciones medias mensuales, comuna de Los Vilos.	43
Figura 5.4: Gráfico promedios precipitaciones medias mensuales, comuna de Illapel.....	43
Figura 5.5: Gráfico promedios precipitaciones medias mensuales, comuna de Combarbalá.	44
Figura 5.6: Gráfico promedios precipitaciones medias mensuales, comuna de Punitaqui.....	44
Figura 5.7: Gráfico promedios caudales medios mensuales, comuna de Canela.....	45
Figura 5.8: Gráfico promedios caudales medios mensuales, comuna de Los Vilos.	46

Figura 5.9: Gráfico promedios caudales medios mensuales, comuna de Illapel.....	47
Figura 5.10: Gráfico promedios caudales medios mensuales, comuna de Combarbalá.....	47
Figura 5.11: Gráfico promedios caudales medios mensuales de las cuatro comunas, para el periodo de “Mega Sequía”.	48
Figura 5.12: Mapa geográfico de la ubicación de los embalses y estaciones fluviométricas.	49
Figura 5.13: Mapa geográfico de la ubicación de los embalses y sistemas APR.	50
Figura 5.14: Gráfico comportamiento del volumen almacenado en el embalse Cogotí.....	52
Figura 5.15: Gráfico comportamiento del volumen almacenado en el embalse Culimo.....	52
Figura 5.16: Gráfico comportamiento del volumen almacenado en el embalse El Bato.....	53
Figura 6.1: Plano desalinizadora provincias de Copiapó y Chañaral.	64
Figura 6.2: Plano desalinizadora comuna de Tocopilla.	66
Figura 7.1: Trazado y elevación de la conducción en la localidad de Canela.....	77
Figura 7.2: Trazado y elevación de la conducción en la localidad de Illapel.....	78
Figura 7.3: Trazado y elevación de la conducción en la localidad de Punitaqui.	79
Figura 7.4: Trazado y elevación de la conducción en la localidad de Los Vilos.	80
Figura 7.5: Esquema de conducción Pta Limarí a La Higuera, Comuna de Punitaqui.	84
Figura 7.6: Esquema de conducción Pta Quilimarí a Guangalí, Comuna de Los Vilos.	85
Figura 7.7: Esquema de conducción Pta Huentelauquén a Los Pozos, La Capilla y Peralillo, Comuna de Illapel y comuna de Canela.	86
Figura 7.8: Costo asociado al uso de agua de mar en el sector de la minería (US\$/M3).	93

Índice de Tablas

Tabla 3.1: Estimación de número de habitantes sin acceso a la red de agua potable en zonas rurales de Chile.	11
Tabla 3.2: Definición de población rural, en base al tamaño de los asentamientos humanos.	12
Tabla 3.3: Caracterización de población rural según el programa de APRs 2015.....	12
Tabla 3.4: Distribución porcentual de la población rural en Chile.	12
Tabla 3.5: Decretos de escasez hídrica año 2020 (datos actualizados en marzo del 2020).....	14
Tabla 3.6: Dotación de agua potable [l/hab/día] de acuerdo con el abastecimiento de cada empresa sanitaria a lo largo de Chile.	22
Tabla 3.7: Parámetros dotaciones de consumo en zonas rurales.....	23
Tabla 4.1: Decretos de emergencia agrícola, periodo año 2011 y 2020 (datos actualizados en marzo del 2020).	28
Tabla 4.2: Resumen de las comunas seleccionadas, junto con los criterios aplicados.	37
Tabla 5.1: Características geográficas de las comunas seleccionadas.	39
Tabla 5.2: Antecedentes de estaciones meteorológicas consultadas entre los años 1980 – 2019..	40
Tabla 5.3: Antecedentes de estaciones fluviométricas consultadas entre los años 1980 – 2019..	40
Tabla 5.4: Periodos estimados para análisis de variabilidad de caudales y precipitaciones.	42
Tabla 5.5: Descripción de las obras de embalse en la zona de estudio.....	51
Tabla 5.6: Detalle del número de sistemas de agua potable rural por comuna, y beneficiarios. ...	54
Tabla 5.7: Resumen de sistemas APRs y beneficiarios del servicio.....	55
Tabla 5.8: Características operativas de sistemas APR de la comuna de Punitaqui.	55
Tabla 5.9: Características operativas de sistemas APR de la comuna de Combarbalá.....	56
Tabla 5.10: Características operativas de sistemas APR de la comuna de Los Vilos.	56
Tabla 5.11: Características operativas de sistemas APR de la comuna de Illapel.	56
Tabla 5.12: Características operativas de sistemas APR de la comuna de Canela.	57
Tabla 5.13: Habitantes conectados a la red pública, y número de beneficiarios por concesión. ...	58
Tabla 5.14: Viviendas particulares conectadas a red pública y viviendas sin acceso a la red.	59
Tabla 5.15: Habitantes con acceso a red pública de agua y habitantes sin acceso a la red.	59
Tabla 5.16: Número total de habitantes que permitan calcular la demanda de agua potable.....	59
Tabla 5.17: Demanda preliminar de agua potable en las comunas analizadas.....	60
Tabla 5.18: Calculo de la demanda de agua por atender en las comunas analizadas.	61
Tabla 6.1: Resumen características de proyecto desaladora provincias de Copiapó y Chañaral..	64
Tabla 6.2: Resumen características de proyecto desaladora Tocopilla.....	66
Tabla 6.3: Resumen de las principales características del proyecto Valle Hermoso.	67
Tabla 7.1: Características de los trazados de cada matriz.	81
Tabla 7.2: Cálculos de magnitudes de los componentes de Matriz Limarí.	84
Tabla 7.3: Cálculos de magnitudes de los componentes de Matriz Quilimarí.	85
Tabla 7.4: Cálculos de magnitudes de los componentes de Matriz Canela - Illapel, Ramal Canela.	87
Tabla 7.5: Cálculos de magnitudes de los componentes de Matriz Canela - Illapel, Ramal Illapel.	88

Tabla 7.6: Resumen impulsiones-matrices de agua.....	89
Tabla 7.7: Tarifa de agua potable y saneamiento de empresas concesionarias a lo largo de Chile, (US\$/m3).	92

1 Introducción.

Los ciclos naturales del planeta Tierra están en un profundo cambio, ya que con la intervención del ser humano se han ido modificando las condiciones atmosféricas, climáticas e hidrológicas año tras año con mayor intensidad, y con el tiempo la carencia de ciertos recursos será más notoria debido a que la materia no se logra renovar a tiempo, y uno de estos recursos indudablemente es el agua. A pesar de que la superficie de nuestro planeta está constituida por más de un 70% de agua, el agua dulce es cada vez más escasa y este recurso es de vital importancia, tanto para la biota terrestre como para los seres humanos que ya en la actualidad se ven perjudicados por la falta del recurso.

El presente estudio nace del interés que existe acerca del tema de la escasez hídrica que está aconteciendo a nivel país, particularmente, y con mayor fuerza en la zona norte de Chile. De esta manera, surge el afán de conocer y estudiar las condiciones hidrológicas que acontecen en la región, para determinar la relación oferta, o disponibilidad de agua natural, con su demanda en las cuencas o subcuencas más afectadas por la falta de agua, circunscribiendo esta demanda a las necesidades de agua potable y riego para agricultura de subsistencia o huerto familiar.

Complementariamente concierne también vislumbrar posibles caminos de solución para aquellas zonas claramente deficitarias de agua natural, ya que el agua es un recurso esencial para el desarrollo de la sociedad, las personas y los ecosistemas. Además, de ser pertinente, es relevante para este trabajo estudiar la manera de aprovechar los recursos hídricos superficiales, independiente de su origen. Todo lo anteriormente expuesto, bajo la premisa de la sustentabilidad, y del respeto y la inclusión de las comunidades y el medio ambiente.

1.1 Motivación.

Actualmente es de público conocimiento que Chile está viviendo un largo período de sequía. Durante el verano del 2020 se dictaron 17 decretos de escasez hídrica, involucrando a 136 comunas de las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Región Metropolitana, O'Higgins y Maule, lo que afecta a más de 1 millón de habitantes en el país. Además, existen 4 regiones donde gran parte de sus localidades fueron decretadas zonas de emergencia agrícola. En total la población afectada por la falta del recurso supera el millón de personas, y las estadísticas de la DGA muestran un aumento en la emisión de decretos con el paso de los años. (ver).

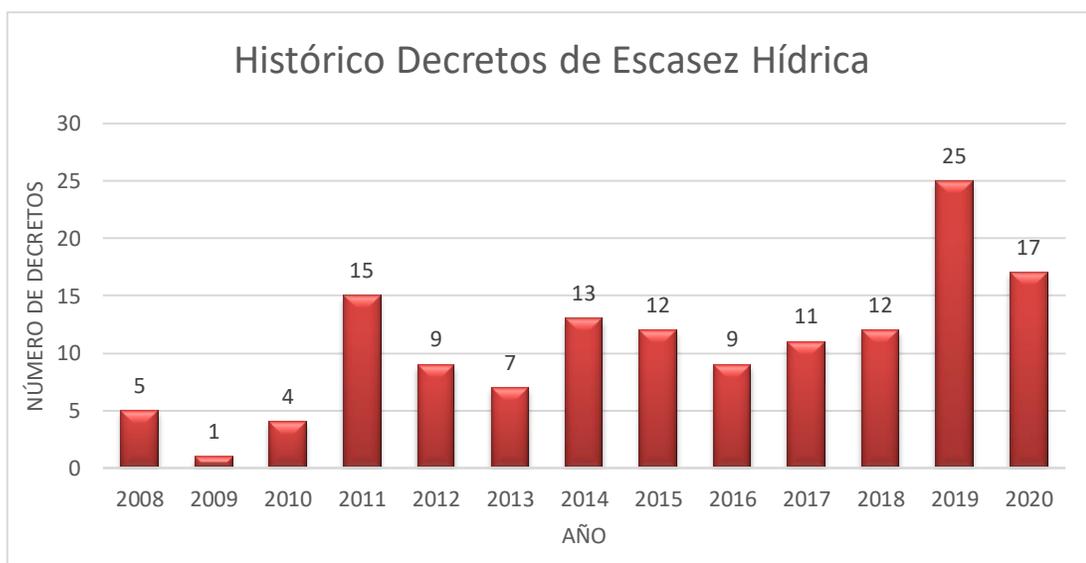


Figura 1.1: Número de decretos emitidos anualmente entre el año 2008 y 2020.

En general, la información pública disponible deja en evidencia que existe una concentración significativa de localidades afectadas en la zona norte de Chile, donde la falta del recurso ha mermado el desarrollo de las comunidades y la calidad de vida de la población, sin tomar en cuenta aún las implicancias a la flora y fauna, donde se han generado zonas áridas, y en suma la muerte de gran cantidad de animales de las diferentes especies. Por lo anterior, para el presente estudio el enfoque se dará para algunas regiones del norte del país, comprendidas desde la región de Valparaíso hasta Arica y Parinacota.

Por otra parte, la población se ha mostrado descontenta y preocupada frente al desabastecimiento de agua potable mediante redes de distribución; situación que ha afectado a numerosas zonas del país. En este contexto, es relevante precisar también, si la falta de agua es por falta de infraestructura para aprovechar el agua que naturalmente genera la naturaleza, o bien, la crisis se ha desarrollado porque efectivamente no precipita lo suficiente para satisfacer la demanda de agua para consumo humano y riego.

En cuanto a infraestructura, la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas está desarrollando, desde hace años, un plan de construcción de embalses, destinados principalmente al riego. Otras alternativas que han sido propuestas y desarrolladas por particulares para afrontar la crisis son la aplicación de plantas desaladoras, que en el ámbito privado han resultado ser una solución para abastecimiento de agua para usos en la minería, y en el último tiempo se han desarrollado para abastecimiento de agua potable en algunas localidades del norte de Chile, incluyendo en algunos casos subsidios estatales. Mientras que hacia el sur se ha pensado en la construcción de la denominada “carretera hídrica”, que busca trasvasiar aguas desde la zona sur, desde la cuenca del Bio-Bio, hacia el centro del país mediante un canal de 1.000 Kms. de extensión, hasta la zona de Melipilla. Esto bajo la hipótesis de que en el sur habría un exceso de agua que podría ser utilizada en la zona central de Chile.

En relación con la infraestructura, interesa ver si los planes del Estado, en cuanto a embalses, son suficientes o no, introduciendo, si es preciso, una mirada crítica a su desarrollo, en tanto no estén a la altura de las necesidades. Lo anterior, dado que ha quedado en evidencia que los planes de construcción de embalses, como sistemas de almacenamiento de agua, no han sido la solución porque la crisis está presente, sin embargo, no está claro si es porque hay que construir más embalses y no ha sido posible hacerlo por diversas razones; o si de construirlos, se ha estimado que no sería posible llenarlos debido al déficit de precipitación.

Complementariamente se tiene que en Chile no existe un ambiente propicio para el desarrollo de proyectos de embalses, por los impactos que generan, lo que supone enfrentarse a uno de los grandes desafíos de la ingeniería, para identificar claramente los verdaderos impactos ambientales y sociales, y proponer soluciones que sean compartidas por las comunidades y la sociedad en general. Además, está el desafío para el Estado y las empresas privadas, por ejemplo, aquellas desarrolladoras de proyectos hidroeléctricos mediante embalses, de hacerse cargo de las externalidades y realizar obras que integren los intereses de todos los actores implicados.

El ambiente no propicio hacia los embalses, ha afectado también el desarrollo hidroeléctrico, el que muy bien puede ser combinado con aprovechamiento para riego, tal como el embalse multipropósito Punilla, concesionado por el Estado, que inicio su construcción y actualmente se encuentra detenido a la espera de una resolución arbitral sobre la salida del actual concesionario. Respecto a lo anterior, el Estado de Chile durante el período 2014 a 2017, realizó diversos estudios para abonar al desarrollo de proyectos de embalses para generación eléctrica, considerando, según dichos estudios, “Hoja de Ruta 2050” y estudios asociados, que la hidroelectricidad, principalmente de embalses, resulta importante en la visión del Estado hacia el 2050. Junto con considerar esta importancia, esos estudios dejaron claro que el desarrollo de esos proyectos no es posible concebirlo sin que exista una relación amigable con el medio ambiente, con las comunidades y la sociedad en general, y sin incorporar conceptos de sustentabilidad. Entre esos estudios destaca el estudio de cuencas, donde se identifican los Objetos de Valoración que las personas y la sociedad valoran en las cuencas y subcuencas estudiadas, y que son aquellas ubicadas desde el río Maipo hacia el sur. Aunque los estudios señalados están referidos a la zona centro sur de Chile, y sobre proyectos hidroeléctricos, se estima que pueden ser una referencia o un ejemplo por replicar para el desarrollo de embalses para riego y agua potable en la zona norte de Chile.

En este contexto surge el interés de estudiar las diversas variables ya comentadas que conlleva el desarrollo de embalses, y también determinar la influencia, ponderada, que poseen en la situación que actualmente se vive en Chile y que muchas veces se ha calificado como crítica. La visión que se espera entregar es desde el punto de vista de una ingeniera civil que pretende aportar a las soluciones de problemas de la sociedad.

1.2 Objetivo General.

El presente estudio intenta ponderar las variables que influyen en la escasez hídrica que afecta las zonas rurales del norte de Chile y sus consecuencias, como el cambio climático; la disminución de las precipitaciones; alzas en las temperaturas; uso del recurso para agricultura; normativa; entre otros, y proponer soluciones técnicas a nivel de ingeniería conceptual, para resolver, en lo principal, el déficit de agua potable que presentan estas localidades. En este contexto, se analizará la utilidad de los embalses y otras obras para resolver la crisis hídrica que perjudica el abastecimiento de agua potable y la actividad de riego, fundamental para el desarrollo agrícola no industrializado, en algunas cuencas y subcuencas de la zona norte del país.

De esta manera, el presente trabajo busca ser un aporte para enfrentar la sequía, entregando ideas que lleguen a convertirse en una alternativa viable para la construcción sustentable de obras civiles, para agua potable y riego de huertos familiares en las zonas afectadas por la escasez hídrica, todo esto en un contexto nacional de conflicto social donde la opinión de las comunidades debe ser tomada en cuenta, por lo que realizar una planificación territorial, considerar las consecuencias del cambio climático y conocer las políticas públicas que enmarcan la construcción de estos proyectos, es de carácter obligatorio.

1.3 Objetivos Específicos.

Cuando estamos en situaciones de escasez hídrica las soluciones inmediatas son muy costosas y de largo aliento, ya que requieren de la participación de un gran número de entidades gubernamentales, y empresas privadas para corregir el estado de escasez rápidamente. Es por ello, que en la búsqueda de soluciones para esta problemática es importante definir un listado de control, al cual se le dará seguimiento para encontrar una solución factible. A continuación, se presentan los objetivos específicos del estudio.

- a) Mapear las comunas del norte de Chile que han sido declaradas zonas de escasez hídrica y /o emergencia agrícola, seleccionando las cinco más críticas o con mayor déficit de agua para agua potable y riego no industrializado, y conocer y presentar las disponibilidades de agua natural (condiciones hidrológicas) y la infraestructura existente para el suministro de agua para sus diferentes usos, de esas cinco comunas.
- b) Investigar y mapear las comunas seleccionadas del norte de Chile, donde no existe disponibilidad de agua potable por redes, o bien, las redes existentes son insuficientes para satisfacer las necesidades normales de la población.
- c) Conocer y presentar los planes del Estado para abastecimiento de agua potable en zonas con déficit, y planes de abastecimiento de agua para riego para las zonas declaradas con emergencia agrícola. Analizar la suficiencia de dichos planes.
- d) Realizar un estudio técnico, a nivel de ingeniería conceptual, para proponer soluciones alternativas a las actualmente concebidas, combinando, eventualmente, soluciones que hasta ahora se han manejado en forma separada.

1.4 Hipótesis del Trabajo.

Las obras hidráulicas de embalsamiento son infraestructuras de almacenamiento de aguas que permiten que el recurso sea aprovechado de manera óptima, y que han dado solución a múltiples necesidades de la sociedad como: la generación de energía eléctrica, control de crecidas y acumulación de agua para la agricultura.

Por otro lado, en los últimos años el país ha tenido que enfrentar un déficit considerable del recurso hídrico donde algunas comunidades se han visto afectadas, sin disponer de este bien en cantidad suficiente para el consumo propio ni para el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas de subsistencia. Es por esto que encontrar una fuente de abastecimiento permanente de agua es primordial, que permita administrar y distribuir el agua durante todo el año, atendiendo las necesidades básicas asociadas a este elemento vital para el ser humano.

Por lo tanto, considerando el contexto global y nacional de cambio climático, relacionado con la infraestructura hidráulica disponible, administración del recurso hídrico, demanda social, entre otros; se reconoce la implementación de embalses como solución real a la problemática de la escasez hídrica a la que se ha visto enfrentada la zona norte del país estos últimos años. Entendiendo que la factibilidad de los proyectos, desde un punto de vista hídrico, contempla que la oferta del recurso es capaz de colmar la capacidad útil de los embalses, y desde un punto de vista social y ambiental, que son más los beneficios que deja la construcción de esta obra que perjuicios.

Hasta ahora, desde el punto de vista de políticas públicas, los embalses han sido la solución propuesta por el estado, como también los sistemas APR, y poco se ha avanzado en usar el agua de mar, desalinizada como fuente de abastecimiento permanente y segura.

El presente trabajo pretende investigar la situación hídrica en diversas zonas vulnerables del norte de Chile, determinar su situación en relación a la disponibilidad y demanda de agua para fines de agua potable y riego a nivel local, predial, no industrial; para la subsistencia de las personas y familias; y proponer soluciones técnicas a nivel de ingeniería conceptual, para satisfacer dichas necesidades, soluciones basadas en la determinación de las fuentes de agua y las formas de utilizarlas y/o almacenarlas para el fin señalado.

2 Metodología y Alcances.

Con la finalidad de precisar el sentido del estudio y delimitar los efectos que se esperan lograr, es importante procurar un ordenamiento a las acciones que se llevan a cabo. Por ello a continuación se exponen los alcances y la metodología del trabajo.

En lo principal, los aspectos que se desarrollarán corresponden a:

- a) Identificación de zonas de emergencia agrícola y/o escasez hídrica.
- b) Definición de criterios de selección de comunas, comunidades a analizar y estudiar.
- c) Selección de comunas o comunidades y su caracterización.
- d) Disponibilidad de agua en las comunas seleccionadas y demandas de agua.
- e) Infraestructura disponible en las comunas seleccionadas.
- f) Políticas públicas y planes del Estado para esas comunas.
- g) Embalses, proyectos en desarrollo. Análisis crítico.
- h) La opinión y experiencia de las personas acerca de las obras de abastecimiento.
- i) Propuesta de soluciones técnicas para las comunas seleccionadas.

A continuación, se explican algunos de los alcances estipulados, indicando además la metodología de trabajo que se llevará a cabo en el transcurso del presente informe.

2.1 Zonas de Escasez Hídrica y/o Emergencia Agrícola.

En primer lugar, es primordial investigar y mapear las zonas o comunas del norte de Chile que se encuentren bajo decreto de emergencia agrícola y/o escasez hídrica, generados a partir de problemas de abastecimiento de agua potable para la comunidad, enfocando el análisis en aquellas que se encuentren en situaciones de mayor déficit de agua en comparación a otros años, o bien, que presenten condiciones de abastecimiento muy desfavorables, como es el caso de aquellas zonas rurales que no cuentan con una distribución de agua potable por redes, por lo que tienen que adquirir el recurso de diversas otras maneras, por ejemplo, mediante camiones aljibes.

Cabe señalar que el alcance temporal de esta investigación esta circunscrito a los últimos seis años. Es decir, se investigan los decretos de emergencia agrícola y/o escasez hídrica emitidos entre los años 2015 y 2020. Esto con el objetivo de analizar los escenarios de escasez más actuales.

Además, para seleccionar las comunas estudiadas se definen criterios de selección, los que surgieron sobre la base de la información disponible y se presentarán oportunamente en las siguientes secciones del presente informe.

2.2 Caracterización de Comunas con Escasez.

Una vez definidas las comunas, es interesante presentar las condiciones hidrológicas y meteorológicas que se desarrollan en el lugar, para lo cual se hace necesario contar con algunos datos hidro-climáticos como la temperatura, caudales de esteros y ríos principales, y precipitación. Data que es registrada por el monitoreo de la Dirección General de Aguas (DGA) y el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)².

Con la información recopilada se pretende contrastar la cantidad de agua disponible en forma natural, con la disponibilidad de agua que existe para el consumo humano y para el riego no industrializado en las zonas seleccionadas del norte del país. Por lo cual, se busca complementar la investigación hidrometeorológica con el estudio de la infraestructura hídrica disponible, es decir, indagar acerca de las obras hidráulicas construidas, tanto para riego como para abastecimiento de agua potable, tales como embalses, pozos, sistemas de aguas lluvias, entre otros.

2.3 Políticas Públicas y Planes del Estado.

Por otra parte, el Estado ha presentado diferentes estudios y planes para abordar la escasez hídrica del país. Entre ellos se encuentra el Balance Hídrico Nacional , desarrollado por la DGA el año 2017; el informe “Agricultura Chilena Reflexiones y Desafíos al 2030”, emitido por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) el año 2017; el informe de Plan Nacional de Embalses emitido por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) el año 2018; el informe de “Análisis de la Situación Hídrica en Chile, propuestas y políticas” presentado por el Ministerio del Interior el año 2014, donde se establecen las medidas que se tomarán a corto, mediano y largo plazo, entre las que está la declaración de comunas bajo emergencia agrícola por parte del MINAGRI, y declaración de zonas de escasez hídrica por parte del MOP, y la elaboración de planes de emergencia por escasez hídrica a nivel regional, entre otras medidas.

En su mayoría los planes y políticas públicas tienen el objetivo de entregar soluciones alternativas para las zonas con déficit de agua potable, y también para el abastecimiento de agua para riego, en las zonas declaradas con emergencia agrícola. Es por ello que, como segunda parte de este informe, se analizará la suficiencia de dichos planes, poniendo el foco de la investigación en la documentación donde se considera la construcción y mejoramiento de obras hidráulicas.

En este contexto, se analizará críticamente el Plan de Nacional de Embalses, cuya primera etapa fue emitida el año 2014 por la DOH durante el gobierno de la presidenta Michelle Bachelet, donde consideraba la construcción de 20 de obras de embalsamiento ente los años 2015 y 2025. Ya para el año 2019, se presenta la ampliación del plan de construcción de embalses, aumentando el número de obras a 26.

Entonces, se requiere indagar la etapa en la que se encuentran el plan de construcción propuesto en las comunas que resulten ser seleccionadas en el desarrollo de esta investigación, junto con revisar el estado actual de los embalses para riego construidos por la DOH, investigar cuales han sido las fortalezas y debilidades de la puesta en marcha de dicho plan, y si las obras son suficientes para enfrentar la sequía a largo plazo en las comunas o zonas en donde fueron emplazados.

2.4 Análisis Proyectos de Embalse en Desarrollo.

En la cuarta etapa de esta investigación, se presentan 4 de las 26 obras de embalses propuestas por la DOH, elegidas según el avance de la obra y por la ubicación de la misma. Se escogen aquellas obras que se sitúen en las zonas que presentan un mayor déficit del recurso.

Chile tiene una historia de construcción e instalación de embalses, tanto para fines de riego como de generación hidroeléctrica; los que generaron impactos que no fueron bien recibidos por la sociedad, en general. Existe, por tanto, un cierto rechazo a este tipo de obras; el que se mantendrá, razonablemente, hasta que cambie la modalidad de ejecutarlos, haciéndolos de manera más sustentable, amigable con el medio ambiente y con buen relacionamiento con las comunidades afectadas.

2.5 Opinión Pública Acerca de Proyectos de Embalsamiento.

Luego, como quinta etapa de la investigación, se estima necesario conocer la realidad del abastecimiento de agua potable en zonas rurales, y la opinión de las personas acerca de la implementación de las obras de embalsamiento, por lo que es preciso contactar a representantes de las comunidades para conocer su opinión con respecto a la construcción de estas obras, y sobre los sistemas de APR. Por ejemplo, es interesante saber si consideran que traen más beneficios a la comunidad que los efectos negativos, o consideran que otras medidas podrían resolver el problema del agua de una manera más amigable como la implementación de más APRs, o aplicar nuevas tecnologías.

2.6 Propuestas de Soluciones Técnicas.

Finalmente, teniendo gran parte de las aristas que influyen en esta problemática se realiza un estudio técnico, a nivel de ingeniería conceptual, para proponer soluciones alternativas a las actualmente concebidas, combinando, eventualmente, soluciones que hasta ahora se han manejado en forma separada. Es preciso mencionar que las soluciones halladas serán propuestas para algunos casos específicos que cumplan con la condición de pertenecer a las comunidades rurales elegidas durante el transcurso del trabajo. No obstante, la línea de trabajo que adopta el presente estudio busca aportar al debate de las políticas públicas para mejorar las condiciones hídricas de las comunidades a nivel nacional, ya que la problemática genera retrocesos en el desarrollo rural de los que carecen del agua a lo largo del país, y de no ser abordada de forma inmediata las soluciones proyectadas a mediano y largo plazo podrían ser insuficientes en un futuro.

De esta manera, las soluciones propuestas tenderán a resolver el problema del agua, sobre la base del uso del recurso que esté disponible o generando fuentes de abastecimiento a través de plantas desaladoras con las correspondientes instalaciones para su traslado y acopio, o mejoras en el plan de APRs. Asimismo, se estima que las soluciones para el problema planteado, mediante sistemas de acumulación relativamente pequeños, suficientes para abastecimiento de agua potable y riego a nivel familiar o de hogar, pueden ser bienvenidos por las personas, las comunidades y la sociedad en general.

3 Marco Teórico.

Con la finalidad de esclarecer y mostrar el sistema con el que se pretende abordar este estudio, en el presente capítulo se detallan los elementos teóricos y conceptos que permiten ubicar los fundamentos de este informe dentro de las teorías ya existentes.

En lo principal, los conceptos que permitirán abordar y sustentar el problema de mejor manera, corresponden a:

- a) Contexto del desarrollo de asentamientos rurales en Chile.
- b) Origen del agua potable en zonas rurales.
- c) Caracterización de asentamientos en zonas rurales; localidades concentradas, semi concentradas, y dispersas.
- d) Disponibilidad de agua en las zonas rurales.
- e) Políticas públicas y planes del Estado para esos sectores del país.
- f) Decretos de escasez hídrica a lo largo del país.
- g) Zonas de emergencia agrícola.
- h) Plan de grandes embalses.
- i) Caracterización de obras de presa y sus embalses asociados.
- j) Que se entiende por estrés hídrico a nivel nacional e internacional.
- k) Definición de cambio climático y sequía, identificando sus efectos a nivel nacional.
- l) Definición de estrés y escasez hídrica, señalando el estado en que se encuentran las regiones a lo largo del país.
- m) Dotación de agua mínima.

Estos diversos aspectos serán tratados en los subcapítulos siguientes.

3.1 Abastecimiento de Agua Potable en Sectores Rurales.

La constante situación de escasez hídrica a la que se ha tenido que enfrentar gran parte del territorio nacional, ha inspirado el estudio y análisis de este fenómeno en muchos sectores, tanto empresariales como académicos, estatales y fundaciones. Dentro de este último grupo de entidades, se encuentra la Fundación Amulén que junto al Centro de Cambio Climático Global y el Centro de Derecho y Gestión de Agua de la Universidad Católica, inspirados por la falta de acceso al agua potable, realizan el estudio “Radiografía del agua rural en Chile: visualización de un problema oculto” publicado el año 2018, cuyo objetivo es diagnosticar la situación actual de cobertura de agua potable en los sectores rurales del país.

El informe asegura que existen cerca de un millón de personas afectadas por la escasez de agua que enfrenta el país, y que alrededor de 383.200 hogares del sector rural no cuentan con la infraestructura básica que les provea del recurso de forma potable y continua, cifra que corresponde al 47,2% del sector, es decir, cerca de la mitad de las viviendas emplazadas en zonas rurales carecen de agua potable. (Fundación Amulen , 2018)

Asimismo, de acuerdo con el Censo realizado el año 2017, el 12,2% de la población total en Chile reside en zonas rurales, lo cual se traduce en un total de 962.894 viviendas particulares ubicadas en localidades rurales, donde 324.276 no tiene acceso al agua potable mediante red pública.

Conforme a las entrevistas realizadas en el Censo, el 98,8% de los casos en zonas urbanas declaró pertenecer a la red pública como la fuente del acceso al agua potable, mientras que en áreas rurales este porcentaje bajó considerablemente a 52,8%. Otras fuentes de agua potable declaradas fueron; pozo o noria, con 27,7%; río, vertiente, estero, canal, lago, con un 12,2%; y camión aljibe, con 7,2% del total de viviendas. (ver Figura 3.1).

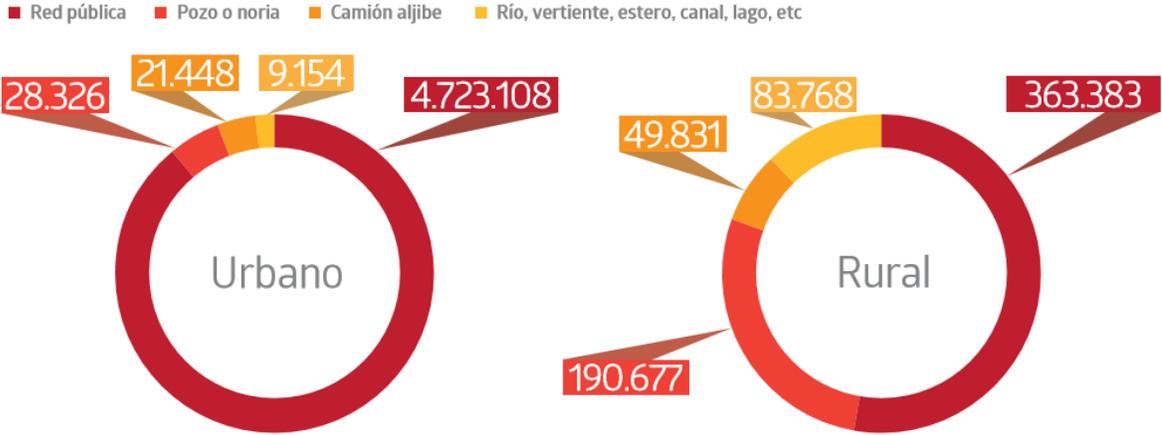


Figura 3.1: Número de viviendas particulares ocupadas, según origen del agua, por sectores. (Instituto Nacional de Estadísticas, Junio, 2018)

Para abordar de forma precisa la problemática del abastecimiento de agua de las zonas rurales es imprescindible definir la población objetivo-afectada. Para esto se recopila la información demográfica disponible en el sitio web del Banco Mundial (Banco Mundial, 2019), el informe del Censo del año 2017, y algunos datos definidos en el informe de la Fundación Amulen. Es importante mencionar que no todas las instituciones cuentan con la misma información, por lo que algunos datos son calculados a partir de los estadísticos del Censo del 2017, informe que cuenta con la información más completa.

En el informe del Censo estiman que a nivel general en el país habitan 3,1 personas por hogar, sin embargo, de acuerdo con las cifras de número de habitantes en zonas rurales, junto con el número de viviendas en el mismo sector, se considera que para las zonas rurales la densidad por vivienda cambia y el número de personas baja a 2,23 por hogar. Este último dato se utiliza para calcular el número de habitantes sin acceso a la red con los datos del Banco Mundial y del informe de la fundación Amulen. De igual manera, el porcentaje de población sin acceso a la red es de un 47,2%, cantidad determinada por el informe del Censo y empleada por la fundación del agua, por lo que esta cifra también será utilizada para los datos estadísticos del Banco Mundial. La Tabla I muestra los estadísticos y el número de habitantes sin acceso a la red de agua potable en Chile.

Tabla 3.1: Estimación de número de habitantes sin acceso a la red de agua potable en zonas rurales de Chile.

Población sin acceso a Red de Agua Potable			
	Banco Mundial 2018	Censo 2017	Fundación Amulen 2018
Nº total de habitantes	18.729.160	17.574.003	-
% de habitantes población rural	12%	12,2%	-
Nº habitantes zona rural	2.247.500 [3]	2.149.469	-
Nº viviendas zona rural	1.007.848 [4]	962.894	-
% sin acceso a red	47,2% [1]	47,2%	47,2% [2]
Nº viviendas sin acceso a red	475.704	324.276	383.200
Nº de habitantes sin acceso a red	1.060.820	1.011.981	854.536

[1] Para fines de comparación, el dato se desprende del informe del Censo 2017.

[2] En el informe de Amulen incorporan este valor del Censo, validando su utilidad.

[3] Para efectos comparativos se calcula la cantidad de habitantes en la zona rural con los datos “Nº total de habitantes” y “% de habitantes población rural”.

[4] Se obtiene la cantidad de viviendas considerando que habitan 2,23 personas por vivienda.

Finalmente, las cifras que serán consideradas para efectos de este informe son las calculadas con los estadísticos del Banco Mundial, puesto que son datos más recientes sobre la población del país, y por lo mismo las cifras de los habitantes sin acceso a la red alcanzan una cifra de mayor magnitud.

3.2 Caracterización Zonas Rurales.

En este contexto, es importante abordar algunos conceptos demográficos básicos. Según el Censo del año 2017, una unidad o concentración rural es caracterizada como un “asentamiento humano concentrado o disperso que posee 1.000 o menos habitantes, o entre 1.001 o 2.000 habitantes” respectivamente, donde la economía y el trabajo de la comunidad se centra en el desarrollo de actividades primarias, como lo es la agricultura y la ganadería. (Instituto Nacional de Estadísticas , 2018)

Asimismo, el Programa de Infraestructura Hidráulica de Agua Potable Rural (Ministerio de Obras Públicas: Dirección de Obras Hidráulicas , Agosto, 2015), establece como criterio de diferenciación entre una población y otra, según cuan cerca viven unos de otro. De esta manera el sector rural se divide en tres categorías: por un lado, se encuentran las localidades concentradas, las que poseen una cantidad entre 150 y 3000 habitantes, y una densidad mínima de 15 viviendas/km de red de agua potable; luego están las localidades semi - concentradas, las que se constituyen por un mínimo de 80 habitantes, con una densidad de a lo menos 8 viviendas/km de futura red. Por último, están las localidades dispersas, que son identificadas como aquellos sectores con una densidad poblacional aproximada de 2 habitantes/vivienda, y donde no hay más de 80 pobladores en toda la localidad habitando en viviendas que se encuentran muy distantes la una de a otra.

Tabla 3.2: Definición de población rural, en base al tamaño de los asentamientos humanos.

Población Rural	
Asentamiento humano	Nº de habitantes por asentamiento
Concentrado	1000 o menos
Disperso	Entre 1001 y 2000

Fuente: Censo 2017.

Tabla 3.3: Caracterización de población rural según el programa de APRs 2015.

Caracterización Población Rural		
Asentamiento humano	Nº de habitantes por asentamiento	Densidad (Nº viviendas / km red de agua potable)
Concentrado	Entre 150 y 3000	15
Semi concentrado	80 o más	8
Disperso	80 o menos	-

Fuente: programa de APRs 2015.

De acuerdo con el Censo, la zona rural se distribuye en tres categorías, donde la población concentrada ocupa la mayor proporción, seguido de la población rural dispersa, mientras que una menor cantidad de habitantes reside en asentamientos semi concentrados (Instituto Nacional de Estadísticas, 2018). En la Tabla 3.4 se muestra el detalle.

Tabla 3.4: Distribución porcentual de la población rural en Chile.

Población Rural		
Asentamiento humano	Nº de habitantes	Fracción del total
Población rural Total	2.256.994	
Concentrado	1.141.100	50,5%
Semi concentrado	256.705	11,4%
Disperso	859.190	38,1%

Fuente: Censo 2017.

En el estudio elaborado por la Fundación del Agua, logran identificar que dentro de los sectores anteriormente clasificados, las comunidades dispersas son las más afectadas por la falta de infraestructura que da acceso al agua potable en sus viviendas, lo cual coincide con lo expuesto en el Programa de Agua Potable Rural del MOP, donde determinan que el abastecimiento de agua en las localidades concentradas está resuelto en más de un 99% a nivel nacional, mientras que para las localidades semi - concentradas, se asegura que solo el 41% cuenta con el servicio, y que la población dispersa, que equivale a un tercio del mundo rural, no cuenta con el recurso.

3.3 Programas y Medidas del Estado de Chile.

Por otra parte, las instituciones del Estado en su afán por combatir la escasez de agua han impulsado diversos programas. Entre las acciones a corto plazo, se encuentra la declaración de comunas bajo emergencia agrícola por parte del Ministerio de Agricultura (MINAGRI), y la declaración de zonas de escasez hídrica por parte del Ministerio de Obras Públicas (MOP), (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, mayo 2014).

En concreto, la emergencia agrícola es una medida que pretende ayudar a zonas afectadas por fenómenos climáticos o catástrofes naturales (sequías, inundaciones, heladas, erupciones volcánicas, invierno altiplánico y nevazones), que dañan las actividades productivas como la agricultura, la ganadería y la forestación, lo que perjudica el desarrollo económico de las zonas rurales del país, es decir, a pequeños y medianos productores. Específicamente, el decreto de zona de emergencia agrícola permite a los servicios estatales como el INDAP y el SAG, disponer de fondos para apoyar las faenas de los pobladores, entregando fardos y alimentos necesarios para la crianza de sus animales (CNN Chile, 2019).

De igual manera, los decretos de escasez hídrica se dictan bajo la premisa de sequía en zonas específicas del territorio nacional. La medida tiene como objetivo proveer determinadas herramientas a usuarios del agua y a la población en general, para reducir al mínimo los daños derivados de la falta del recurso. Tienen una duración de seis meses y permiten disponer de recursos fiscales para contratar camiones aljibe, o bien, gestionar la extracción de los recursos hídricos, y de esta manera auxiliar a los vecinos más afectados (Dirección General de Aguas , 2020). A la fecha se encuentran vigentes 17 decretos de escasez hídrica para el año 2020, la Tabla III que se presenta a continuación muestra el detalle las regiones bajo decreto este último periodo. (Dirección General de Aguas , 2020)

Cabe mencionar que los decretos de escasez hídrica han sido emitidos por la DGA desde el año 2008 hasta el presente año 2020. Esta data será utilizada más adelante en el informe con la finalidad de realizar un análisis de frecuencia, y de esta manera identificar la frecuencia con que las comunas se han decretado bajo escasez hídrica.

Tabla 3.5: Decretos de escasez hídrica año 2020 (datos actualizados en abril del 2020).

Decreto	Fecha Decreto	Fecha de Caducidad	Región	Provincia	Comuna	N° Comunas Bajo Decreto	Area Km2	Población Rural
N° 107	16/09/2019	16/03/2020	Valparaíso	Marga Marga	Quilpué, Limache, Olmúe, Villa Alemana	4	1,158	15,524
N° 114	01/10/2019	01/04/2020	Metropolitana	Maipo	Paine	1	676	26,006
N° 116	03/10/2019	03/04/2020	Libertador General Bernardo O'Higgins	Cahapual	Ranchagua, Codegua, Coinco, Coltauco, Doñihue, Graneros, Las	17	7,502	130,250
				Cardenal Caro	Pichilemo, La Estrella, Litueche, Marchihue, Navidad, Paredones	6	3,292	23,299
				Colchagua	San Fernando, Chépica, Chimbarongo, Lolol, Nancagua, Palmilla, Peralillo, Placilla, Pumanque, Santa Cruz	10	5,552	80,643
N° 124	17/10/2019	14/04/2020	Metropolitana	Santiago	Las Condes, Lo Barnechea, Vitacura	3	1,152	2,699
N° 156	31/12/2019	30/06/2020	Coquimbo	Elqui	Andacollo, Coquimbo, La Higuera, La Serena, Paihuano, Vicuña	6	17,133	52,853
				Limarí	Combarbalá, Monte Patria, Ovalle, Punitaqui, Río Hurtado	5	13,363	55,856
				Choapa	Canela, Illapel, Los Vilos, Salamanca	4	10,138	33,761
N° 157	31/12/2019	30/06/2020	Metropolitana	Melipilla	Curacaví, María Pinto, Melipilla	3	2,431	58,045
N° 9	04/02/2020	04/08/2020	Metropolitana	Chacabuco	Colina	1	970	28,189
N° 10	04/02/2020	04/08/2020	Metropolitana	Chacabuco	Titil	1	653	6,242
N° 11	04/02/2020	04/08/2020	Valparaíso	Petorca	Petorca, La Ligua, Cabildo, Papudo, Zapallar	5	4,596	25,587
N° 14	21/02/2020	21/08/2020	Valparaíso	Valparaíso	Casablanca, Concon, Juna Fernandez, Puchuncaví, Quintero, Valparaíso, Viña del Mar	7	2,015	20,997
				San Antonio	Algarrobo, Crtagena, El Quisco, El tabo, San Antonio, Santo Domingo	6	1,518	16,034
N° 15	21/02/2020	21/08/2020	Metropolitana	Talagante	Padre Hurtado, Peñaflores, Talagante, El Monte	4	393	35,565
N° 17	27/02/2020	27/08/2020	Metropolitana	Melipilla	San Pedro, Alhué	2	1,637	13,386
N° 18	03/03/2020	03/09/2020	Valparaíso	San Felipe de Aconcagua	Putendo, Santa María, Catemu, Panquehue, San Felipe, Llaylay	6	2,638	38,988
N° 19	03/03/2020	03/09/2020	Valparaíso	Quillota	Hijuelas, La Calera, La Cruz, Nogales, Quillota	5	1,114	26,312
N° 20	03/03/2020	03/09/2020	Valparaíso	Los Andes	San Esteban, Los Andes, Rinconada, Calle Larga	4	3,075	19,457
N° 33	09/03/2020	09/09/2020	Maule	Curicó	Curicó, Romeral, Hualañe, Licantén, Rauco, Sagrada Familia, Teno, Vichuquén, Molina	9	7,290	77,617
				Talca	San Clemente, Constitución, Talca, Pelarco, San Rafael, Pencahue, Maule, Río Claro, Curepto, Empedrado	10	9,929	82,277
				Linares	Retiro, Linares, Longaví, Yervas Buenas, Colbún, Parral, San Javier, Villa Alegre	8	10,082	104,101
				Cauquenes	Pellufo, Chanco, Cauquenes	3	3,023	15,824
N° 34	11/03/2020	11/09/2020	Metropolitana	Cordillera	San José de Maipo, Puente Alto, Pirque	3	5,515	21,844
				Maipo	San Bernardo, Buin	2	373	18,768
				Talagante	Isla de Maipo	1	187	9,278
Total						136	117,405	1,039,402
						39,3%	15,5%	5,9%

Fuente: (Dirección General de Aguas , 2020)

En cuando a las acciones a mediano plazo, el gobierno ha impulsado numerosos planes de inversión en el sector rural, donde el objetivo ha sido abastecer a la población sin acceso al agua y apoyar el desarrollo agrícola de las zonas más afectadas por el déficit de agua. Entre las medidas abordadas, se encuentra el plan de construcción de 26 embalses, el cual considera la construcción de las obras, luego de superar las etapas de estudio de ingeniería, factibilidad, diseño, licitación y evaluación de impacto ambiental particular para cada proyecto, además, del debido proceso de participación ciudadana, hasta su construcción y posterior puesta en operación.

Considerando el sistema completo de las futuras obras, en el informe del Plan Nacional de Embalses señalan que el volumen almacenado podría llegar a los 2.680 hectómetros cúbicos, cifra que tendrían un impacto en 404.318 hectáreas de riego, distribuidas en 37.620 predios. (Ministerio de Agricultura, 2020)

Sin perjuicio de lo anterior, que representa los esfuerzos del Estado por resolver los problemas de abastecimiento de agua; no se encontraron estudios o análisis que vinculen esos esfuerzos, es decir, el desarrollo de planes del Estado, con los resultados obtenidos. Nos referimos a sistemas de Control y Seguimiento de las políticas públicas, a la aplicación de Herramientas de Control, por arte del mismo Estado que es quien realiza las inversiones, tendientes a auto controlarse y a la verificación o medición de sus inversiones.

3.4 Obras de Embalsamiento de Agua.

Según la Comisión Internacional de Grandes Represas (Área Evaluación Recursos Hídricos, 2000), una gran presa tiene una altura mínima entre 10 y 15 metros desde los cimientos, con una capacidad de embalsamiento de más de 3 millones de m³. Utilizando esta definición, según el informe de la comisión existen más de 45.000 grandes represas en el mundo al año 2000. Actualmente en Chile se han construido cerca de 100 embalses, donde 80 de estas obras corresponden a construcciones de presas de suelo y enrocado, y otras 12 son construidas con material de hormigón, esto conforme al registro de presas del Comité Nacional Chileno de Grandes Represas, (Comité Nacional Chileno de Grandes Represas, 2020).

De la totalidad de las obras de embalsamiento, 26 se encuentran operativas y son monitoreadas por la Dirección General de Aguas (DGA). En conjunto estas obras cuentan con una capacidad de embalsamiento de 12.961,7 hectómetro cubico (hm³), considerando como foco principal la regulación del recurso, reserva para riego y/o generación hidroeléctrica. (Dirección General de Aguas, 2019)

A su vez, la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura , 2020), señala que las presas y sus embalses asociados tienen como finalidad mantener una reserva de agua importante, lo cual permite contar con el recurso en épocas de déficit debido a condiciones climáticas u otros fenómenos naturales imprevistos. Por lo que la organización asegura que infraestructuras como estas incrementan los recursos hídricos renovables aprovechables, lo que es particularmente significativo en países en los que el agua disponible durante temporadas secas varía considerablemente respecto a la cantidad de agua precipitada durante temporadas húmedas (o de lluvias).

Junto con esto, las obras de embalsamiento proporcionan múltiples servicios, incluyendo el almacenamiento de agua, la regulación de caudales, generación de energía eléctrica, la protección contra inundaciones, la navegación y turismo, entre otras actividades.

Sin perjuicio de lo anterior, hasta ahora en Chile, no se tiene conocimiento que los embalses desarrollados por la DOH tengan también como destino de sus aguas el uso para el consumo humano.

3.5 Cambio Climático y Sequía.

Otra arista importante que será abordada en este estudio es la disponibilidad de agua natural con la que cuenta el territorio nacional. Para ello es relevante introducir algunos conceptos que se han viralizado este último tiempo, uno de ellos el cambio climático. En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) realizada el año 1992 en la ciudad de Nueva York, se define el "cambio climático" como, "Un cambio de clima que se atribuye directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad climática natural observada en períodos de tiempo comparables".

En suma, esta definición refiere cierta responsabilidad a las actividades humanas que altera la composición atmosférica, lo que ocasiona variaciones estadísticamente significativas en el estado medio del clima, lo cual puede ocasionar periodos donde disminuyan las precipitaciones, o bien aumenten, fenómeno que ocurre de manera similar con las temperaturas registradas.

El estudio de Balance Hídrico Nacional (Dirección General de Aguas , 2017), tiene por finalidad evidenciar la variabilidad climática y los efectos que se generan a nivel país. Ejemplo de ello es la variación cuantificada de la precipitación que se presenta en el informe. La imagen a continuación contrasta el flujo de precipitación entre los periodos del balance hídrico DGA 1987 en el periodo 1980-1985, y el periodo del balance actual 1985-2015. Las cuencas piloto estudiadas son; río Loa, río Choapa, río Maipo, río Imperial, río Aysén.

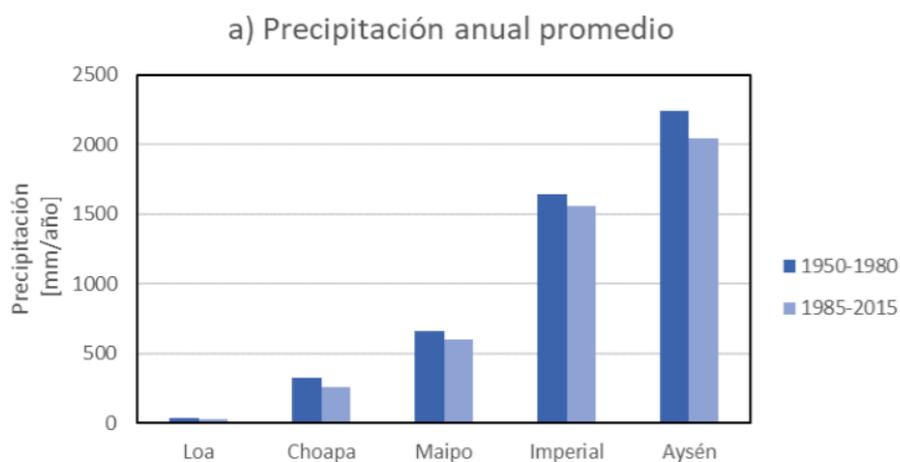


Figura 3.2: Comparación para todas las cuencas piloto del flujo de precipitación entre los periodos del balance hídrico DGA 1987 y el balance actual 1985-2015. Fuente: (Dirección General de Aguas , 2017)

Esta evidencia permite introducir otro término que se hace trascendental en este contexto: el de sequía, el cual se refiere a un fenómeno climático que se caracteriza por afectar ciertos territorios con precipitaciones inferiores a las acostumbradas en el área, por un periodo extenso de tiempo. Por lo tanto, se advierte que una zona está pasando por un periodo de sequía observando un déficit en los valores de la precipitación con respecto al registro histórico principalmente (sequía meteorológica). No obstante, el comportamiento del caudal de los ríos y las condiciones hidrológicas asociadas, también varían, lo que muchas veces deriva en una insuficiencia de los recursos hídricos necesarios para mantener el abastecimiento de la demanda actual de agua (sequía hidrológica). (Center for Climate and Resilience Research (cr2), 2020)

Las condiciones climáticas que han afectado al territorio nacional entre la región de Coquimbo y la región de Los Lagos, cumplen con las características de una sequía meteorológica, donde se ha observado una disminución en las precipitaciones persistente desde el año 2009, cumpliendo una década en el año 2019. Dada su temporalidad y la extensión del territorio afectado es que a este fenómeno se le ha denominado como “megasequía” (Garreaud et al., 2017; Garreaud et al., 2019).

Además, dado el contexto geográfico de Chile, las condiciones atmosféricas que conciernen a cada región son muy variables entre una y otra, por lo que se ha reconocido el término de sequía relativa, el cual hace referencia a que cada región del país cuenta con menos agua de la que usualmente se tiene, pero esta diferencia varía considerablemente entre una zona y otra. El balance hidrológico realizado muestra que para el caso de las cuencas de la zona centro y zona sur, la disminución de la precipitación para el periodo 1985-2015 oscila entre un 5 a 9 %, mientras que para las cuencas de la zona norte la variación aumenta entre un 20 a 35 %, esto con respecto al balance hídrico realizado el año 1987. (Dirección General de Aguas , 2017)

3.6 Estrés Hídrico.

Si a la baja en las precipitaciones le sumamos otros factores, como el aumento de la temperatura media anual del país, la falta de precipitación sólida (nieve), o el derretimiento permanente de los glaciares, nos encontramos con una disminución preocupante de la disponibilidad hídrica en el territorio nacional. Condición que puede gatillar una falta significativa de fuentes para obtener agua dulce durante un periodo extenso de tiempo, lo cual puede culminar en un mayor deterioro y agotamiento de los recursos hídricos disponibles.

Esta es una de las situaciones que más preocupa a nivel mundial, es por esto que muchas instituciones se han dado la tarea de conocer e interpretar las condiciones hidrológicas que afectan a cada país del mundo. Por su parte, las Naciones Unidas, define el Índice de Estrés Hídrico como la diferencia entre el uso de agua total y la disponibilidad de agua dulce en una determinada región. Por lo que, en la medida en que la oferta y la demanda se acercan, es más probable que se produzca el estrés, tanto en la naturaleza (ecosistemas) como en los sistemas humanos.

De acuerdo con las cifras otorgadas por el Banco Mundial, hacia el año 2015 Chile presenta una escorrentía media total (volumen de agua) procedente de las precipitaciones equivalente a 49.824 m³ /persona/año, valor bastante más alto que la media mundial que tiene un valor promedio de 5.925 m³ /persona/año, y la media de América Latina y el Caribe que presenta un valor de 22.162

m³ /persona/año. Sin embargo, tal como se presenta en la sección anterior existen diferencias considerables a lo largo del país debido a la geografía de territorio, prevaleciendo condiciones de escasez desde la Región Metropolitana hacia el norte, donde la escorrentía per cápita promedio está por debajo de los 500 m³ /persona/año, contrastando con las condiciones presentes desde la Región de O'Higgins hacia el sur, donde este valor supera los 7.000 m³ /persona/año, llegando a 2.950.168 m³ /persona/año en la Región de Aysén. (Ministerio del Medio Ambiente, 2016)

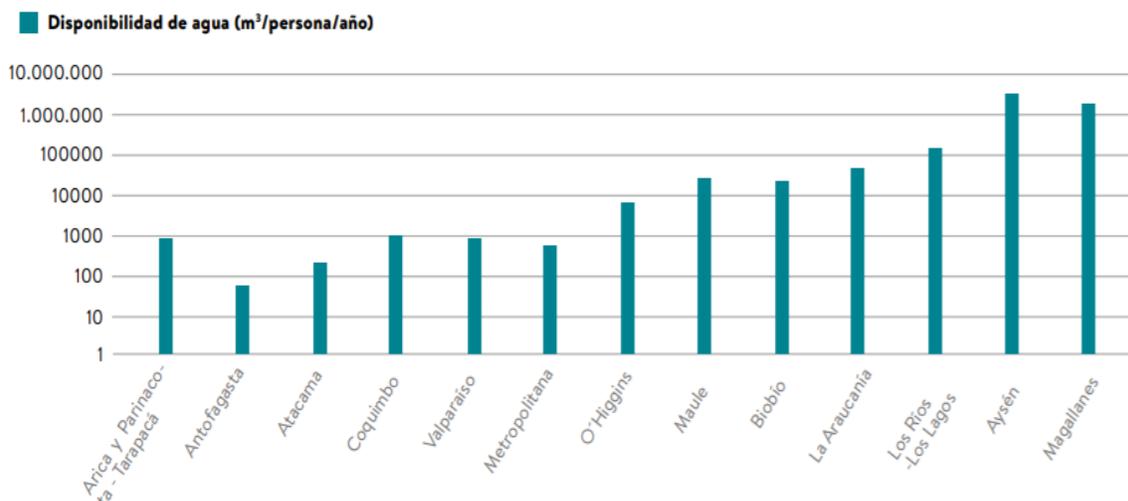


Figura 3.3: Disponibilidad de agua por habitante en las regiones de Chile. “Estado del Medio Ambiente”, 2016 MMA.

Asimismo, según el reporte emitido el año 2019 por el Instituto de Recursos Mundiales, Chile se encuentra dentro de los 30 países con mayor estrés hídrico a nivel mundial. El indicador define el estrés hídrico como la relación entre los usos y extracciones totales de agua, versus el suministro renovable total en una zona determinada, relación que es expresada como porcentaje sobre el total anual de agua dulce disponible.

El listado es encabezado por 17 países que se encuentran en un peligro “extremadamente alto” y justo después de ellos, en el puesto número 18, se encuentra Chile, en la categoría de “alto riesgo”, con un estrés hídrico entre un 40 y un 80% de acuerdo con la definición del indicador.

Además, la líder en sustentabilidad de Escenarios Hídricos 2030 y subgerente de sustentabilidad de Fundación Chile, asegura que la proyección para el país es alcanzar un estrés hídrico “extremadamente alto” para el año 2040, por lo que “será una de las naciones con mayor probabilidad de enfrentar una disminución en el suministro de agua, debido a los efectos combinados del alza de las temperaturas en regiones críticas y los cambios en los patrones de precipitación”, afirma Ulrike Broschek.

Por otra parte, una de las herramientas más utilizadas desde el año 1989 para caracterizar el estrés hídrico, es el Indicador de Falkenmark, el que establece que una disponibilidad hídrica per cápita por debajo de los 1.700 m³/hab/año se considera como situación de estrés hídrico, luego si los suministros anuales van por debajo de los 1.000 m³/hab/año entonces la población se enfrenta a una escasez de agua, y por debajo de los 500 m³/hab/año se denomina como situación de escasez

absoluta, donde la disponibilidad de agua no satisface la exigencia de todos los usuarios a nivel industrial, agrícola y doméstico, poniendo en riesgo la dotación de agua para diversa actividades, como el riego o el abastecimiento de agua potable a nivel de todo el país. (Fundación Amulen , 2018)

De acuerdo con el estudio realizado por el profesor James McPhee el año 2012, gran parte de Chile se encuentra por debajo de los 1.000 m³/hab/año de agua per cápita, comprometiendo al territorio nacional desde el norte grande hasta la región de Valparaíso y Metropolitana, zonas con altas probabilidades de sufrir sequías.

Aunque Falkenmark es una herramienta fácil de usar y amplia para evaluar el estrés hídrico relativo a nivel de todo el país, se han planteado una serie de objeciones entre ellas que dado los umbrales que define el indicador, se omiten en importantes variaciones en la demanda entre los países debido a la cultura, el estilo de vida, clima, accesibilidad o variación estacional del recurso.

Además, Amber Brown y Marty D. Matlock del Consorcio de Sostenibilidad de la Universidad de Arkansas destacan que este índice parece que no mide el impacto de las poblaciones más pequeñas, zonas en las que se centra el presente estudio y donde se hace vital plantear acciones a corto plazo para enfrentar el estrés hídrico observado, ya que las consecuencias pueden ser aún más severas, llegando a comprometer la disponibilidad de agua para consumo humano, producción de alimentos, el desarrollo económico y la protección de los ecosistemas.

3.7 Escasez Hídrica.

Según la información recopilada de monitoreos y estudios realizados a lo largo del país, gran parte de autores y entendidos aseguran que algunas zonas de Chile se encuentran bajo condiciones de sequía y escasez hídrica. A diferencia de la sequía, que es un fenómeno meteorológico, la escasez hídrica depende de las decisiones que se tomen respecto del uso del agua (Van Loon et al., 2013; Van Loon et al., 2016).

La escasez hídrica es un término complejo porque involucra procesos hidrológicos, meteorológicos y también los usos que se le da al recurso hídrico (Zambrano-Bigiarini, 2019), el término resulta del desbalance de largo plazo entre la oferta y la demanda de agua en un sistema de suministro a escala regional, donde la demanda excede los recursos disponibles, condición que puede ser causada por la sequía o el clima árido que presenta determinado sector, o bien, por la acción humana, donde se involucran situaciones como el crecimiento significativo de la población, el mal uso de agua o acceso injusto al recurso, lo que pueden derivar en restricciones en el suministro del agua.

De acuerdo con el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)², la oferta o disponibilidad de agua para un territorio depende de múltiples factores y fenómenos climáticos, entre ellos, los aportes de lluvias, las contribuciones nivales y glaciares, el agua disponible en los acuíferos subterráneos, el agua disponible en los embalses, el agua que transpira la vegetación y de cómo cada uno de estos flujos transita a través de una cuenca.

Por su parte, la demanda se relaciona con los usos que se le da al recurso para el consumo humano, de animales, de actividades económico-productivas (agricultura, minería, industria) y de los ecosistemas naturales de una determinada cuenca. Estos elementos que constituyen la demanda son en muchos casos difíciles de estimar, puesto que no se conoce bien su comportamiento actual ni el histórico, debido a la compleja geografía de Chile. Sin embargo, las instituciones gubernamentales han reportado diversos estudios, dentro de los cuales destaca la “Actualización del Balance Hídrico Nacional” (Dirección General de Aguas , 2017) y “Escenarios Hídricos”, 2018.

Es así como la escasez de agua está siendo impulsada por dos fenómenos convergentes: el creciente uso de agua dulce y el agotamiento de los recursos de agua dulce disponibles. La siguiente imagen ilustra el comportamiento de estas dos variables, además de presentar el estado crítico de la flora y fauna a lo largo del territorio nacional.

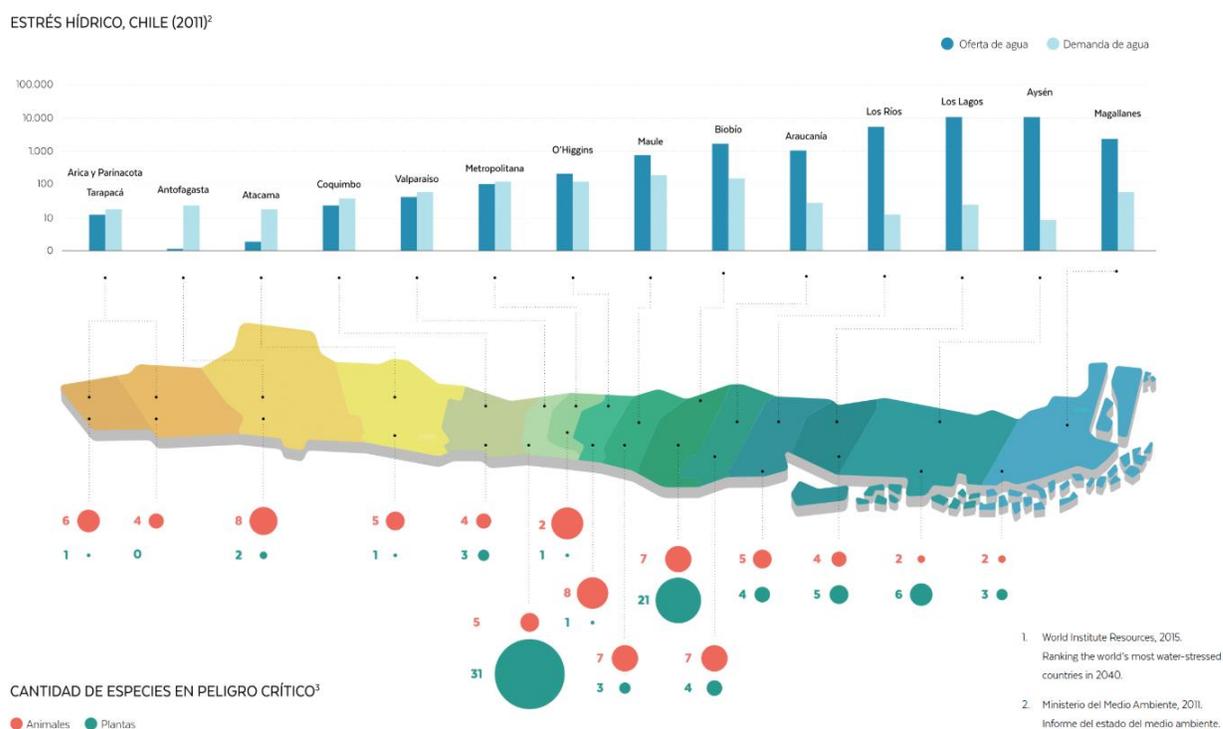


Figura 3.4: Estrés Hídrico en Chile, oferta versus demanda de agua en las regiones del país. (Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo, 2011)

A su vez la escasez de agua puede ser el resultado de dos factores: la escasez física (absoluta) de agua, que es el resultado de la insuficiencia de los recursos naturales de agua dulce para abastecer la demanda de una región, es decir, oferta versus demanda de agua, y la escasez económica de agua, factor que surge como resultado de una mala gestión de los recursos hídricos disponibles, y que de acuerdo al Informe sobre el Desarrollo del Agua 2012 emitido por las Naciones Unidas, es una de las variables más influyentes en la escasez del recurso en las últimas décadas, y a la cual se le debe dar una pronta solución.

3.8 Dotación de Agua.

Otra componente relevante para este estudio es la dotación de agua que se espera reciban las personas de manera continua y permanente durante todos los días del año.

De acuerdo con los parámetros que define la OMS con respecto al suministro de agua potable, se establece que un nivel de acceso óptimo al suministro de agua debe asegurar una dotación promedio de 100 [l/hab/día] o más, de tal manera que el servicio asegure el abastecimiento de manera continua a través de varios grifos, lo cual permite atender todas las necesidades de higiene y consumo. Con esto la organización asegura que una dotación de 100 [l/hab/día] permite alcanzar un nivel muy bajo de afectación en la salud de los habitantes de las zonas que cuenten con esta disponibilidad de agua dulce para el consumo propio.

Por su parte, la SISIS (Super Intendencia de Servicios Sanitarios, 2017) cuenta con los registros de suministro de agua potable de todas las sanitarias del país, que abastecen a las zonas urbanas, lo que permite identificar el consumo promedio anual efectivo por persona a nivel nacional y también particular de cada región. La tabla IV muestra el detalle del abastecimiento de agua potable a lo largo del país por empresa sanitaria durante un periodo de 7 años, donde se destacan las concesionarias de las regiones del norte de Chile.

Tabla 3.6: Dotación de agua potable [l/hab/día] de acuerdo con el abastecimiento de cada empresa sanitaria a lo largo de Chile.

N°	Empresa	Dotación de Agua Potable (litros por habitante al día)						
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	Aguas del Altiplano	121,8	125,5	126,9	126,9	128,4	130,5	150,9
2	Aguas de Antofagasta	124,9	126,6	129,1	131,1	130,2	126,4	150,3
3	Aguas Chañar	127,8	130,3	131,8	130,4	116,2	127,9	160,9
4	Aguas del Valle	124,6	125,7	126,7	124,9	124,5	127,7	164,7
5	ESSSI	132,0	144,8	140,5	153,2	166,6	139,7	217,6
6	ESVAL	141,0	139,2	140,5	141,1	140,2	139,8	168,9
7	COOPAGUA	545,9	527,5	475,1	457,5	444,1	442,1	489,6
8	Aguas Andinas	146,2	143,2	143,8	142,1	139,8	138,4	171,0
9	Aguas Cordillera	362,4	340,6	349,5	334,4	319,1	300,1	360,3
10	Aguas Manquehue	579,3	535,8	531,4	491,7	457,4	440,8	611,5
11	SMAPA	145,6	146,0	146,6	147,5	146,4	146,1	177,8
12	Sembcorp Aguas Chacabuco	126,9	134,4	137,5	136,4	142,7	136,0	155,1
13	Sembcorp Aguas Lampa	146,2	153,5	162,7	155,3	156,1	157,1	171,1
14	Sembcorp Aguas Santiago		354,2	353,0	341,0	321,8	306,1	440,2
15	ASP	120,1	121,5	127,9	129,0	130,2	130,4	164,7
16	COSSBO	105,8	107,0	108,4	104,9	90,6	89,3	214,2
17	Melipilla Norte	69,1	74,1	70,4	73,3	69,2	66,6	143,6
18	SELAR			274,9	270,5	294,8	257,0	193,3
19	SEPRA				236,3	238,1	226,6	337,2
20	Novaguas			156,4	165,7	171,6	155,6	221,0
21	Aguas San Pedro	89,0	94,2	93,0	95,6	96,7	96,1	153,3
22	ESSBIO	117,9	116,7	115,9	115,3	116,4	115,6	156,1
23	Nuevosur	119,2	119,9	118,5	117,6	118,5	119,7	161,1
24	Aguas Araucanía	114,5	114,8	116,0	115,1	117,8	117,9	150,5
25	ESSAL	98,0	97,3	96,2	97,9	97,9	99,7	131,2
26	Aguas Décima	124,1	125,5	123,9	125,7	130,5	133,3	147,8
27	Aguas Patagonia de Aysén	95,0	91,4	96,3	95,9	101,5	101,8	127,2
28	Aguas Magallanes	128,0	129,0	129,2	130,6	133,3	135,8	155,0
	Promedio Nacional	166,9	172,7	174,9	174,5	172,9	168,0	215,9

Fuente datos: (Super Intendencia de Servicios Sanitarios, 2017).

Dado el enfoque del presente estudio, resulta interesante destacar el abastecimiento que presentan las zonas urbanas en las regiones del norte del país con respecto al promedio nacional, puesto que con esta información se podría reconocer el nivel de accesibilidad al agua potable que tienen las zonas en el norte con respecto a otras localidades en Chile. La siguiente grafica presenta el abastecimiento en las regiones ubicadas al norte de Chile.

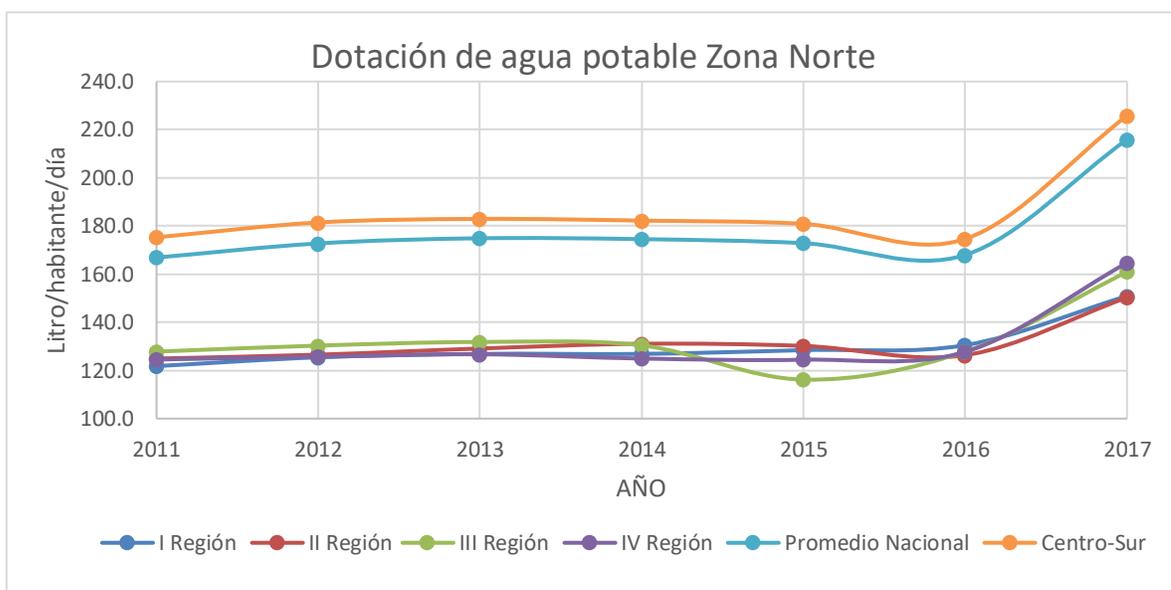


Figura 3.5: Gráfico comparativo de la dotación de agua potable [l/hab/día] en regiones del norte de Chile con respecto al promedio nacional.

De la gráfica se observa que existe una diferencia importante en cuanto a la dotación en las regiones del norte, lo cual podría estar condicionado por escasez de agua para el abastecimiento de agua potable, por la falta de infraestructura, o bien, por la geografía.

Es por esto que para definir de forma precisa la dotación con la que se trabajará en este informe se recurre al Manual de proyectos de Agua Potable Rural, (Dirección de Obras Hidráulicas, 2017). Donde se especifica que para la construcción de sistemas de agua potable rural se deben emplear las estadísticas de consumo de los últimos 12 meses, y de no contar con esta información se sugiere considerar una dotación mínima y máxima para el consumo familiar, que sea suficiente para cubrir la demanda de pequeñas actividades comerciales o artesanales, como el riego de pequeñas huertas o agua para animales. (ver tabla 3.7).

Tabla 3.7: Parámetros dotaciones de consumo en zonas rurales.

Actividades	Subsistencia [litro/hab/día]	Consumo Familiar [litro/hab/día]
Dotación mínima	20	120
Dotación máxima	30	150

Manual de proyectos de Agua Potable Rural, 2017 DOH.

Para efectos de este estudio donde se busca propender al desarrollo de las comunas, mejorar la calidad de vida de sus habitantes y asegurar el acceso continuo al agua, la dotación considerada más óptima es de 170 l/hab/día, cifra que permite generar una fuente de abastecimiento que logre compensar la escasez que han tenido algunas comunas del país, impulsando el desarrollo de actividades de huertos familiares que contribuyan a un real bienestar de la población. Además, el valor señalado es muy cercano al valor promedio del consumo a nivel nacional del gráfico anteriormente expuesto.

4 Criterios de Selección de Comunas.

Existen varias zonas del país que durante los últimos años han experimentado situaciones de sequía y escasez hídrica, principalmente en localidades comprendidas entre las regiones de Atacama y La Araucanía. Dado que esta situación ha ido en aumento, se hace trascendental estudiar las condiciones en las que se encuentran las poblaciones rurales de las regiones afectadas, ya que por mucho tiempo los habitantes de estos sectores han sido los más afectados, y a pesar de que la escasez hídrica se caracteriza por tener un carácter estacional, existen antecedentes que apuntan a un problema más frecuente.

De esta forma, el objetivo del presente capítulo es investigar y mapear las zonas o comunas, del norte de Chile, más afectadas por la escasez del recurso hídrico. Para definir las comunas que cumplan con estas características, se definen criterios de selección.

En primer lugar, se mapearán las comunas del norte de Chile que han sido declaradas zonas de escasez hídrica y /o emergencia agrícola, elegir aquellas más críticas o con mayor déficit de agua para agua potable y riego no industrializado. Luego, se requiere conocer aquellas localidades donde no existe disponibilidad de agua potable por redes, o bien, las redes existentes son insuficientes para satisfacer las necesidades normales de la población.

Asimismo, se indagará acerca de las comunas más vulnerables de todo el país junto con conocer el número de habitantes que viven en ellas. De esta manera se pretende conocer las comunas más propensas a ser afectadas por la falta de agua, y dado el número de personas habitando la zona se requiere de una propuesta para solucionar el problema con más urgencia.

En lo que sigue del presente capítulo, se analizan y desarrollan los criterios de selección y que se refieren a:

- Decretos de escasez hídrica.
- Decretos de emergencia agrícola.
- Población no conectada a sistemas de agua potable.
- Población vulnerable.

4.1 Decretos de Escasez Hídrica.

El primer criterio aplicado para la elección de las comunas que se estudiarán tiene que ver con la frecuencia con que el Estado ha decretado las comunas bajo la condición de escasez hídrica a lo largo del país. La Dirección General de Agua, cuenta con registros de los decretos a partir del año 2008, ordenamientos que cuentan con una duración de 6 meses, de los cuales 17 de ellos se encuentran vigentes, identificando 136 comunas con situación de escasez de agua.

A pesar de la extensa data que se encuentra disponible, los decretos de mayor antigüedad no definen explícitamente la comuna afectada, y con la intención de utilizar información imparcial, se decide realizar un análisis de frecuencia de los decretos emitidos por la DGA entre los años 2015 y 2020, donde se explicita y detalla cada comuna bajo decreto de escasez hídrica dentro de ese periodo.

A continuación, se presenta un mapa geográfico de las zonas bajo decreto de escasez hídrica, donde se destacan gradualmente con un color de mayor intensidad las comunas que han sido identificadas bajo la condición de escasez hídrica con una mayor frecuencia.

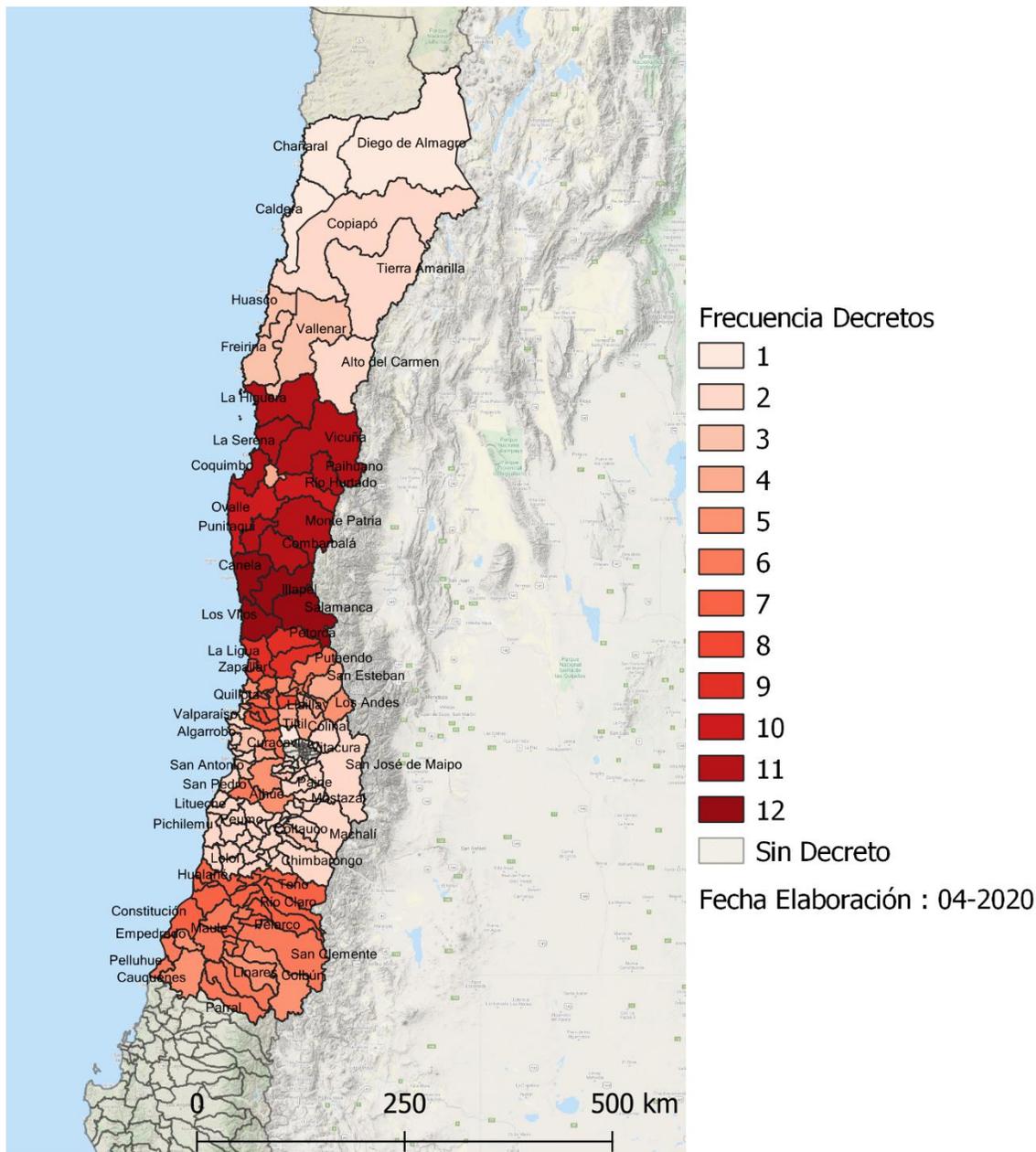


Figura 4.1: Mapa geográfico de zonas bajo decreto de escasez hídrica entre los años 2015 y 2020. (Dirección General de Aguas , 2020)

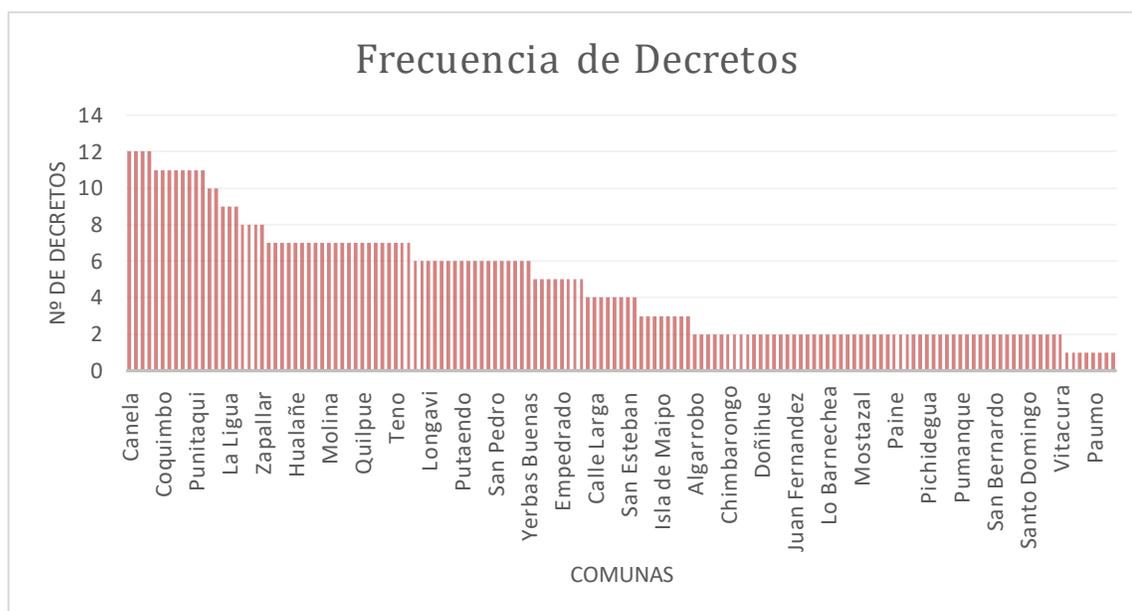


Figura 4.2: Gráfico de frecuencia, expone cantidad de veces que una comuna ha sido declarada bajo de decreto de escasez hídrica entre los años 2015 y 2020. Fuente datos DGA.

De las Figuras 4.1 y 4.2, se observa que durante el periodo de años que va desde el 2015 al 2020 las comunas afectadas por la falta de agua presentan desde 1 decreto hasta 12 decretos durante el mismo lapso de tiempo, lo que permite destacar aquellas localidades que dadas sus condiciones hidrometeorológicas están más expuestas a los daños generales que derivan de la escasez hídrica. El detalle de las comunas más críticas se muestra en el siguiente gráfico (Figura 4.3).

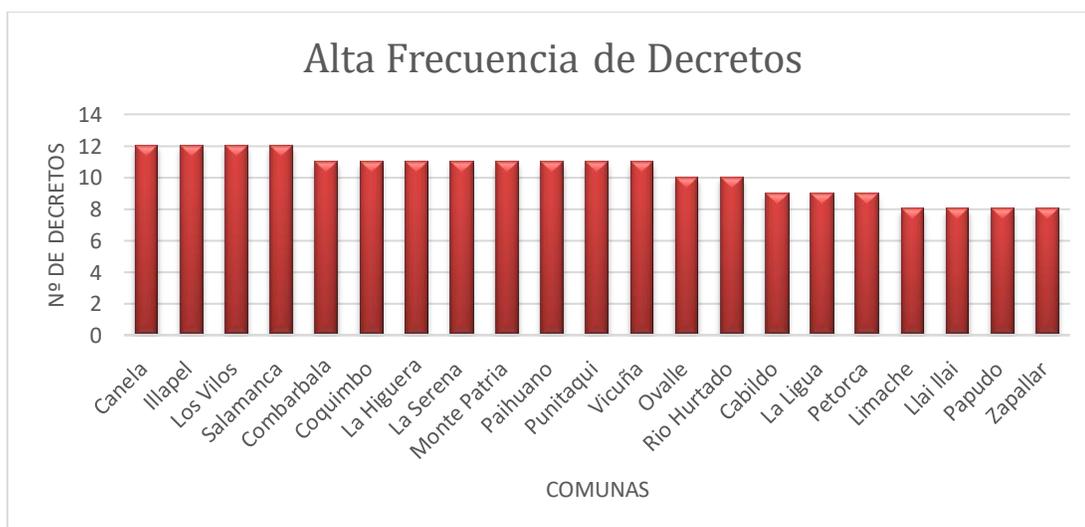


Figura 4.3: Gráfico de frecuencia, expone las comunas que han sido declaradas zonas de escasez hídrica entre los años 2015 y 2020. Fuente datos DGA.

Las comunas que evidencian una mayor criticidad en el país fueron decretadas 12 veces como zonas con escasez de agua durante un periodo de 6 años, singularidad que se presenta principalmente en las localidades de la IV región del país, región de Coquimbo, entre ellas las comunas de Canela, Illapel, Los Vilos y Salamanca. Esta información deja en evidencia que las

comunas involucradas son afectadas con una permanencia en la escasez del recurso hídrico durante todo el año, por lo que el Estado debe asignar recursos económicos de forma continua para aliviar la falta de agua.

4.2 Decretos de Emergencia Agrícola.

El segundo criterio aplicado, tiene que ver con la situación de emergencia agrícola a la que se ven expuestas las comunas del país y que son reconocidas por el Ministerio de Agricultura mediante la promulgación de los decretos de emergencia agrícola que buscan mitigar de alguna manera los efectos del daño productivo derivados de la condición de déficit hídrico de cada zona en particular.

El Ministerio de Agricultura, cuenta con registros de los decretos a partir del año 2011, a la fecha existen 17 los que cuentan con una vigencia de un año calendario desde la emisión del decreto. Las comunas son identificadas en base a los antecedentes aportados por el INIA y Dirección General de Aguas, en donde sus informes se ha constatado una condición de prolongado déficit hídrico y sequía, que se traduce en pérdidas económicas de productos hortofrutícolas, crianza de animales, por la menor disponibilidad de forraje, afectación de colmenas, entre otros (BCN Ley Chile, 2019).

En la siguiente tabla se muestran las comunas que han sido declaradas bajo estado de emergencia agrícola debido a la condición de déficit hídrico.

Tabla 4.1: Decretos de emergencia agrícola, periodo año 2011 y 2020 (datos actualizados en marzo del 2020).

Region	Provincia	Comuna	Nº Comunas Decretadas
Atacama	Chañaral	Chañaral y Diego de Almagro.	2
	Huasco	Vallenar, Freirina, Huasco y Alto del Carmen.	4
	Copiapó	Caldera, Copiapó y Tierra Amarilla	3
Coquimbo	Elqui	Coquimbo, La Higuera, Vicuña, Paihuano, La Serena, Andacollo	6
	Choapa	Salamanca, Canela, Illapel, Los Vilos	4
	Limarí	Río Hurtado, Punitaqui, Ovalle, Monte Patria, Combarbalá	5
Valparaíso	Valparaíso	Puchuncaví, Concón, Viña del Mar, Valparaíso, Quintero, Casablanca	6
	Quillota	La Cruz, Quillota, Nogales, Calera, Hijuelas	5
	San Felipe de Aconcagua	Panquehue, Putaendo, San Felipe, Catemu, Llaillay, Santa María.	6
	Marga Marga	Villa Alemana, Quilpué, Olmué y Limache	4
	San Antonio	San Antonio, Algarrobo, Santo Domingo, Cartagena, El Quisco, El Tabo	6
	Los Andes	San Esteban, Los Andes, Rinconada, Calle Larga	4
Metropolitana	Petorca	Papudo, la Ligua, Zapallar, Cabildo, Petorca	5
	Cordillera	Pirque y San José de Maipo	2
	Chacabuco	Colina, Tiltil y Lampa	3
	Maipo	Paine, Buin, San Bernardo y Calera de Tango	4
	Talagante	Padre Hurtado, Isla de Maipo, El Monte, Peñaflores y Talagante.	5
	Melipilla	Alhue, Curacaví, María Pinto, Melipilla y San Pedro	5
O'Higgins	Santiago	La Pintana, Quilicura, Maipú, Lo Barnechea y Pudahuel	5
	Cachapoal	Coinco, Las Cabras, Pichidegua, San Vicente, Requínoa, Graneros, Mostazal, Rengo, Machalí, Peumo, Coltauco, Olivar, Codegua, Quinta de Tilcoco, Rancagua, Doñihue, Malloa	17
	Cardenal Caro	Pichilemu, La Estrella, Marchihue, Paredones, Litueche, Navidad	6
Maule	Colchagua	Palmilla, Placilla, Santa Cruz, San Fernando, Pumanque, Chépica, Peralillo, Chimbarongo, Nancagua, Lolol	10
	Curicó	Romeral, Curicó, Vichuquén, Teno, Rauco, Hualañé, Licantén, Sagrada Familia y Molina	9
	Talca	Curepto, Consittución, Penciahue y Empedrado	4
	Linares	San Javier	1
Ñuble	Cauquenes	Chanco, Pelluhue y Cauquenes	3
	Punilla	San Carlos, Ñiquén, Coihueco y San Nicolás.	4
	Diguillín	Chillán, Chillán Viejo, Pinto y Bulnes.	4
Nº total de comunas			142

Fuente datos (Ministerio de Agricultura, 2020).

4.3 Población no Conectada a Sistema de Agua Potable, Censo 2017.

Como tercer criterio de selección se pretende conocer la cantidad de viviendas en regiones del norte de Chile que no cuentan con la infraestructura necesaria que garantice un suministro continuo del agua junto con la calidad del recurso.

Para conocer las condiciones de las viviendas particulares en cuanto al origen de agua potable, se extraen los datos del Censo del año 2017, donde especifican si el recurso es suministrado de una red pública, o bien, las familias deben recurrir a opciones como uso de camiones aljibes, pozo, noria, vertiente, estero, canal o lago.

En el presente estudio se considera que todas las viviendas que no cuenten con de abastecimiento de agua a partir de una red pública, entonces no cuenta con la infraestructura adecuada que garantice el suministro del recurso.

A continuación, las figuras X y XI muestran el número de viviendas que no cuentan con acceso a la red de agua potable, tanto en las zonas rurales como urbanas y totales de cada región. En la primera grafica se exponen los resultados a nivel nacional, mientras que en la segunda grafica se especifican solo en las regiones del norte del país.

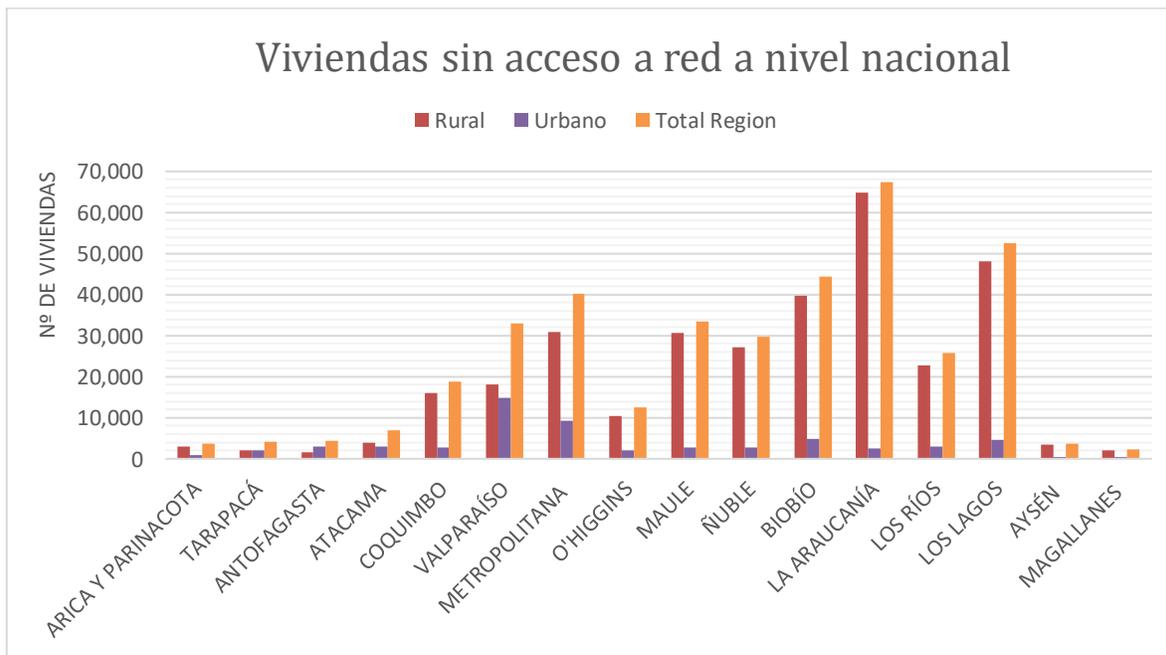


Figura 4.4: Cantidad de viviendas sin acceso a red en sector urbano y rural por cada región.
Datos Censo 2017.

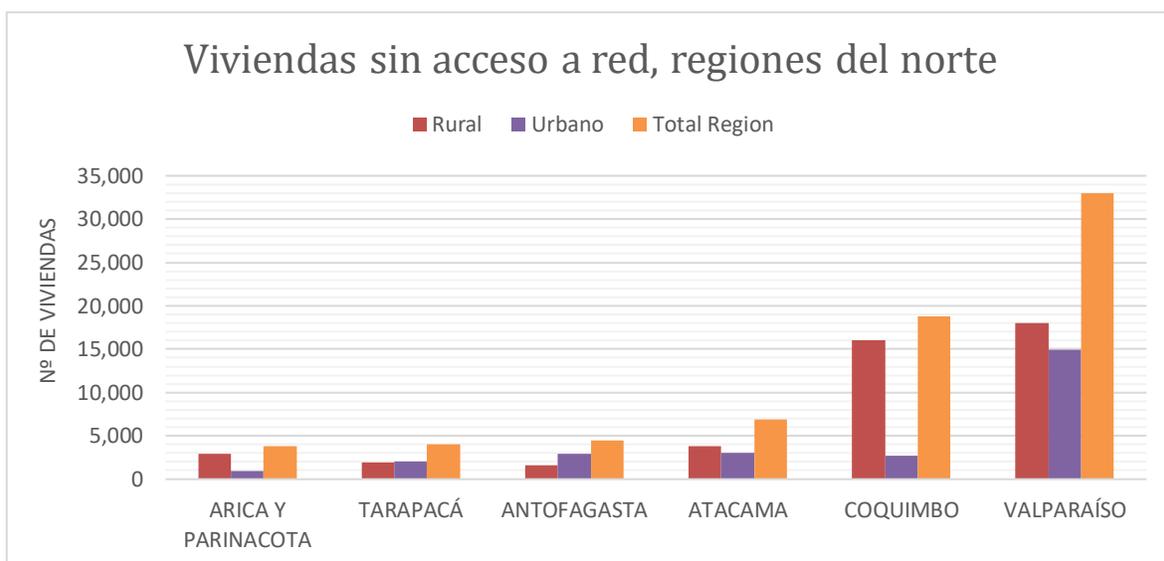


Figura 4.5: Cantidad de viviendas sin acceso a red en sector urbano y rural, en regiones del norte del país. *Datos Censo 2017.*

De las gráficas anteriores se observa que las regiones del norte de Chile donde existe un mayor número de viviendas sin acceso a los servicios de agua potable son la región de Coquimbo y Valparaíso. De las dos regiones se ordenan las comunas según la cantidad de habitantes que no cuentan con acceso a la red en las zonas rurales, las 20 comunas más críticas se muestran en la siguiente gráfica.

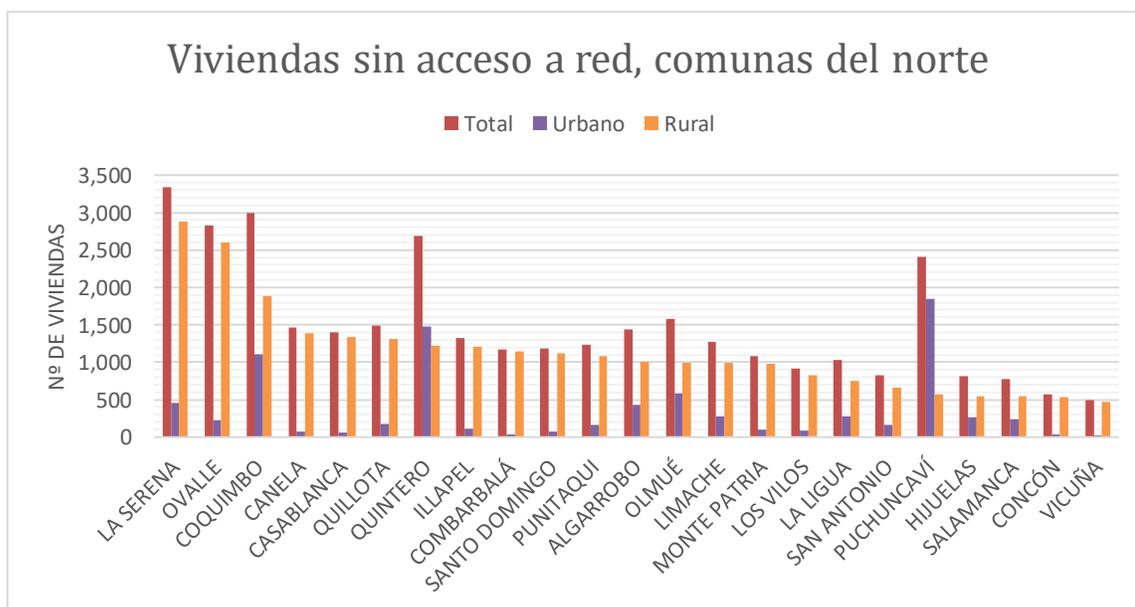


Figura 4.6: Viviendas sin acceso a red en comunas de Coquimbo y Valparaíso. *Datos Censo 2017.*

4.4 Población Vulnerable, Casen 2017.

El cuarto criterio de selección tiene que ver con el acceso a los recursos que tiene la población y a la realidad social en la que se encuentran implicadas las familias, de esta manera se estudian algunos resultados obtenidos de la encuesta Casen del año 2017.

En primer lugar, es pertinente conocer el índice de pobreza según los ingresos que poseen los hogares. De acuerdo con la metodología aplicada por el Ministerio del Desarrollo Social, se considera que un hogar está en situación de pobreza si sus ingresos totales, per cápita mensuales, no le permiten cubrir sus necesidades básicas alimentarias y no alimentarias (el valor de la canasta básica alimentaria y no alimentaria es entonces la línea de pobreza), la cual se define acorde al nivel de desarrollo actual de Chile (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2018). En el año 2017 el valor monetario de la línea de la pobreza alcanzaba \$158.479 por persona equivalente. Actualmente este valor asciende a \$170.581 por persona.

La siguiente grafica muestra el porcentaje de personas en situación de vulnerabilidad de acuerdo con el índice de pobreza por ingresos, tanto a nivel nacional (8,6%) como cada región en particular.

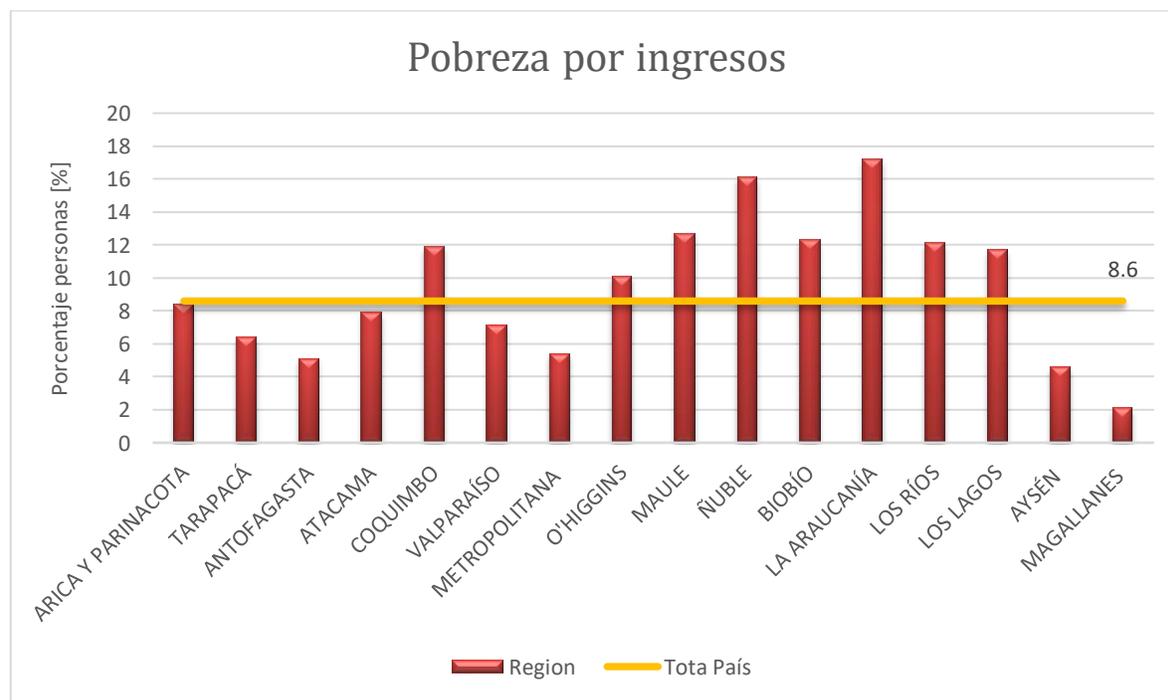


Figura 4.7: Porcentaje de personas en situación de pobreza por ingresos, Nacional.
Datos Casen 2017.

En concreto, este indicador señala que el 8,6% de las viviendas que participaron de la encuesta subsisten con un ingreso no mayor a los 158.479 pesos, y que, en regiones como La Araucanía, Ñuble y Coquimbo, este porcentaje es aún mayor.

Por otra parte, las instituciones gubernamentales reconocen que la pobreza es un fenómeno más complejo que la sola falta de ingresos para adquirir una canasta básica de consumo, y que la situación de pobreza de muchas personas y hogares queda en evidencia en las carencias que ellos sufren en distintas dimensiones del bienestar, es por ello que se ha elaborado una metodología de medición de Pobreza Multidimensional.

Este método busca medir de manera directa las condiciones de vida de la población, a través de distintas dimensiones e indicadores de carencia que se consideran socialmente relevantes para que las personas puedan luchar para superarla y disfrutar de una vida digna. De esta forma, permite un análisis de la realidad social de la población complementario a la medición de pobreza por ingresos, con lo cual se logra una caracterización socioeconómica nacional más completa de los hogares y sus miembros que ayude a mejorar y orientar la política social. (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2018)

La pobreza multidimensional tiene cinco dimensiones: educación, salud, trabajo y seguridad social, vivienda y entorno social, y redes y cohesión social, las que en su conjunto permiten comprender la situación de pobreza en que viven muchos chilenos con mayor detalle, y que antes era invisible a las mediciones basadas sólo en ingresos. La ponderación que tiene cada uno de estos indicadores atiende a la relevancia del indicador para el bienestar de los hogares.



Figura 4.8: Indicadores por dimensión, junto con el ponderador respectivo. (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2018)

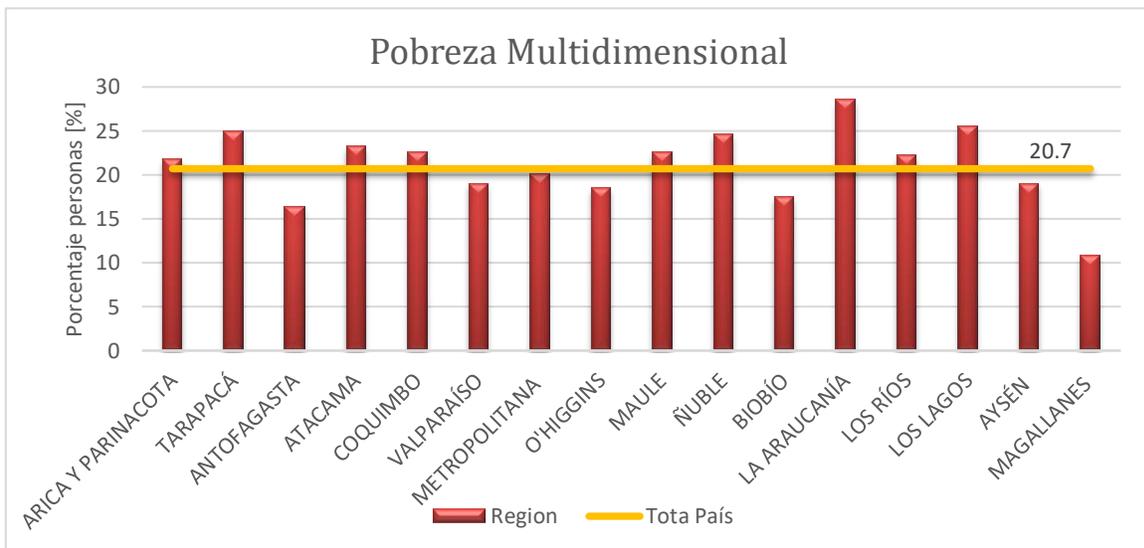


Figura 4.9: Porcentaje de personas en situación de pobreza Multidimensional (5 dimensiones) en cada región del país. *Datos Casen 2017.*

De las gráficas anteriores, se observa que, en la zona norte, la región que presenta un mayor porcentaje de personas en situación de pobreza por ingresos y pobreza multidimensional es la región de Coquimbo, con un 11,9 % y un 22,6% respectivamente. Es por estas características que se decide analizar en detalle las comunas pertenecientes a la cuarta región del país bajo los mismos criterios de vulnerabilidad ya presentados. Las comunas comprendidas en esta región se muestran en la figura siguiente.



Figura 4.10: Mapa geográfico de las comunas que componen la región de Coquimbo.

En las gráficas presentadas a continuación, se muestran la cantidad de personas vulnerables bajo el criterio de pobreza por ingreso y pobreza multidimensional de las comunas de la región de Coquimbo.

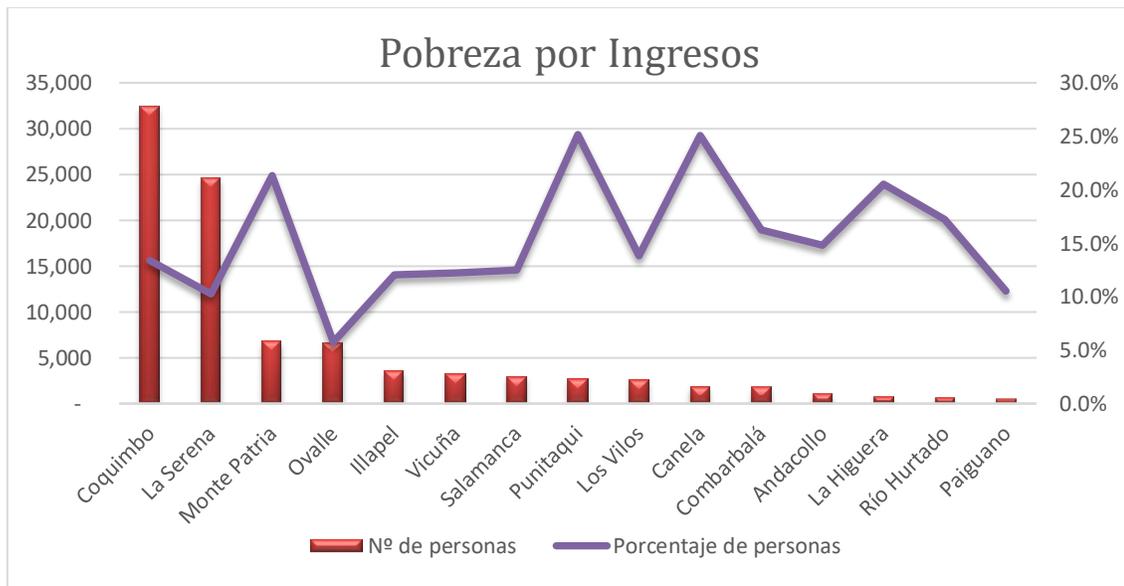


Figura 4.11: Porcentaje versus el número de personas en situación de pobreza por ingresos. *Datos Casen 2017.*

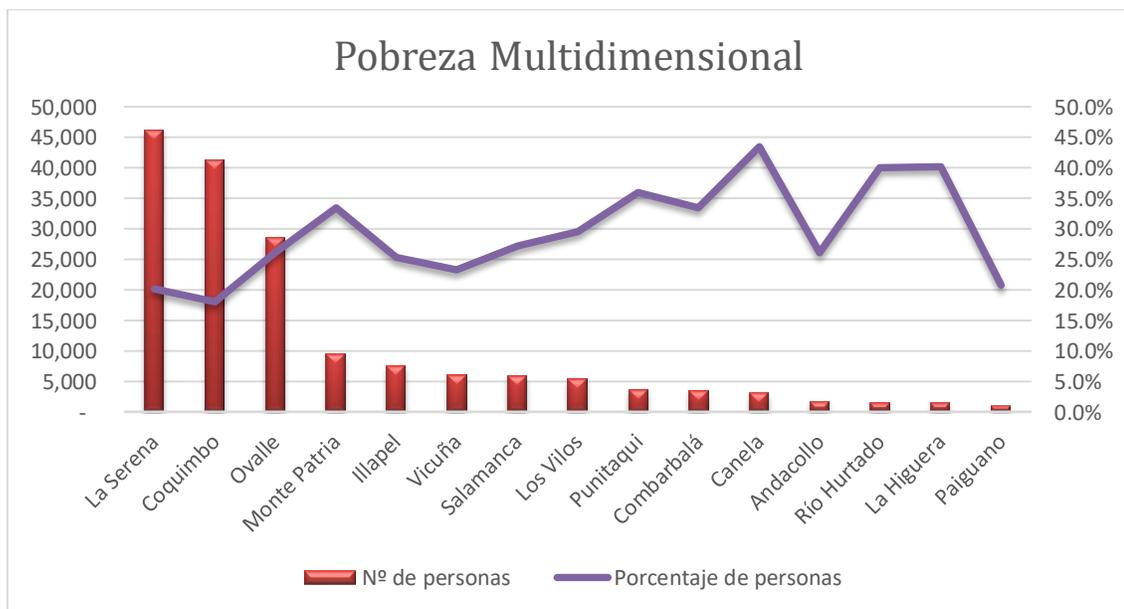


Figura 4.12: Porcentaje versus el número de personas en situación de pobreza Multidimensional (5 dimensiones). *Datos Casen 2017.*

En ambas figuras se puede observar que la cantidad de personas vulnerables aumenta en zonas más urbanizadas, no así el porcentaje de personas en situación de pobreza por comunas que aumenta en lugares donde existe un mayor número de habitantes viviendo en la ruralidad y por ende la accesibilidad a los bienes básicos se dificulta. En este sentido se descartan aquellas comunas donde el desarrollo urbano es de gran magnitud, por lo que, a pesar de contar con un gran número de

habitantes en situación de vulnerabilidad, este grupo representa un bajo porcentaje respecto al número total de habitantes que presenta la comuna. De esta forma, y considerando que las comunas más pequeñas presentan mayor dificultad para acceder a los servicios básicos en comparación con ciudades más grandes, se descartan del estudio la comuna de La Serena, Coquimbo y Ovalle.

Además, cruzando los índices de vulnerabilidad con el número de viviendas particulares que no cuentan con acceso a la red de agua potable, la caracterización de las comunas queda como lo señala el siguiente gráfico.

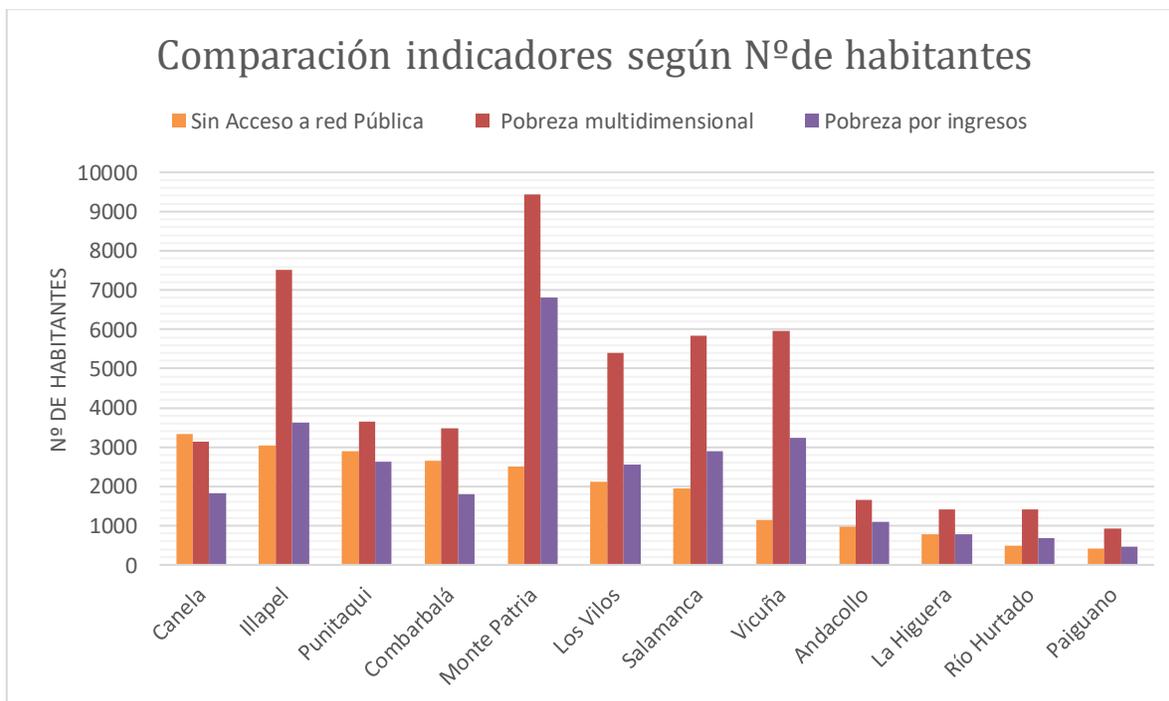


Figura 4.13: Gráfico comparativo de los índices de vulnerabilidad junto con el número de habitantes si acceso al agua, por comuna. *Datos Casen 2017 y Censo 2017.*

4.5 Comunas Seleccionadas.

En esta sección se detallan los criterios que cumplen las comunas seleccionadas y como es que fueron elegidas dentro de las opciones existentes dentro de la región de Coquimbo.

A lo largo del presente capítulo se presentaron los criterios considerados para la elección de comunas para el estudio de este informe. Por lo que las comunas seleccionadas deben contar con: una alta frecuencia en la condición de escasez hídrica decretada por el Estado según parámetros establecidos; contar con el decreto de emergencia agrícola debido a la condición de déficit hídrico, estos dos argumentos dejan en evidencia que el Estado está particularmente preocupado e interesado en el estado de sequía que se encuentran las zonas promulgadas. También, dentro de la comunidad debe existir un número considerable de viviendas que no tengan acceso a la red pública para abastecerse de agua, junto con contar con un alto porcentaje de habitantes en situación de vulnerabilidad de acuerdo con los índices de pobreza por ingreso y pobreza multidimensional.

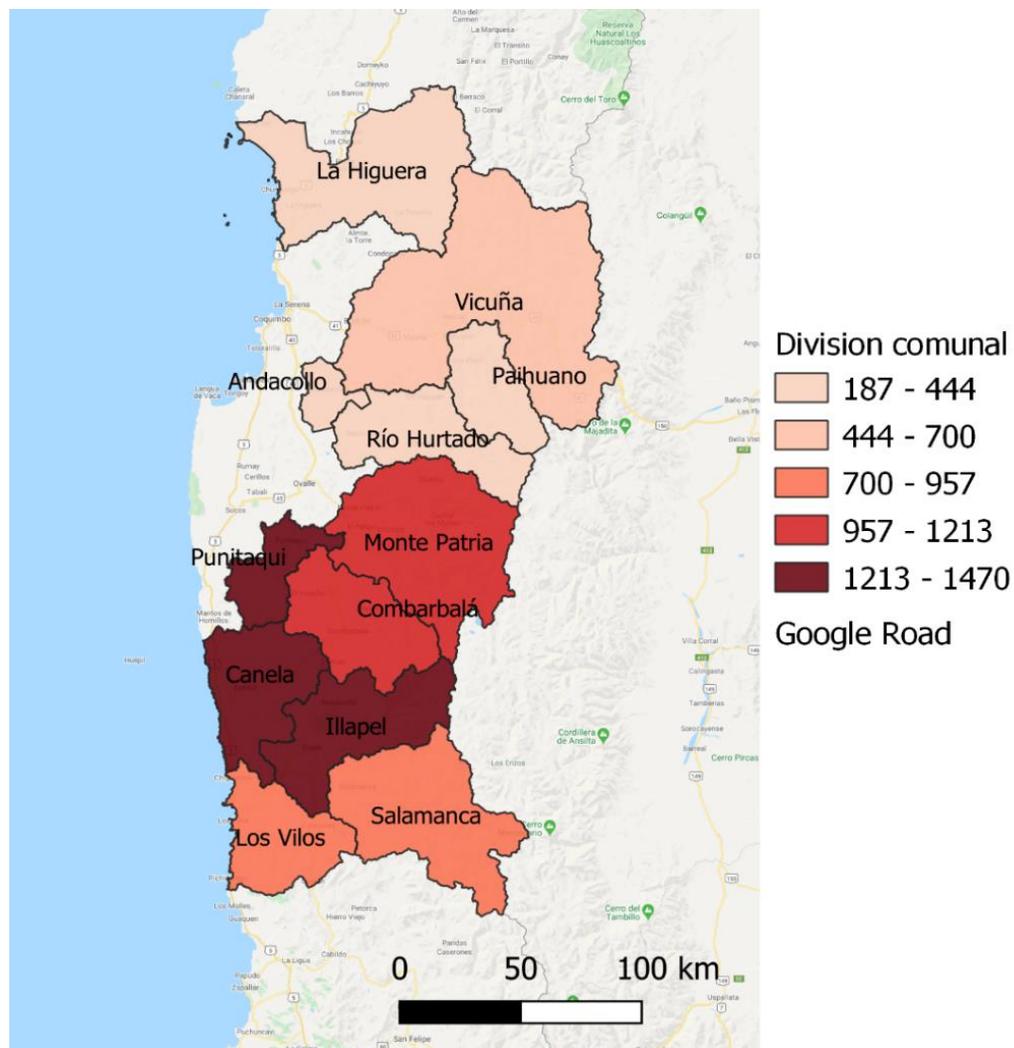


Figura 4.14: Mapa geográfico de las comunas de Coquimbo, destacadas según el número de viviendas sin acceso a la red, presente en cada una. Datos Censo 2017.

A continuación, se analizan las variables y se determinan las comunas que cuentan con las características ya descritas.

En primer lugar, de la Figura 4.14 se observa que las comunas de Canela, Illapel y Punitaqui son las que presentan una mayor cantidad de habitantes sin acceso a la red, que es el criterio principal de selección para el análisis de este trabajo, además, la comuna de Illapel presenta un gran número de personas en situación de vulnerabilidad según el índice de pobreza multidimensional lo cual ratifica la elección de esta zona.

De igual manera, las tres comunas fueron decretadas como zonas de escasez hídrica entre once y doce oportunidades en un periodo de 6 años, lo que implica que el Estado debió invertir presupuestos a lo largo de los 6 años para mitigar el daño que pudo producir la falta de agua. Junto con esto, la comuna de Canela, Illapel y Punitaqui fueron decretadas bajo el decreto de emergencia agrícola por déficit hídrico.

Por otra parte, otra de las comunas que presenta un gran número de personas sin acceso a red de agua potable es la comuna de Combarbalá, la que, además, esta entre las comunas con un mayor porcentaje de habitantes en situación de pobreza por ingreso y pobreza multidimensional, según los índices respectivos.

De la Figura 20, se observa que otra de las comunas que cumple con algunos de los criterios es la comuna de Los Vilos. Si bien, no es una de las zonas que tengan un mayor número de habitantes en estado de vulnerabilidad, la comuna se encuentra próxima a las ya elegidas, lo cual podría ser favorable si se piensa en proponer una solución técnica que cubra una mayor área, idealmente para estas tres comunas que son vecinas.

En la siguiente tabla se presentan las comunas seleccionadas junto con los criterios aplicados para la elección.

Tabla 4.2: Resumen de las comunas seleccionadas, junto con los criterios aplicados.

Criterios	Illapel	Canela	Los Vilos	Combarbalá	Punitaqui
Frecuencia Decreto Escasez Hídrica	12 veces	12 veces	12 veces	11 veces	11 veces
Decreto Emergencia Agrícola	Si	Si	Si	Si	Si
Nº viviendas sin acceso a red de agua potable	1.318	1.470	919	1.177	1.236
Nº personas en situación de pobreza por ingresos	3.623	1.835	2.560	1.801	2.624
Nº personas en situación de pobreza multidimensional	7.520	3.132	5.396	3.488	3.661

Fuente: Elaboración propia.

5 Caracterización de Comunas Seleccionadas.

Dado que la situación de escasez hídrica ha ido en aumento y que el contexto geográfico y económico de las poblaciones no permiten que las personas puedan acceder al agua potable fácilmente, es muy importante conocer las condiciones reales de la disponibilidad del recurso en las localidades rurales ya seleccionadas en el capítulo anterior.

De esta forma, el objetivo principal del presente capítulo es definir la disponibilidad hídrica que se tiene en cada comuna, junto con las redes de abastecimientos de agua potable con las que cuenta la población, para finalmente contrastar esta información con la demanda que se tiene en cada comuna de acuerdo con el número de habitantes.

Para esto se requiere investigar y presentar gráficamente las condiciones hídricas de las comunas del norte de Chile, exponiendo los datos de precipitaciones y caudales medios mensuales, obras de abastecimiento rural y el estado en el que se encuentra cada una.

5.1 Caracterización Físico- Ambiental de la Zona en Estudio.

Las comunas seleccionadas se ubican en la región de Coquimbo por lo que es pertinente describir de manera general esta división administrativa. La Región de Coquimbo se ubica en el norte de Chile, tiene una superficie de 40.580 km² con una población de 757.586 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas, Junio, 2018), es decir, la densidad poblacional promedio es de 18,7 habitantes por km².

La región se encuentra subdividida en tres provincias de norte a sur; Provincia de Elqui, Provincia de Limarí, Provincia de Choapa, cada una asociada de acuerdo con su morfología, a un valle transversal que presenta altas cumbres, pero sin volcanismo activo, lo que potencia la economía local permitiendo el desarrollo de actividades agrícolas. De acuerdo con este último punto, otras de las actividades económicas más relevantes de la Región de Coquimbo son la minería (en la cordillera) y el desarrollo agropecuario (en la costa). Existen en la región yacimientos de manganeso, oro, plata, cobre, hierro y plomo, así como depósito de minerales no metálicos. El sector agrícola se destaca por una importante producción de uva de mesa de exportación, paltos, cítricos y olivos (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2020).

Como unidad climática, la Región de Coquimbo demuestra ser una zona de transición, ya que se encuentra entre la zona desértica y templada mediterránea, lo cual permite el desarrollo de los climas estepárico costero o nuboso, caracterizado por la presencia de abundante nubosidad y humedad; de estepa cálido con precipitaciones invernales, caracterizado por ausencia de nubosidad y sequedad del aire; y templado frío de altura desarrollado en la alta cordillera, el cual presenta temperaturas bajas y nieves permanentes que constituyen un aporte significativo de agua en el período estival.

En relación con la hidrografía, la región presenta tres importantes ríos: Elqui, Limarí y Choapa, todos ellos nacen en la Cordillera de Los Andes y desembocan en el mar. Las cuencas formadas por los límites geográficos tienen una estacionalidad de carácter nivopluvial y pluvial, donde el primer régimen se desarrolla hacia las subcuencas de cordillera y precordillera (río Elqui y Choapa), y el segundo se observa en subcuencas ubicadas en la precordillera y costa de la región (río Limarí).

Las comunas seleccionadas para este estudio se ubican en la zona centro sur de la IV región, específicamente en las cuencas del Limarí y Choapa, a continuación, se muestra una tabla con algunas de las características geográficas de las comunas en cuestión.

Tabla 5.1: Características geográficas de las comunas seleccionadas.

Comuna	Provincia	Superficie [km²]	Nº de habitantes
Illapel	Choapa	2.629	30.848
Canela	Choapa	2.213	9.093
Los Vilos	Choapa	1.824	21.382
Combarbalá	Limarí	2.258	13.322
Punitaqui	Limarí	1.339	10.956

Elaboración propia. Fuente datos, Censo 2017.

5.2 Antecedentes Hidrometeorológicos.

Con el objetivo de conocer la disponibilidad de agua natural superficial de las 5 comunas en estudio se extraen los datos de precipitaciones medias mensuales y caudales medios mensuales desde el sitio web de la DGA.

Para el análisis de las precipitaciones se dispone de los datos registrados por 15 estaciones meteorológicas, que cuentan con registros entre los años 1980 – 2019. Cada comuna cuenta con dos o más estaciones que llevan el registro del agua caída. De igual manera, para el estudio de los caudales se cuenta con 9 estaciones pluviométricas, con registros mensuales en el periodo 1980 – 2019, las que están dispuestas al menos una en cada comuna, excepto en la comuna de Punitaqui que no tiene ninguna estación de monitoreo de caudales. El detalle de las características de las estaciones, y el número conforme por comuna, se muestran en las tablas a continuación.

Tabla 5.2: Antecedentes de estaciones meteorológicas consultadas entre los años 1980 – 2019.

Comuna	Nombre Estación	Altitud (msnm)	UTM Norte (mts)	UTM Este (mts)
Canela	La Canela DMC	290	6523752	266445
	Mincha Norte	50	6502706	267509
Los Vilos	Caimanes	450	6465524	298044
	Culimo Embalse	380	6449316	289116
	Los Vilos DMC	10	6466271	262657
	Quilimari	25	6443916	264892
Illapel	Huntil	650	6505125	310378
	Illapel DGA	290	6497017	293094
	Las Burras	1150	6512155	327474
	Limahuida	300	6485124	294965
Combarbalá	Cogotí 18	840	6558646	313519
	Cogotí Embalse	740	6567327	300608
	Combarbalá	870	6547812	309530
Punitaqui	Punitaqui	280	6586719	284077
	La Placilla	600	6579522	278631

(Dirección General de Aguas , 2020)

Tabla 5.3: Antecedentes de estaciones fluviométricas consultadas entre los años 1980 – 2019.

Comuna	Nombre Estación	Altitud (msnm)	UTM Norte (mts)	UTM Este (mts)	Área Drenaje (km2)
Canela	Río Choapa aguas arriba Estero la Canela	40	6502749	266282	6197
Los Vilos	Estero Pupio en el Romero	570	6463101	303872	131,00
Illapel	Río Illapel en el Peral	206	6494086	286157	0,00
	Río Illapel en Huntill	775	6506056	313467	928,00
	Río Illapel en las Burras	1079	6512386	327549	597,00
Combarbalá	Río Cogotí en Fragueta	1065	6556093	320068	475,00
	Río Cogotí entrada Embalse Cogotí	670	6564637	305097	735,00
	Río Combarbalá en Ramadillas	1430	6543251	317796	113,00
	Río Pama en Valle Hermoso	850	6539119	309832	0,00
Punitaqui	SIN ESTACIONES				

(Dirección General de Aguas , 2020)

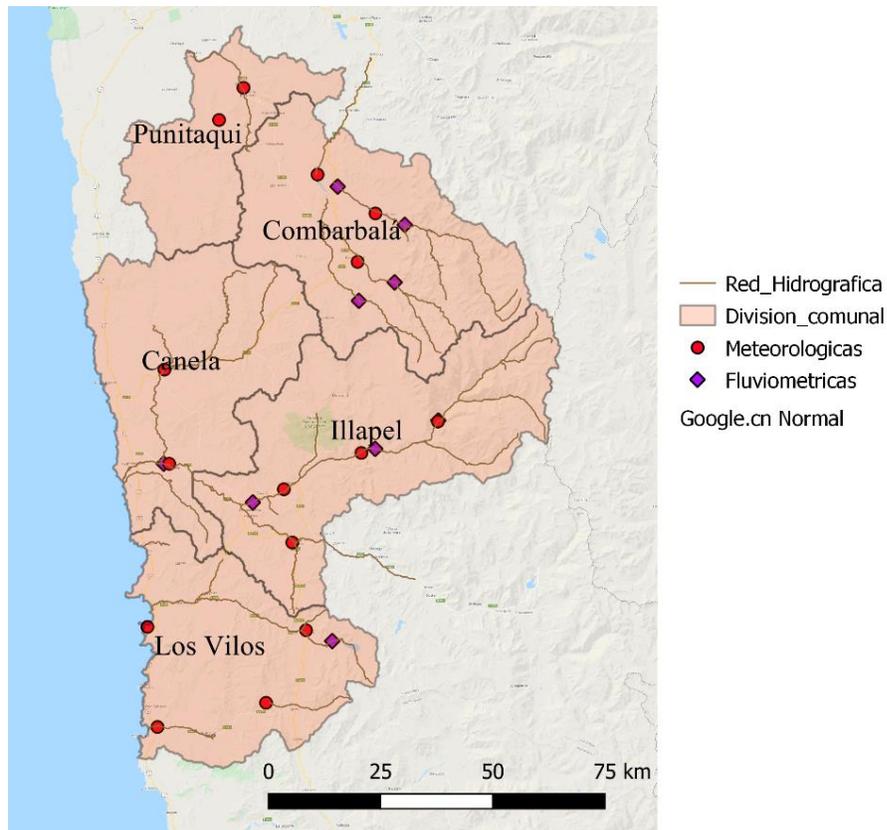


Figura 5.1: Mapa geográfico de la ubicación de las estaciones consultadas por comuna.

Fuente estaciones de monitoreo DGA.

Para conocer el comportamiento promedio mensual de los parámetros de precipitación y caudal se decide elaborar una comparación de los registros, por ende, se subdividen los datos en tres periodos:

- a) El primero, denominado “Histórico”, comprende la medición de datos desde el año 1981 hasta el año 2009.
- b) En segundo lugar, se define un periodo de análisis nombrado “Mega Sequía”, que comprende las mediciones realizadas entre los años 2010 – 2019, que es el periodo reconocido como la década más cálida de los últimos 100 años, donde las regiones entre Coquimbo y La Araucanía han experimentado un déficit de precipitaciones cercano al 30% (Center for Climate and Resilience Research, 2020), de modo que la falta de agua caída ha sido la característica principal que diferencia esta década del resto.
- c) En tercer lugar, se establece un periodo denominado “Actual” que comprende los años 2015 al 2019, así se pretende conocer el comportamiento de los parámetros en los últimos 5 años.

Tabla 5.4: Periodos estimados para análisis de variabilidad de caudales y precipitaciones.

Periodo	Años abarcados
Histórico	1980 – 2009
Mega Sequía	2010 – 2019
Actual	2015 – 2019

Se establecen estos tres periodos de estudios con el objetivo de conocer la variabilidad temporal del recurso de agua natural, y de esta manera reconocer la disponibilidad real con la que cuenta cada una de las comunas en estudio. En las siguientes secciones se presentan los antecedentes de precipitaciones y caudales estudiados.

5.2.1 Registros de Precipitaciones.

En primer lugar, se detallan los datos obtenidos del monitoreo de las estaciones Meteorológicas de la DGA para las precipitaciones medias mensuales, junto con un análisis de la variación de los parámetros registrados para cada una de las comunas. Los datos expuestos fueron extraídos del sitio web de la DGA descarga de datos en línea. (Dirección General de Aguas , 2020)

Y, en segundo lugar, se presentan algunas conclusiones generales de los resultados obtenidos.

a) Gráficos de Precipitaciones.

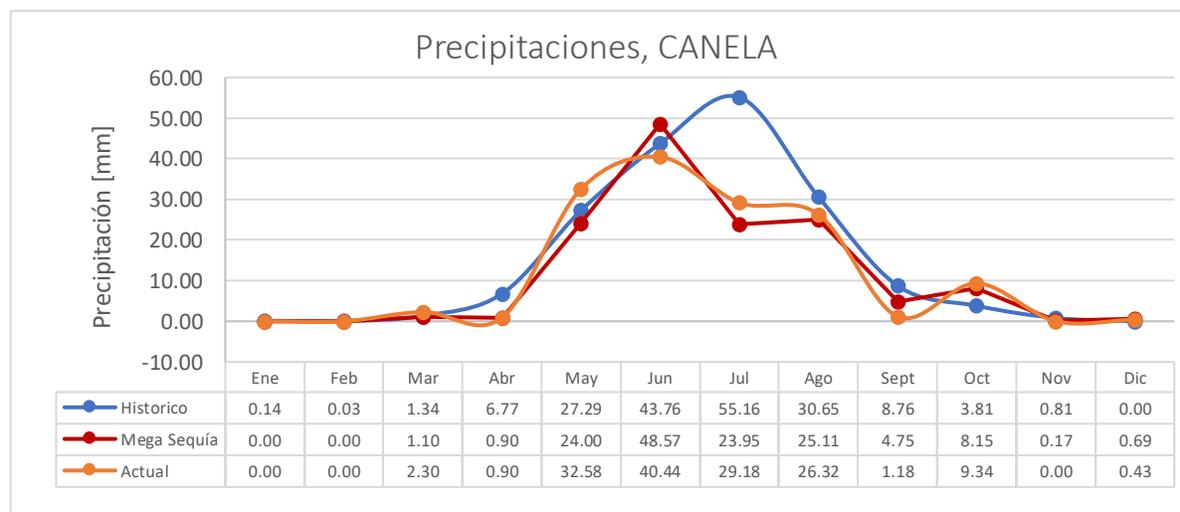


Figura 5.2: Gráfico promedios precipitaciones medias mensuales, comuna de Canela.

De la Figura 5.2, se desprende que la mayor disminución en la precipitación durante los últimos 10 años ocurre en el mes de Julio alcanzando un déficit del 60 % con respecto al agua caída en el periodo “Histórico”, los mismo ocurre para el periodo “Actual”, donde se observa un déficit del 45%. El resto de los meses presentan un comportamiento más bien similar respecto al promedio del periodo “Histórico”, puesto que las lluvias ocurren en la época de invierno principalmente.

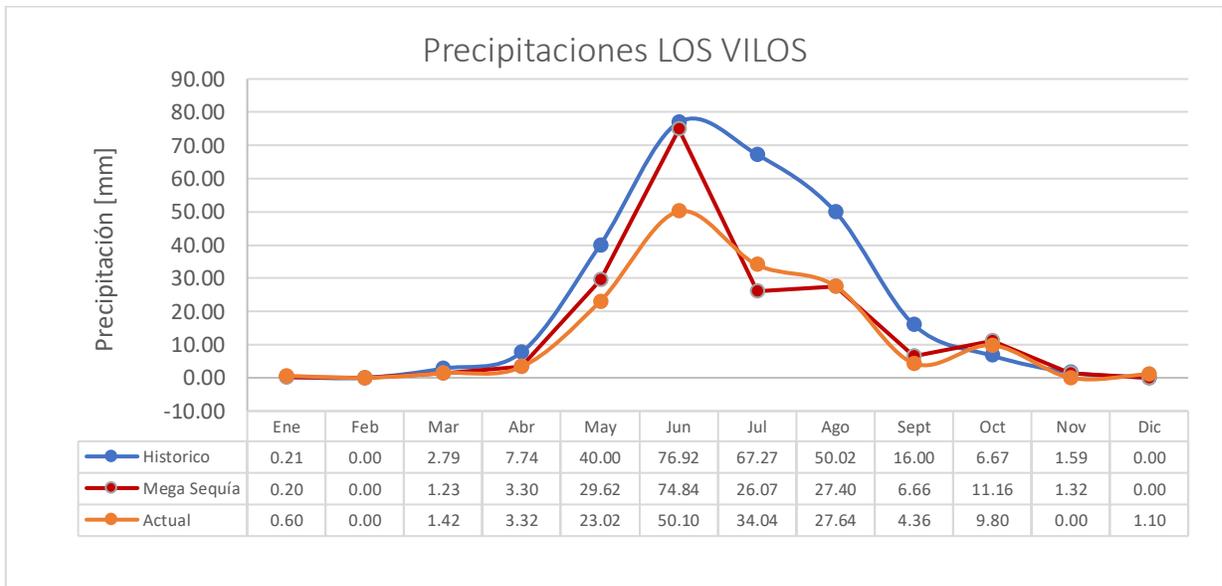


Figura 5.3: Gráfico promedios precipitaciones medias mensuales, comuna de Los Vilos.

De la 5.3, se observa que durante la época invernal (mayo – septiembre) las precipitaciones experimentan un claro decaimiento, tanto el periodo de “Mega Sequía” como en el “Actual”, con respecto a los datos del “Histórico”, alcanzado disminuciones de hasta un 61% en el mes de Julio para el periodo de “Mega Sequía”.

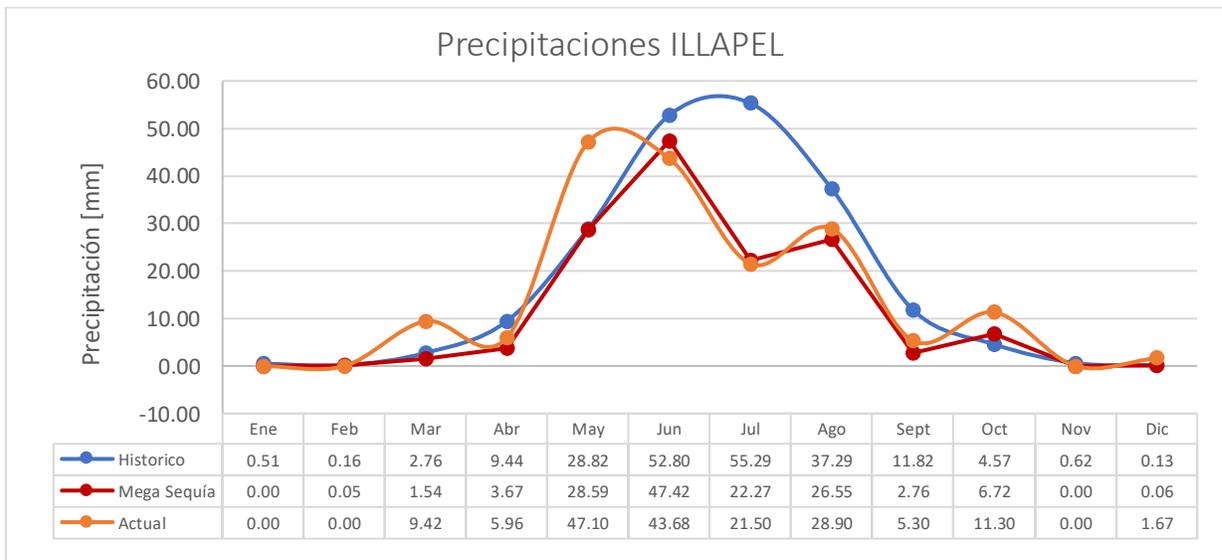


Figura 5.4: Gráfico promedios precipitaciones medias mensuales, comuna de Illapel.

De la se advierte una marcada disminución de las precipitaciones en los meses de invierno (junio – setiembre) para los últimos 10 años, alcanzando un déficit de hasta un 63% en el mes de julio. Además, en la curva del periodo “Actual” existe una variación en la estacionalidad de las lluvias, donde el peak anual se traslada hacia el mes de mayo, de manera que aumenta la disponibilidad de agua en un 58% con respecto al “Histórico” de este mes.

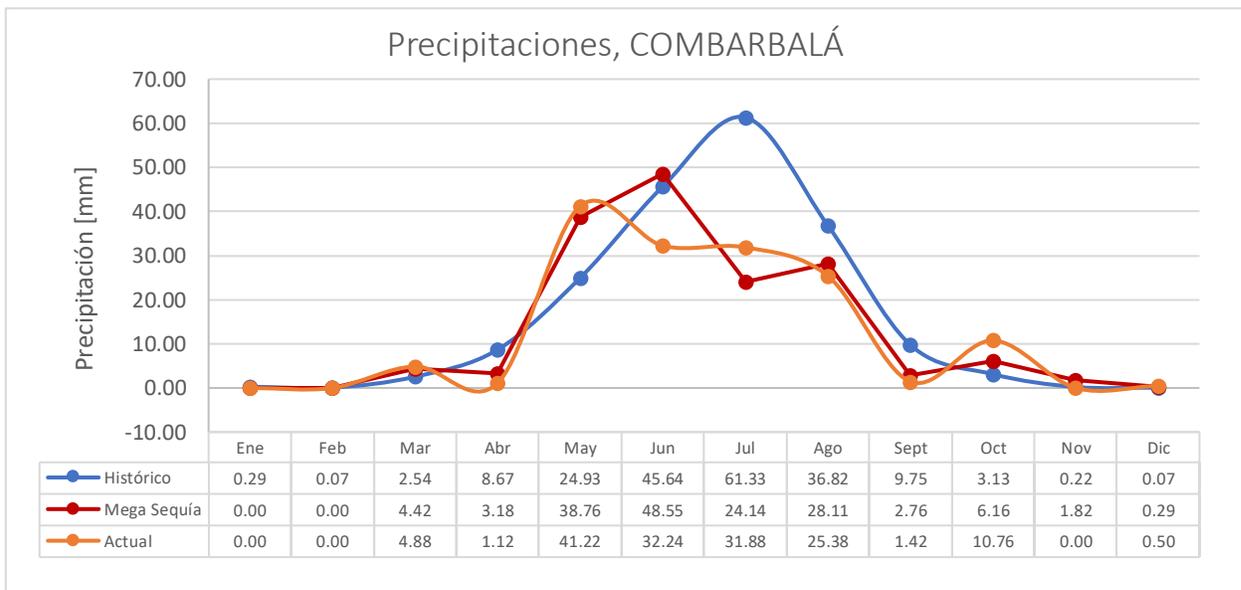


Figura 5.5: Gráfico promedios precipitaciones medias mensuales, comuna de Combarbalá.

De la se observa que las precipitaciones presentan un comportamiento variado entre periodos, en general. En el mes de Julio, se advierte una disminución de las lluvias durante la “Mega Sequía” y el periodo “Actual” en comparación con el promedio “Histórico”, para la primera definición el déficit alcanza un valor de hasta un 64%, mientras que la disminución máxima para la etapa “Actual” alcanza un valor de hasta un 47% para el mes de Julio en ambos casos.

Además, en la curva del periodo “Actual” se distingue una variación en la estacionalidad de las lluvias, donde el peak anual se traslada hacia el mes de mayo, de manera que aumenta la disponibilidad de agua en un 80% con respecto al “Histórico” de este mes. De igual manera se ve un aumento de las lluvias durante la “Mega Sequía”, si bien no es tan marcado, el aumento es de un 48%.

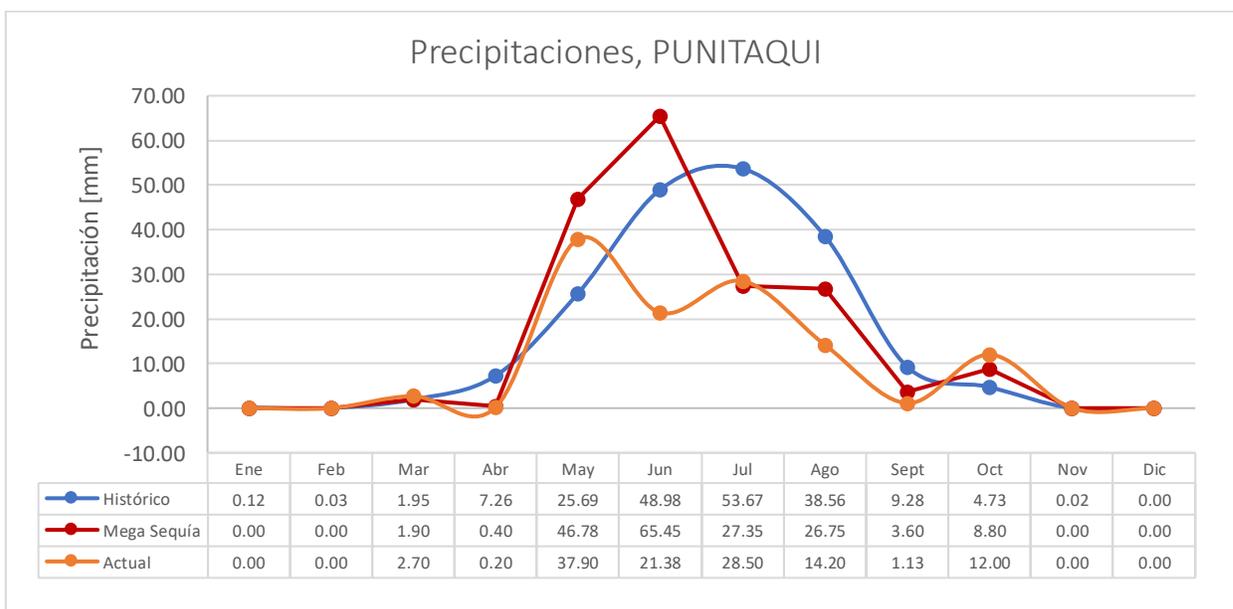


Figura 5.6: Gráfico promedios precipitaciones medias mensuales, comuna de Punitaqui.

De la , se aprecia una preocupante disminución de las lluvias para el periodo “Actual” entre los meses de mayo y septiembre, años 2015 -2019, en relación con el “Histórico” de la comuna, alcanzando un déficit del 73% para el mes de julio (mes donde se registra el peak de mm de agua caída) y un déficit máximo del 82% para el mes de agosto.

En el mismo contexto, para el periodo de “Mega Sequia” se registra una disminución de la precipitación de un 57% para el mes de julio.

Junto con la baja en las precipitaciones, se observa un cambio en el mes pico de lluvias, trasladándose al mes de junio para el periodo de “Mega Sequia”, y hacia el mes de mayo en el periodo “Actual”.

b) Conclusiones Generales.

El peak histórico de agua caída ocurre en el mes de julio, existe un desplazamiento de este pico hacia el mes de mayo, en las comunas ubicadas en la cuenca del Limarí. Además, las gráficas de la comuna de Combarbalá y Punitaqui presentan una marcada disminución en las precipitaciones siendo afectadas por el fenómeno del cambio climático, llegando a registrar un déficit de entre un 45-73%, lo que se traduce en una disminución de hasta 39 mm en el mes de julio.

5.2.2 Registro de Caudales.

De igual manera en esta sección, se detallan los datos obtenidos del monitoreo de las estaciones Fluviométricas de la DGA para los caudales medios mensuales de los cauces correspondientes para cada comuna. Además, se realiza un breve análisis de variabilidad para cada una de las comunas. Es importante mencionar que la comuna de Punitaqui no cuenta con estaciones fluviométricas por lo que no hay registro de caudales para esta comuna. Los datos expuestos fueron extraídos del sitio web de la DGA descarga de datos en línea (Dirección General de Aguas , 2020).

Finalmente, se presentan algunas conclusiones generales de los resultados obtenidos.

a) Gráficos de Caudales.

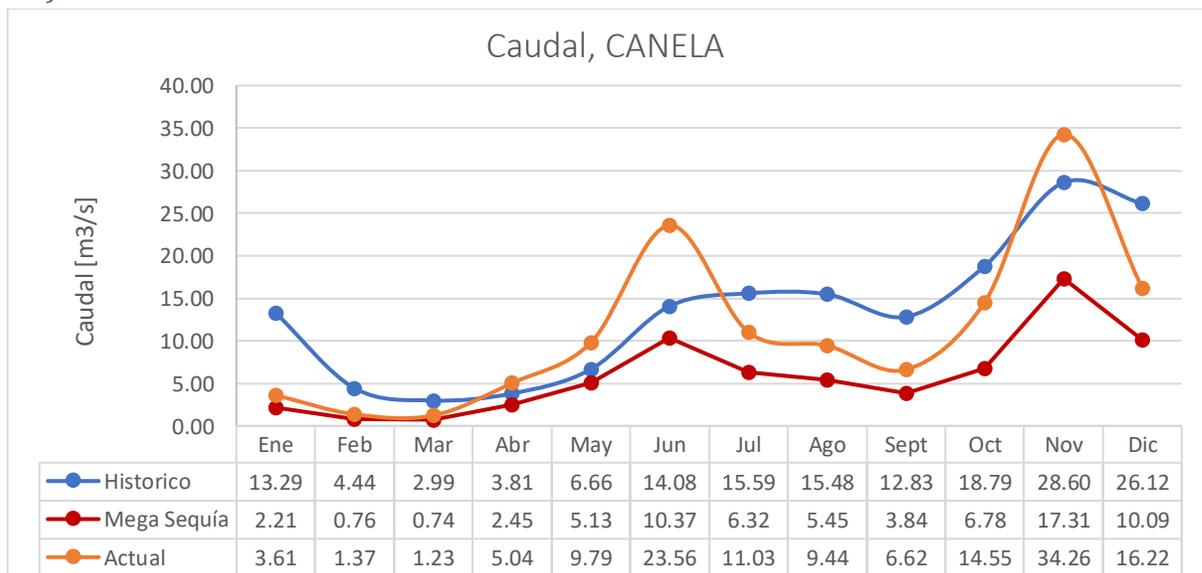


Figura 5.7: Gráfico promedios caudales medios mensuales, comuna de Canela.

De la Figura 5.7, se desprende que la comuna posee un régimen de alimentación pluvionival, donde los peaks en caudales ocurren en junio y noviembre, el primer peak debido a las precipitaciones por lluvias, y el segundo por el derretimiento de nieve.

En cuanto a la variabilidad de los caudales, se ve un aumento en el agua registrada durante los meses picos (junio y noviembre) en el periodo “Actual”, además, en el mismo ciclo existe una disminución en el resto de los meses en comparación con el “Histórico”. Igualmente, se presenta un déficit para el periodo de “Mega Sequia”, alcanzando una diferencia de hasta 70% con respecto al “Historico” de los registros del mes de septiembre.

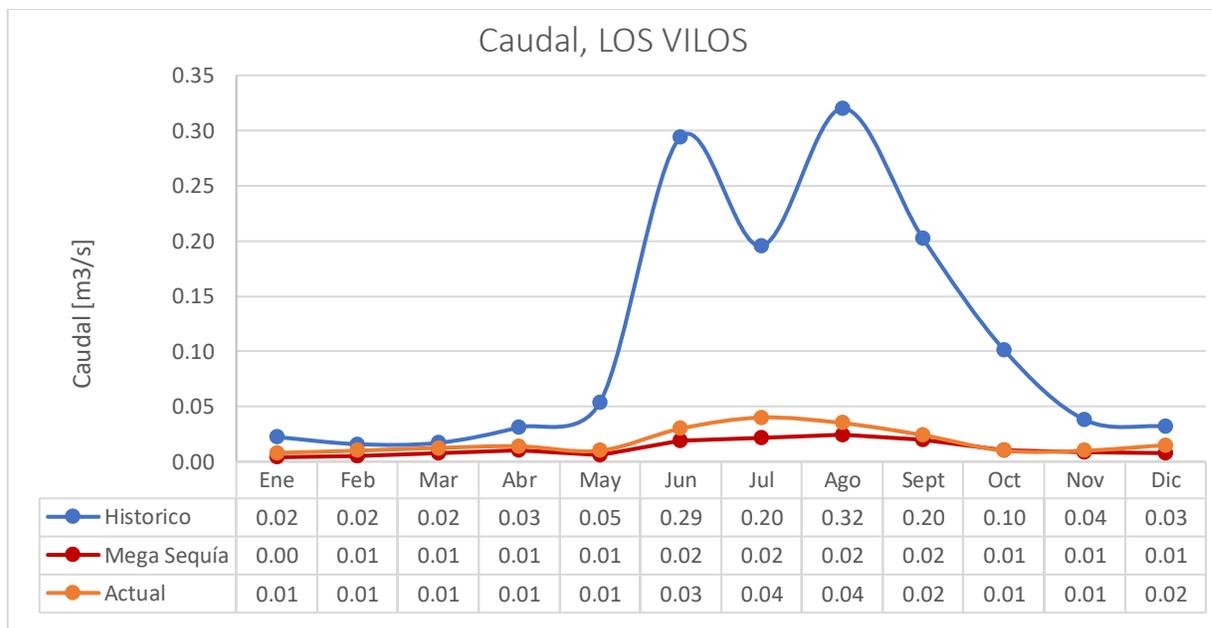


Figura 5.8: Gráfico promedios caudales medios mensuales, comuna de Los Vilos.

De la , se infiere que la comuna tiene un régimen pluvial, ya que existe un aumento en los caudales durante la época de lluvias, periodo entre junio y agosto, lo que es concordante con la ubicación de la comuna, en la zona costera del territorio. Por otra parte, se observa un descenso drástico en los aportes para los últimos 10 y 5 años entre los meses de mayo y noviembre, alcanzando un déficit mínimo del 55 % para el mes de abril y un déficit máximo del 94% para el mes de junio, para el periodo de “Mega Sequía” y “Actual”.

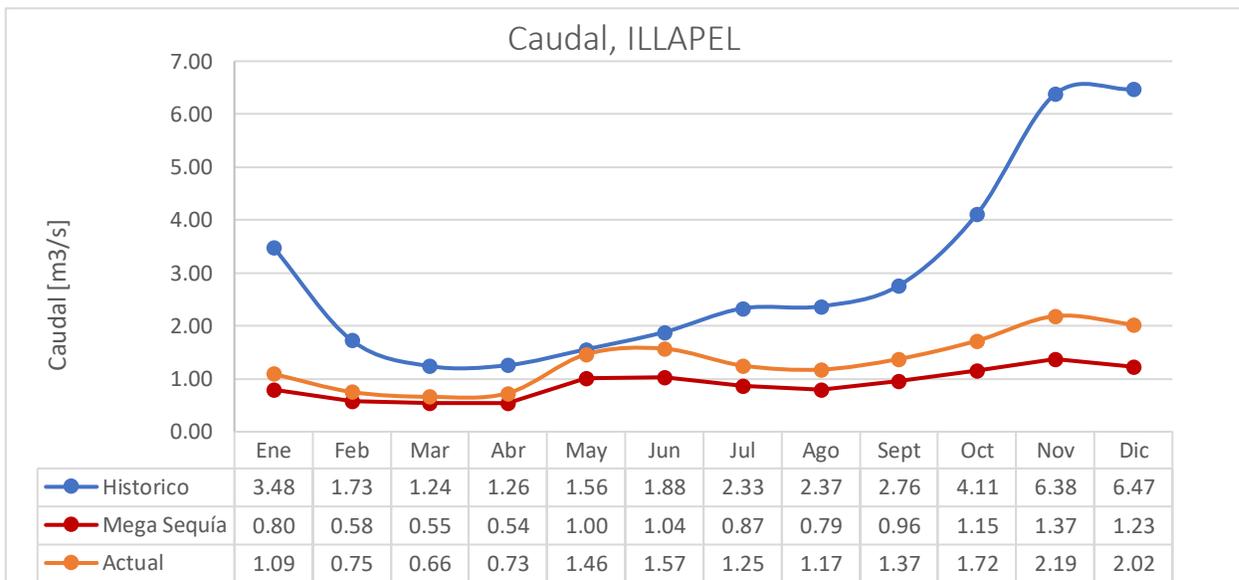


Figura 5.9: Gráfico promedios caudales medios mensuales, comuna de Illapel.

De la Figura 5.9, se observa que para la comuna de Illapel los aportes más importantes suceden en los meses de primavera, lo que alude a un régimen de alimentación del tipo nival, donde los deshielos producen las mayores contribuciones hacia los ríos y esteros, lo cual es concordante con una comuna ubicada en el sector cordillerano del país. Sin embargo, los registros acusan una disminución importante en los últimos 10 años con respecto al “Histórico”, alcanzando un déficit del 81% para el mes de diciembre en el periodo de “Mega Sequía”, y un déficit del 69% durante los meses de diciembre y enero en el período “Actual”.

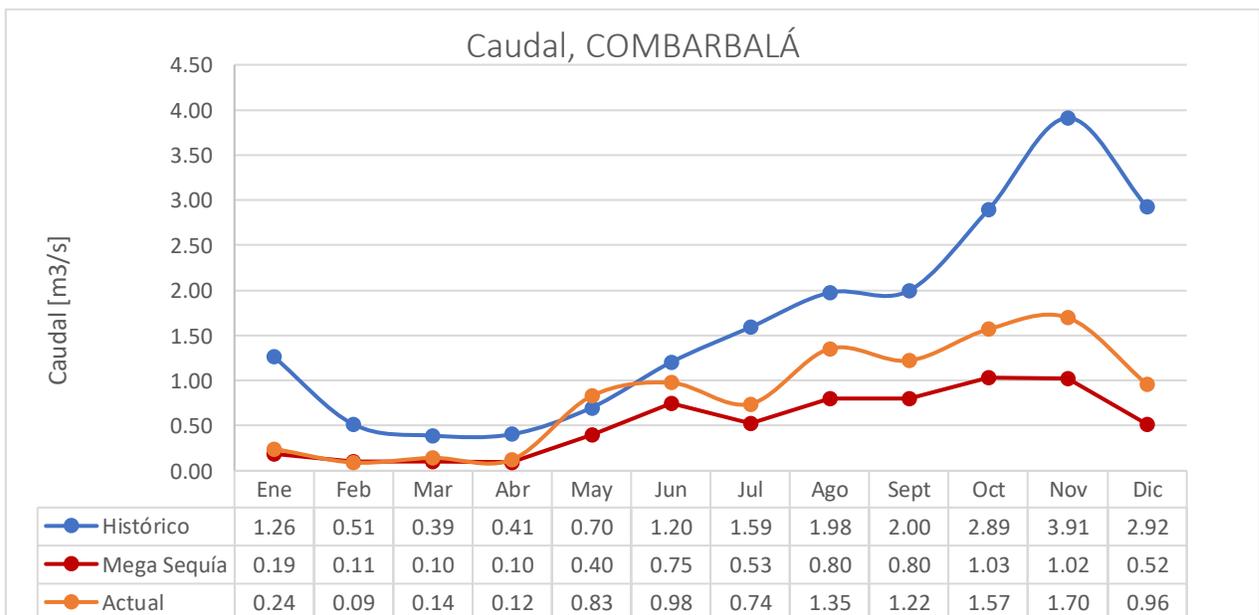


Figura 5.10: Gráfico promedios caudales medios mensuales, comuna de Combarbalá.

De la Figura 5.10 , se aprecia un régimen principalmente nival, donde la contribución por deshielos se destaca en los meses de octubre, noviembre y diciembre. Sin embargo, se observa un descenso drástico en los aportes para los últimos años entre los meses de julio y enero, alcanzando un déficit del 74% para el mes de noviembre en los años de “Mega Sequía”, y un déficit del 67% en el mes de diciembre para los años comprendidos en el periodo “Actual”.

b) Conclusiones Generales.

Se observa que las comunas ubicadas en la zona pre y cordillerana tienen un régimen natural nival, donde los caudales de los ríos y esteros tienen una mayor copiosidad en los meses de primavera, mientras que, para las comunas costeras, el régimen natural de los cauces es de carácter pluvial, siendo la caída de lluvias el principal aporte a los cuerpos de agua, lo cual ocurre en los meses de invierno.

De las figuras obtenidas resulta interesante analizar la diferencia de caudales entre las comunas, dado que, pese a que se ubican en una misma división geográfica, el comportamiento de sus ríos y esteros difiere entre una y otra, observándose que ciertas comunas son más afectadas por la falta de agua natural que otras. Para el análisis se estima pertinente estudiar el comportamiento de los ríos para periodo de “Mega Sequía”, ya que presenta la información de los últimos 10 años, que podría representar el comportamiento que se tengan los próximos años.

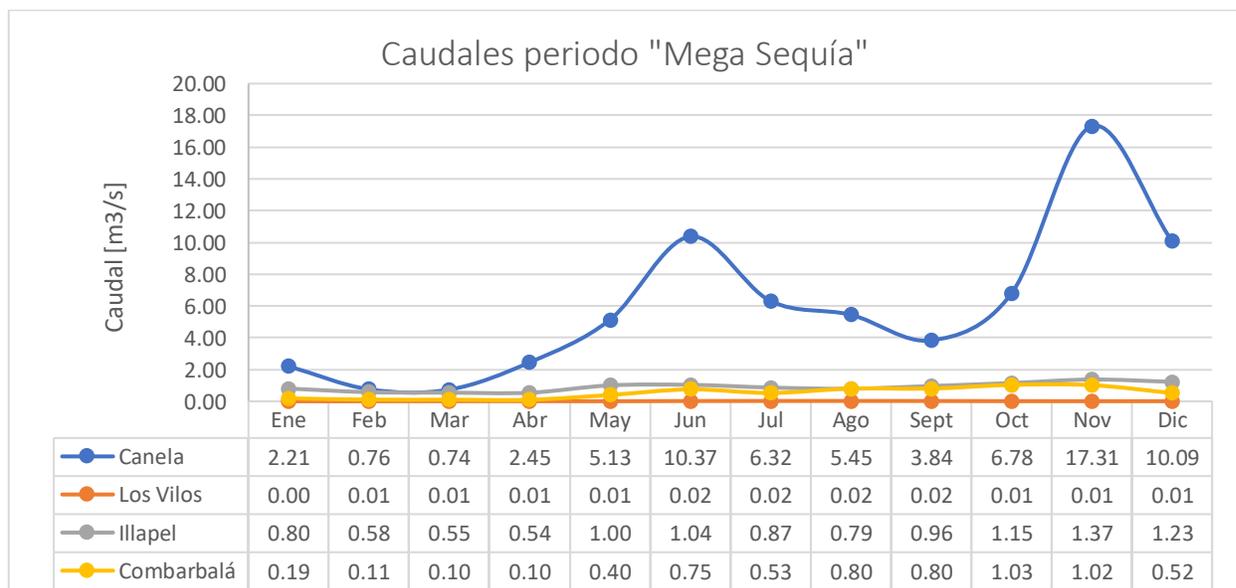


Figura 5.11: Gráfico promedios caudales medios mensuales de las cuatro comunas, para el periodo de “Mega Sequía”.

En la se observa que las comunas presentan caudales escasos para el periodo de “Mega Sequía”, a excepción de la comuna de Canela que recibe los aportes hídricos de los ríos Illapel y Choapa, durante los meses de lluvia y deshielos.

En general, de los gráficos se observa que los caudales promedios medios mensuales durante el periodo de “mega sequía” y “actual” tienen valores inferiores a los medidos en el periodo “histórico” para los meses julio en adelante, lo que se puede deber a:

- Una disminución real y efectiva en el agua caída,
- Una influencia antropogénica que se debe a las obras construidas en las zonas o cuencas involucradas,
- A los derechos de agua otorgados en los ríos (extracciones nuevas que antes no existían),
- Además, se debe considerar la extensión de los datos considerados en cuanto a los años de información incorporados en cada periodo.

Posibles factores que se traducen en un descenso de los caudales entre un 23% en el mes de mayo y un 94% durante el mes de junio.

Debido al factor antropogénico se resuelve realizar un estudio simple de la influencia que podrían tener las distintas obras hidráulicas ubicadas en la zona de estudio sobre el comportamiento de los caudales que son medidos por las estaciones fluviométricas. En la figura 32, se muestran los embalses junto con las estaciones en las comunas estudiadas.

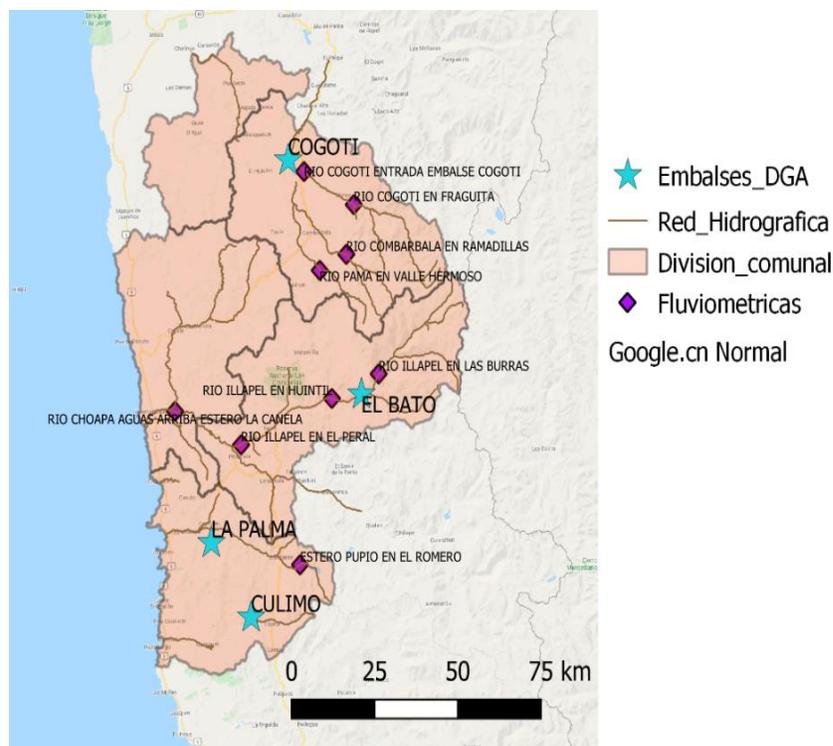


Figura 5.12: Mapa geográfico de la ubicación de los embalses y estaciones fluviométricas. (Ministerio de Bienes Nacionales IDE Chile, 2016)

De la imagen se observa que el embalse “El Bato” es la única obra que tiene influencia sobre el caudal pasante de 3 estaciones, las que son: “Río Illapel en Huntill”, “Río Illapel en el Peral” y “Río Choapa aguas arriba Estero La Canela”, afectando los caudales asociados a la comuna de Illapel y por la geografía de la cuenca la comuna de Canela.

5.3 Infraestructura Existente para Agua Potable.

Hasta el momento en el desarrollo de este estudio se tiene información sobre el número de viviendas con determinados accesos a agua potable por red, y la cantidad de viviendas sin acceso a la red en cada una de las comunas. Con ello además se conoce el número de habitantes afectados por no tener acceso a la red de agua potable; sin embargo, dadas las condiciones de sequía que han disminuido la oferta de agua a nivel nacional es importante conocer el estado en el que se encuentran las obras de abastecimiento que distribuyen el recurso.

Entonces siguiendo con la línea del análisis, en el presente subcapítulo se presenta la infraestructura disponible para almacenamiento y distribución de agua potable, para lo cual se realiza un catastro de las obras de embalsamiento de agua, junto con investigar las empresas sanitarias ubicadas en las comunas seleccionadas y los sistemas de Agua Potable Rural.

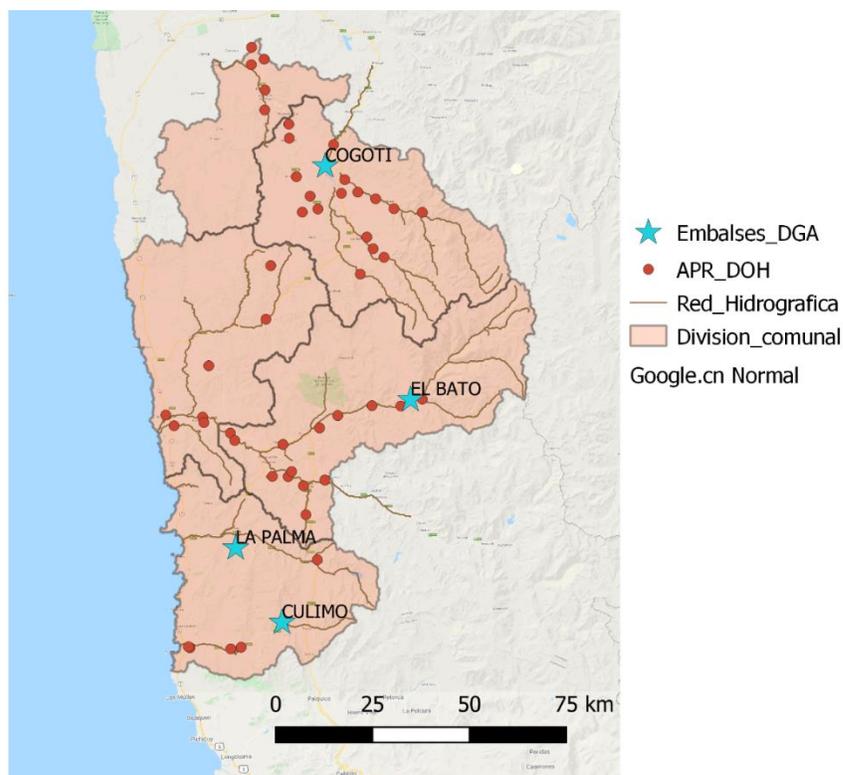


Figura 5.13: Mapa geográfico de la ubicación de los embalses y sistemas APR. (Ministerio de Bienes Nacionales IDE Chile, 2016)

5.3.1 Embalses.

Si bien los embalses construidos en estas comunas fueron diseñados para abastecer de agua a la zona agraria (riego), se estima que es posible utilizar el agua almacenada también para abastecimiento de agua potable en situaciones que así lo requieran.

La capacidad total regulada en el área en estudio es de aproximadamente 12.000 Hm³. La tabla siguiente caracteriza cada uno de los embalses, identificando la superficie agrícola beneficiada y la capacidad almacenamiento de la obra, entre otras.

Tabla 5.5: Descripción de las obras de embalse en la zona de estudio.

Embalse	Comuna	Volumen [Hm³]	H [m]	Riego [ha]	Año Construcción
Cogotí	Combarbalá	156	87,7	+6.000	1934-1939
El Bato	Illapel	25,61	57	4.145	2007-2010
Culimo	Los Vilos	10	36	414	1929-1933
Valle Hermoso	Combarbalá	20,13	109	1.500	2015-2019

(Dirección de Obras Hidráulicas, Coquimbo, 2020)

Particularmente, el embalse Valle Hermoso ubicado en la comuna de Combarbalá, fue diseñado y construido no solo para asegurar el riego en la comuna, sino que esta obra también ayuda al suministro de agua potable para el consumo humano, ya que se estima que sustente el abastecimiento de 17 sistemas de Agua Potable Rural (APR) existentes en su zona de influencia, con lo que se beneficia a unas 2670 personas (Paleo, 2017).

Por otra parte, es de suma importancia conocer la disponibilidad de agua con la que cuenta anualmente cada una de estas obras, es por ello que se busca en los registros entregados por la DGA específicamente en los informes denominados “Boletín de Embalses”, los que son emitidos una vez al mes. En estos archivos es posible encontrar el seguimiento del nivel alcanzado mensualmente en tres de los cuatro embalses señalados, estos son; Cogotí, El Bato y Culimo. Para el presente estudio es pertinente conocer el nivel de almacenamiento alcanzado anualmente, por lo que se exponen la data obtenida desde el año 2010 hasta el 2019 del promedio anual de embalsamiento de cada obra.

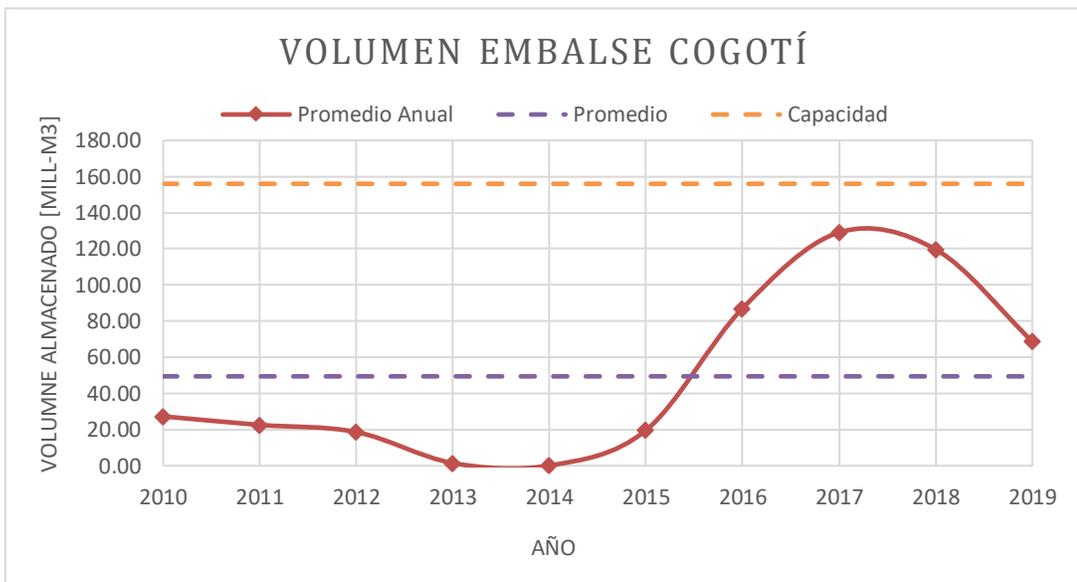


Figura 5.14: Gráfico comportamiento del volumen almacenado en el embalse Cogotí.
Fuente datos: (Dirección General de Aguas, 2019)

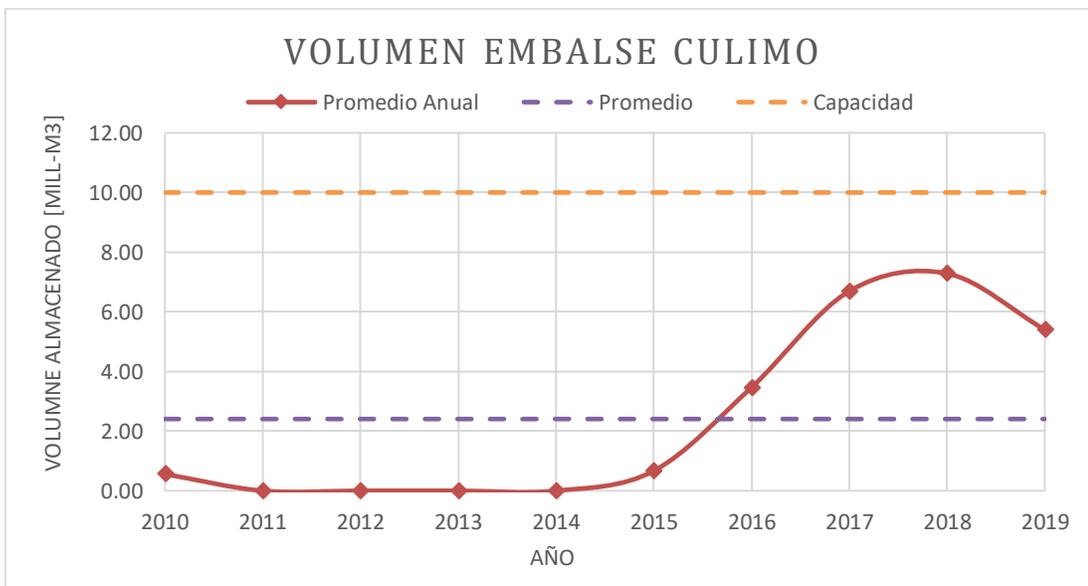


Figura 5.15: Gráfico comportamiento del volumen almacenado en el embalse Culimo.
Fuente datos: (Dirección General de Aguas, 2019)

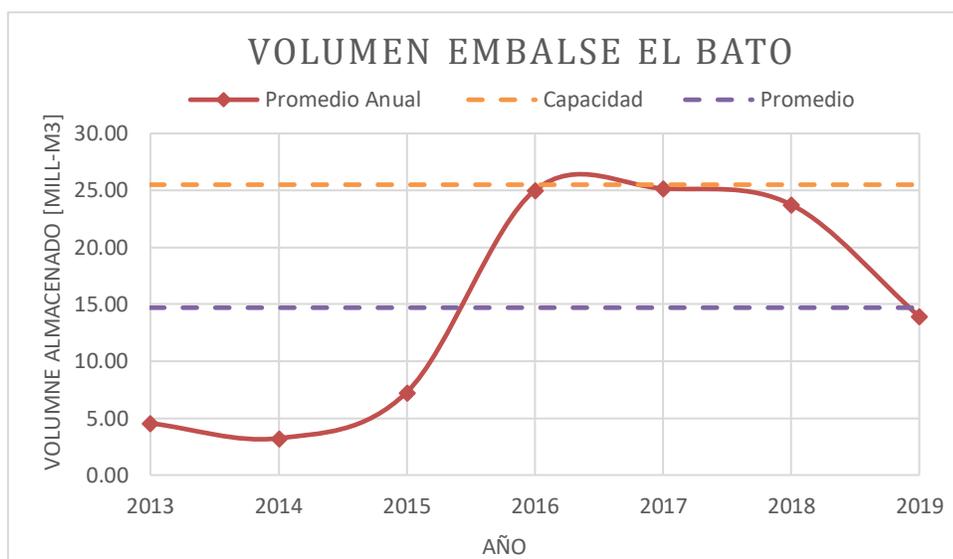


Figura 5.16: Gráfico comportamiento del volumen almacenado en el embalse El Bato.
Fuente datos: (Dirección General de Aguas, 2019)

De las gráficas presentadas se observa que el volumen embalsado durante los últimos 3 años ha sido mayor a los promedios de la última década, lo cual es un indicador de que pese al déficit de lluvias o a la disminución de los caudales, las obras mantienen un nivel de agua cuantioso, y que es necesario aprovechar en las actividades donde se requiera el suministro permanente del recurso.

5.3.2 Sistemas de Agua Potable Rural (APRs).

Dado que una parte importante de la población de estas comunas reside en zonas rurales, existe una gran cantidad de APRs. Es importante cuantificar y ubicar estas obras, ya que, si bien abastecen de agua a las personas, no aseguran un suministro permanente durante el año, y en situaciones de sequía muchos de estos no tienen los niveles óptimos de agua para poder repartirla a los vecinos, más aun, algunos se encuentran vacíos en un 100% y las comunidades tienen que recurrir a otros medios para conseguir el agua.

A continuación, se presentan los sistemas ubicados en las comunas en estudio indicando el total de beneficiarios que posee cada sistema. Sin embargo, de acuerdo con la investigación realizada la DOH no cuenta con la información sobre la operatividad de estos sistemas, es decir, cómo han variado los niveles de las napas subterráneas, consumos, etc. Indican que esa información la posee el comité que opera el sistema; por lo cual resulta importante comunicarse con ellos, con cada uno de dichos sistemas.

Tabla 5.6: Detalle del número de sistemas de agua potable rural por comuna, y beneficiarios.

Comuna	Nombre Servicio	Año puesta en marcha	Beneficiarios/as 2018
CANELA	BARRIO ALTO	2014	407
	CARQUINDAÑO	2010	103
	HUENTELAUQUÉN NORTE (HUENTEALUC	1978	1932
	HUENTELAUQUÉN SUR (HUENTELAUQUÉ	1993	620
	LOS POZOS	2001	174
	LOS RULOS	2004	227
	MINCHA NORTE	1977	658
	MINCHA SUR	1983	459
COMBARBALÁ	COGOTÍ 18 (COGOTÍ-LOS CALLEJONES-LC	1990	1445
	EL DURAZNO	2010	214
	EL HUACHO (EL GUACHO)	1991	320
	EL SAUCE	1988	425
	LA CANTERA	2008	165
	LA CAPILLA	1993	100
	LA COLORADA	2012	233
	LA ISLA	1990	462
	LA LIGUA DE COGOTÍ	1980	999
	LAS BARRANCAS-EL CHINEO (LAS BARRAI	1990	803
	MANQUEHUA (MANQUEGUA)	1983	555
	MEDIA LUNA	2008	112
	PAMA ARRIBA (SUEÑO CUMPLIDO)	2014	159
	QUILITAPIA	1984	989
RAMADILLA (LA PLAYA)	1993	329	
SAN MARCOS (SAN MARCOS NUEVO-SAN	1990	1240	
SORUCO	1999	307	
	VALLE HERMOSO	1996	354
ILLAPEL	CÁRCAMO-LA COLONIA (CÁRCAMO-LA C	1979	961
	EL MAITEN	2010	450
	HUINTIL	2001	500
	LA CAPILLA	2012	202
	LAS CAÑAS DOS (LAS CAÑAS DOS-CHOAF	1998	769
	LAS CAÑAS UNO (LAS CAÑAS UNO-CANEI	1998	1172
	LAS COCINERAS	2010	217
	LIMÁHUIDA	1999	382
	PERALILLO	1997	434
	PINTACURA SUR	2008	289
	SANTA VIRGINIA	2005	267
	SOCAVÓN	2001	534
	TUNGA NORTE	1983	146
	TUNGA SUR	1987	326
LOS VILOS	CAIMANES	1972	1070
	EL ESFUERZO (SECTOR ALTO PICHIDANGI	1985	2738
	GUANGUALÍ	1996	651
	LOS CÓNDORES	1997	261
	QUILIMARÍ	1967	4650
	EL MANZANO	2015	140
	LOS MAQUIS	2018	245
PUNITAQUI	EL HINOJO	2010	329
	GRANEROS	1985	261
	LA GRANJITA-MORRO ALEGRE (LA GRAN	2008	394
	LA HIGUERA DE PUNITAQUI (LA HIGUERA	1999	555
	LA SILLETA-LAS TURQUEZAS (LA SILLETA-	2007	490
	LAS RAMADAS DE PUNITAQUI (LAS RAM	1997	1147

(Ministerio de Obras Públicas, 2018).

Tabla 5.7: Resumen de sistemas APRs y beneficiarios del servicio.

Comuna	Nº de APRs	Nº beneficiarios/as	% total de habitantes
Illapel	14	6.649	22%
Canela	8	4.580	50 %
Los Vilos	9	9.755	46%
Combarbalá	18	9.211	69%
Punitaqui	6	3.176	29%

Fuente datos Censo 2017 y DOH 2018.

Por otra parte, la información precisa sobre cómo han operado, y cuál es el estado de situación de cada APR la darán los dirigentes o encargados de cada APR y, a través de ellos se conocerá si efectivamente existen o no sistemas “colgados”, además de verificar la información disponible y procesada hasta ahora. Como “colgado”, se entiende un sistema de APR cuya fuente son las napas subterráneas y en cuyo caso su nivel de agua ha descendido tanto que el pozo profundo, o noria, construido queda por sobre ese nivel de aguas subterráneas.

Para esta labor se realizó un estudio de grupo con los presidentes, secretarios(as) y/o dirigentes de los comités de agua potable rural, donde se contactaron a 23 personas de las directivas quienes muy amablemente accedieron a compartir información técnica sobre los sistemas de APR bajo su supervisión. Cabe mencionar, que las entrevistas se realizaron vía telefónica, dado el contexto actual del país y el mundo, sin poder confirmar física y presencialmente la información proporcionada.

Tabla 5.8: Características operativas de sistemas APR de la comuna de Punitaqui.

Nombre Comité	Fuente	Nº de Fuentes	Profundidad [m]	Nº de Arranques	Volumen Acopio [m3]	Consumo Prom. [m3/día/sistema]	Variabilidad Estacional
Graneros	Pozo	2	80	100	S/I	17.5	S/I
La Silleta	Aguas del Valle	N/A	N/A	160	S/I	40	Sin variación
La Higuera	Norias	3	12; 14	204	S/I	S/I	Apoyo con aljibes

*N/A: Dadas las condiciones de la fuente, No Aplica.

*S/I: Sin Información.

Tabla 5.9: Características operativas de sistemas APR de la comuna de Combarbalá.

Nombre Comité	Fuente	Nº de Fuentes	Profundidad [m]	Nº de Arranques	Volumen Acopio [m3]	Consumo Prom. [m3/día/sistema]	Variabilidad Estacional
La Ligua de Cogotí	Norias	3	9	355	75	S/I	Apoyo con aljibes
El Durazno	Norias	1	7	72	50	0.5	Sin variación
La Capilla	Aguas del Valle	N/A	N/A	36	10	7.7	Sin variación
Media Luna	Norias	2	12	62	12	11	Apoyo con aljibes
Quilitapia	Pozo; 2 norias	3	36; 12x2	360	90	160	S/I
San Marcos	Noria; pozo; vertiente	3	15; 60; 4	430	215	S/I	Sin variación
El Sauce	2 norias; 1 pozo	3	12x2; 50	139	50	12	Apoyo con aljibes
Valle Hermoso	2 pozos; 1 noria	3	12; 24x2	115	20	S/I	Apoyo con aljibes

*N/A: Dadas las condiciones de la fuente, No Aplica.

*S/I: Sin Información.

Tabla 5.10: Características operativas de sistemas APR de la comuna de Los Vilos.

Nombre Comité	Fuente	Nº de Fuentes	Profundidad [m]	Nº de Arranques	Volumen Acopio [m3]	Consumo Prom. [m3/día/sistema]	Variabilidad Estacional
Los Córdoros	Norias	3	19; 14; 7	84	20	40	Sin variación
Caimanes	Noria; pozos	1 + 4	12; 28 -74	365	100	240	Sin variación
El Esfuerzo	Pozo	2	45	1200	525	400	Sin variación

Tabla 5.11: Características operativas de sistemas APR de la comuna de Illapel.

Nombre Comité	Fuente	Nº de Fuentes	Profundidad [m]	Nº de Arranques	Volumen Acopio [m3]	Consumo Prom. [m3/día/sistema]	Variabilidad Estacional
Cárcamo	Pozo	2	54; 26	S/I	70	0.5	Sin variación
El Maitén	Aguas del Valle	N/A	N/A	148	25	0.6	Sin variación
Tunga Norte	Pozo	2	28; 60	S/I	30	S/I	Sin variación
Peralillo	Pozo	1	80	153	25	40	Sin variación
Cañas Uno	Pozo	2	17; 25	467	340	150	Sin variación
Socavón	Pozo	2	12; 8	169	40	2	Apoyo con aljibes

*N/A: Dadas las condiciones de la fuente, No Aplica.

*S/I: Sin Información.

Tabla 5.12: Características operativas de sistemas APR de la comuna de Canela.

Nombre Comité	Fuente	Nº de Fuentes	Profundidad [m]	Nº de Arranques	Volumen Acopio [m3]	Consumo Prom. [m3/día/sistema]	Variabilidad Estacional
Mincha Sur	Pozo	1	28	160	40	20	Sin variación
Huentelauquen Norte	Pozo; noria	2	42; 11.5	220	50	0.5	Apoyo APR
Los Pozos	Pozo	2	10; 14	57	20	16.7	Sin variación

De los testimonios recopilados se logra evidenciar algunas de las ventajas de los sistemas de agua potable rural, las que se presentan a continuación:

- ➔ En primer lugar, y por, sobre todo, los sistemas rurales resuelven problemas de abastecimiento locales y puntuales, donde es difícil ubicar una planta de tratamiento como tal, dada la geografía de las zonas.
- ➔ Los sistemas son administrados por la propia comunidad, por lo que la organización y las prioridades se adecuan a cada localidad.
- ➔ Existen algunos que por su estratégica ubicación han mantenido un abastecimiento del recurso constante y permanente, a pesar de la sequía y escasez hídrica que afecta la zona norte. Otra variable que le da continuidad al suministro de agua es, la profundidad del pozo, obras con una profundidad de entre 50 -80 metros, los vecinos relatan que no tienen problemas para extraer el agua durante todo el año.
- ➔ Ampliaciones de los sistemas permiten resolver problemas de abastecimiento.

Sin embargo, los sistemas APR presentan múltiples desventajas, que en los últimos 10 años se han traducido en dificultades para suministrar agua a los habitantes de las zonas rurales, quienes compartieron sus experiencias.

- ➔ El abastecimiento de agua no es permanente y continuo, puesto que el suministro está sujeto a la disponibilidad hídrica de las napas subterráneas desde donde se extrae el recurso.
- ➔ Los vecinos denuncian una falta de supervisión por parte de organismos gubernamentales como la DOH.
- ➔ Los sistemas APRs no siempre disponen de las servidumbres necesarias para los terrenos donde se ubican las instalaciones, lo que le da inseguridad al sistema y su operación. La falta de servidumbres, además, ha afectado planes de mejoramiento de los sistemas, impidiendo que se lleven a cabo.
- ➔ Tecnificación del riego también ha producido un descenso en el nivel de las napas durante la temporada de verano, ya que, al optimizar el uso de agua disminuyen las infiltraciones hacia las napas subterráneas.
- ➔ Actualmente los sistemas de abastecimiento de agua potable rural no llegan a cubrir las localidades por completo, debido a la gran dispersión de las viviendas en zonas rurales. Junto con ello algunos dirigentes comentaron que no existe un plan regulador que de ordenamiento a las nuevas construcciones habitacionales.

5.3.3 Empresas Concesionarias para el Abastecimiento de Agua Potable.

El rol de las empresas concesionarias en esta parte del país es importante, porque de alguna manera ellas si logran dar continuidad al abastecimiento del agua, principalmente en las zonas urbanas o de mayor concentración de habitantes. Particularmente en la IV región la empresa Aguas del Valle es la encargada de suministrar el agua potable en las localidades, la cual cuenta con concesión en las cinco comunas estudiadas.

En el estudio censario del año 2017 se define como red pública, al “sistema de distribución de agua potable por cañería provisto por una compañía de agua potable, cooperativa, comunidad o sistema de agua potable rural”. Bajo esta premisa, y con los datos obtenidos del mismo estudio, es posible obtener el número de habitantes que son provistos de agua potable mediante un sistema redes, asociado a la empresa concesionaria.

Tabla 5.13: Habitantes conectados a la red pública, y número de beneficiarios por concesión.

Comuna	Habitantes conectados a red pública	Beneficiarios/as por APR	Beneficiarios/as por Concesión
Illapel	26.823	6.649	20174
Canela	5.131	4.580	551
Los Vilos	18.646	9.755	8891
Combarbalá	10.084	9.211	873
Punitaqui	7.320	3.176	4144

Fuente datos, Censo 2017 y DOH 2018.

En base a los registros de la Superintendencia de Servicios Sanitarios la empresa Aguas del Valle entrega una dotación promedio de 164,7 [l/hab/día] a sus usuarios. Este valor es particular para el año 2017 (Super Intendencia de Servicios Sanitarios, 2017).

5.4 Número de Habitantes Sin Acceso a Red.

Parte fundamental del presente capítulo es determinar la cantidad en m³ de agua potable que requieren las comunas seleccionadas para asegurar el abastecimiento. Para ello, se realizan los estudios e investigaciones ya presentados, y con los antecedentes ya disponibles es posible realizar una estimación precisa.

Las tablas que se presentan a continuación muestran los datos de las viviendas que tienen acceso a la red y el número de viviendas que no tienen acceso a la red, y que es el área objetivo de esta investigación. Los datos del Censo entregan información completa sobre el sistema de abastecimiento de agua de las viviendas por comuna, sin embargo, esta información no se extiende a los habitantes, por lo que se debe hacer una estimación aproximada del número de habitantes que no tiene acceso al agua potable mediante distribución por redes. Para ello se estiman los porcentajes de viviendas con y sin acceso a red, para luego calcular los habitantes con y sin acceso a la red en base al número total de habitantes por cada comuna. La Tabla 5.145.14 y Tabla 5.155.15 muestran los datos del Censo y los calculados, respectivamente.

Tabla 5.14: Viviendas particulares conectadas a red pública y viviendas sin acceso a la red.

NOMBRE COMUNA	TOTAL VIVIENDAS PARTICULARES CON MORADORES PRESENTES	VIVIENDAS RED PÚBLICA	Nº VIVIENDAS SIN ACCESO A RED PÚBLICA	% VIVIENDA RED PÚBLICA	% VIVIENDAS SIN ACCESO A RED
CANELA	3.374	1.904	1.470	56	44
COMBARBALÁ	4.843	3.666	1.177	76	24
ILLAPEL	10.101	8.783	1.318	87	13
LOS VILOS	7.181	6.262	919	87	13
PUNITAQUI	3.724	2.488	1.236	67	33

Fuente datos, Censo 2017

Tabla 5.15: Habitantes con acceso a red pública de agua y habitantes sin acceso a la red.

NOMBRE COMUNA	TOTAL HABITANTES	HABITANTES CONECTADOS A RED PÚBLICA	HABITANTES SIN ACCESO A RED PÚBLICA	% HABITANTES RED PÚBLICA	% HABITANTES SIN ACCESO A RED PÚBLICA
CANELA	9.093	5131	3962	56	44
COMBARBALÁ	13.322	10084	3238	76	24
ILLAPEL	30.848	26823	4025	87	13
LOS VILOS	21.382	18646	2736	87	13
PUNITAQUI	10.956	7320	3636	67	33

Elaboración propia.

Además de las cifras actuales de habitantes que no tienen acceso a la red pública que distribuye agua potable, se considerará un margen de holgura según la tasa de crecimiento poblacional, que para el año 2017 es de un 1,06% a nivel nacional. Proyectando esta cifra a 10 años entonces el 11,12% corresponde al margen que otorga seguridad al proyecto de abastecimiento de agua potable que busca apoyar a los sistemas de APR.

En base a las estimaciones realizadas, en la Tabla 5.16 se muestra el número de habitantes por comuna que requieren de una fuente de agua potable que asegure el suministro.

Tabla 5.16: Número total de habitantes que permitan calcular la demanda de agua potable.

Comuna	Habitantes sin conexión a red pública	Holgura del 11,12%	Total, habitantes sin conexión a red pública
Illapel	4.025	448	4.473
Canela	3.962	441	4.403
Los Vilos	2.736	304	3.040
Combarbalá	3.238	360	3.598
Punitaqui	3.636	404	4.040

Elaboración propia.

Por otra parte, en el capítulo 3.8, en base a la evidencia del consumo y cantidad distribuida de agua potable en la zona norte de Chile, se define una dotación 170 [litros/hab/día] para cubrir la necesidad de agua potable en localidades rurales. Con este dato más el número de habitantes por comuna de la tabla 25, es posible definir la demanda preliminar de agua potable.

Tabla 5.17: Demanda preliminar de agua potable en las comunas analizadas.

Comuna	Total, habitantes sin conexión a red pública	Demanda de agua [m3/día]
Illapel	4.473	760,34
Canela	4.403	748,44
Los Vilos	3.040	516,84
Combarbalá	3.598	611,67
Punitaqui	4.040	686,86

Elaboración propia.

5.5 Determinación de Demanda de Agua Potable por Atender.

Dados los antecedentes recopilados durante la ejecución de este trabajo, se presume que la situación de detrimento del abastecimiento de agua potable es grave porque:

- Existen sectores donde las redes de los concesionarios no cubren poblaciones, viviendas cercanas o aledañas a esas redes, porque estarían fuera del área concesionada o porque no se han realizado las inversiones correspondientes.
- Sistemas de APRs han quedado colgados y no ha habido un franco impulso a profundizar dichos pozos o a estudiar nuevas fuentes para dichas comunidades.
- Las soluciones otorgadas no son suficientes ni reúnen las condiciones sanitarias requeridas, como distribución de agua mediante camiones aljibes. En estos casos además se entregan una cantidad mínima de agua, ni siquiera cercana a la necesaria para otorgar mejores condiciones a las personas.
- Las ayudas en épocas de emergencias agrícolas, o de escasez hídrica, son temporales y no representan una solución definitiva para el problema existente, es decir, son paliativos; sin perjuicio de que se gasta mucho dinero en esto; el cual podría ser destinado a estudios o instalación de infraestructura más permanente.

Considerando que, básicamente, las necesidades más urgentes por atender corresponderían a las personas que no tienen, actualmente, acceso a las redes de agua potable o no están conectadas a ellas, no es posible soslayar los problemas que, mediante la investigación realizada durante este trabajo, se detectaron en terreno; aún sin visitarlo porque ello no fue posible por el contexto de pandemia, sino que fueron detectados a través de las entrevistas telefónicas antes señaladas.

Respecto de esto último resulta difícil medir o cuantificar la necesidad de agua potable que tendrían los sistemas de APRs, algunos o muchos de ellos; porque no fue posible acceder a los registros históricos de abastecimiento de cada sistema; además que, según las consultas realizadas, se constató que la DOH no posee esa información; por lo cual se estima que esta materia podría ser abordada en futuros estudios y análisis.

Aun así, los testimonios hablan de la existencia de diversos problemas, tales como pozos “colgados”, sistemas sin agua propia y que se abastecen mediante camiones aljibes, lo que según este estudio correspondería a lo mismo que no tener acceso a redes; sistemas con abastecimiento

insuficiente porque las fuentes no proveen las mismas dotaciones de agua durante todas las estaciones del año. De esta manera, sobre esta información no precisa; pero que realmente refleja la existencia de problemas, que se traducen en falta de seguridad en el abastecimiento de agua potable por parte de los APRs se estima necesario incluir una demanda de agua potable que atender proveniente de los actuales usuarios de redes de APRs. Esta demanda por atender se estima en un 50%, es decir, se adopta el criterio de incluir, como parte de la población sin acceso a redes de agua potable, al 50% de la población incorporada a los APRs, teniendo en cuenta que esta puede ser una cifra conservadora.

De esta manera la población por atender junto con la demanda de agua se muestra en el cuadro siguiente:

Tabla 5.18: Calculo de la demanda de agua por atender en las comunas analizadas.

Comuna	Habitantes sin conexión a red pública	APR 50%	Población por atender	Demanda de agua [m3/día]
Illapel	4.473	2290	6.763	1149,71
Canela	4.403	4606	9.009	1531,45
Los Vilos	3.040	3325	6.365	1081,97
Combarbalá	3.598	4878	8.476	1440,84
Punitaqui	4.040	1588	5.628	956,76

Elaboración propia.

6 Análisis de Alternativas de Soluciones Técnicas.

Detectadas y seleccionadas las zonas y las poblaciones con déficit de agua potable, se trata de definir las soluciones técnicas, a nivel de ingeniería conceptual, para otorgar seguridad al abastecimiento de agua potable de dichas poblaciones, y por ende, mejorar la calidad de vida de las personas, familias y comunidades que ahí habitan, junto con otorgar cierto margen de holgura en la distribución de agua potable, de manera que puedan regar sus huertos familiares, propios de las viviendas rurales, lo cual contribuye a su subsistencia.

Con lo anterior, en el presente estudio quedan descartadas las alternativas de abastecimiento para riego a nivel predial. Esto porque, además, la política pública implementada hasta ahora ha privilegiado este aspecto, que en definitiva beneficia a los agricultores, propietarios de terrenos agrícolas y tenedores de derechos de agua; en tanto que muchas familias y poblaciones, que no reúnen esas características o que no son propietarios de terrenos agrícolas ni de derechos de agua, han quedado desprovistas del vital elemento.

De esta manera, en el presente capítulo, para la búsqueda de soluciones técnicas a nivel de ingeniería conceptual, se privilegian los aspectos técnicos y no económicos. Esto implica buscar y recomendar soluciones que son factibles de hacer, técnicamente hablando, independiente de su costo de implementación, el que podrá ser estimado a consecuencia de diseños más avanzados y que no son materia de este trabajo; por lo cual no se hará una evaluación de rentabilidad de los proyectos o esquemas de obras aquí recomendados.

Cabe resaltar que la denominación de ingeniería conceptual se da a un diseño de ingeniería sustentado en información general y pública, disponible a través de diversos medios. Se entiende que esta etapa de los diseños es una etapa inicial de un proyecto, a la cual siguen etapas como ingeniería básica y de detalle; para las cuales sí son requeridos, y esenciales, estudios en terreno y otros como: de topografía, geológicos, geotécnicos, hidrológicos, medio ambientales, de interferencias, etc.; todos los cuales contribuyen a sentar las bases técnicas necesarias para materializar o construir un proyecto.

Las soluciones consideradas en los análisis consisten en obras conocidas y que se han desarrollado en Chile, tales como: pozos profundos, embalses, estanques, desalinización de agua de mar, sistemas de bombeo e impulsión de agua, etc.

Sin embargo, lo particular y distintivo de estas propuestas técnicas recae en el tamaño de las obras, que es adecuado a la demanda estimada, que es baja o menor, porque es para localidades de baja población. No se trata de resolver grandes problemas, que típicamente requieren grandes soluciones, sino proponer una solución adecuada a las necesidades actuales de abastecimiento de agua potable rural.

Lo anterior puede ser particularmente atractivo desde el punto de vista ambiental, por ejemplo, por los impactos que podría generar, menores que si se tratara de grandes obras; y también desde el punto de vista de recepción por parte de las comunidades, quienes, se estima, empatizarían con un proyecto que es para directo beneficio de ellos, y no para terceros.

En lo que sigue se presentan ejemplos de alternativas de soluciones técnicas, actualmente empleadas, como: plantas desaladoras de agua de mar; embalses; y otras como sistemas APRs.

6.1 Plantas Desaladoras de Agua de Mar.

Actualmente en Chile existen dos plantas desalinizadoras pertenecientes a las empresas concesionarias, para producción de agua potable a partir de agua de mar, una ubicada en la región de Atacama y la otra en la región de Antofagasta. Ambos proyectos fueron considerados “mejores alternativas” para abastecer de agua potable a las comunidades, en el contexto de la actual crisis hídrica que se vive en las regiones del norte del país. A continuación, se presenta una breve descripción de ambos proyectos, junto con la inversión requerida para su construcción.

a) Planta Desaladora de Agua de Mar para la Región de Atacama.

El proyecto consiste en la extracción de agua de mar para su desalinización en una planta ubicada en la comuna de Caldera, específicamente en el sector de Punta Zorro, para complementar el abastecimiento de agua potable a través de impulsiones a las localidades de Caldera, Chañaral, Copiapó y Tierra Amarilla, las cuales se alimentan actualmente de las aguas extraídas de la cuenca del río Copiapó.

El proyecto se construirá en tres etapas. Se estima alcanzar una capacidad máxima de la planta de 1.200 L/s de agua tratada en la etapa final, con una primera etapa con capacidad total para 450 L/s y una segunda etapa con capacidad total para 900 L/s.

Por otra parte, además de la planta desalinizadora, están las obras de captación de agua de mar, la descarga de salmuera al mar a través de un emisario submarino, las obras de elevación y conducción del agua producida, y las obras anexas correspondientes: alimentación eléctrica, recintos, estanques, plantas elevadoras, etc.

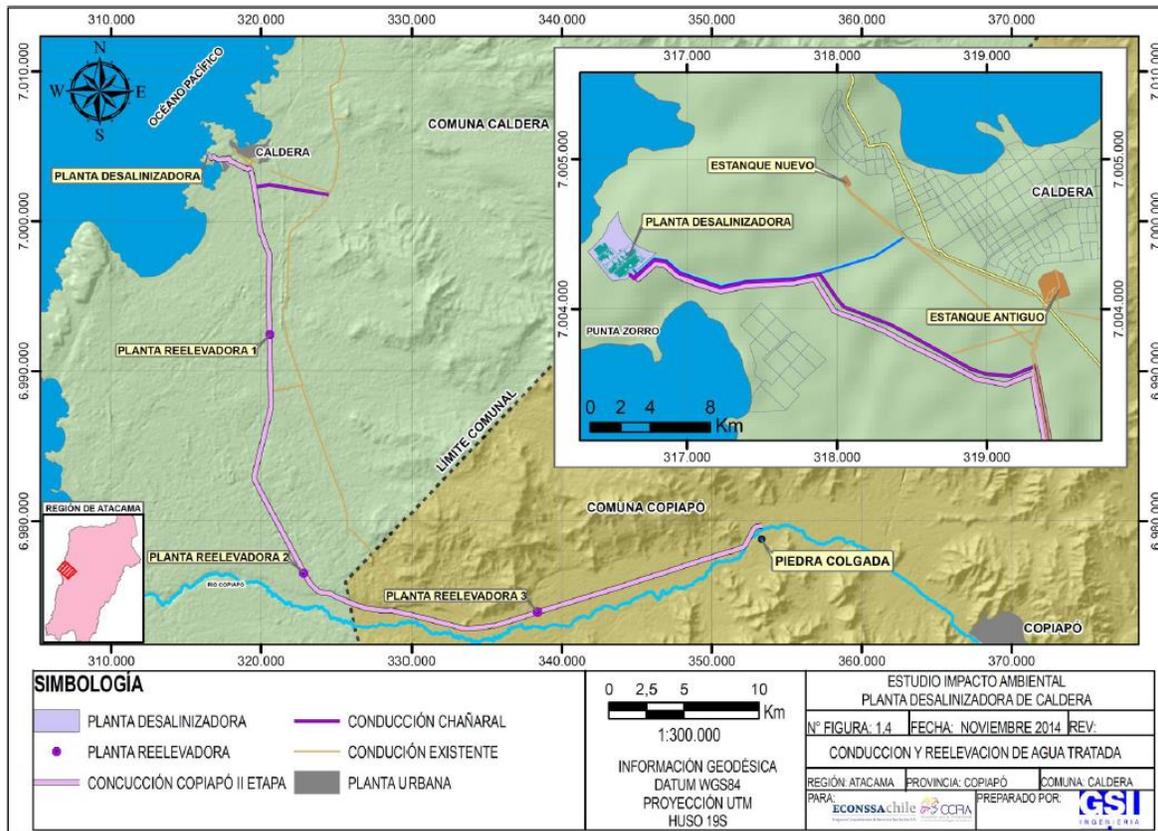


Figura 6.1: Plano desalinizadora provincias de Copiapó y Chañaral.
(Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A, 2014)

Al mismo tiempo, las obras proyectadas serán complementadas con una tubería de conducción existente, operadas por Aguas Chañar, que conecta los estanques y plantas elevadoras de Piedra Colgada con Caldera y Chañaral, y dos estanques de agua potable ubicados en la comuna de Caldera. La utilización de estas obras existentes permite abastecer a la población provocando un menor impacto en el medio ambiente y por otra parte permite una mayor rapidez en la puesta en marcha del proyecto.

Otra característica interesante de este proyecto es que será construida con la inversión conjunta de Aguas Chañar S.A y el apoyo estatal de la Corporación para la Competitividad e Innovación de la Región de Atacama (CCIRA) (Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A, 2014).

Tabla 6.1: Resumen características de proyecto desaladora provincias de Copiapó y Chañaral.

Características	Planta desaladora Copiapó y Chañaral
Nº de habitantes abastecidos	197.837 *
Agua potable producida	1.200 [l/s]
Costo de inversión	USD \$250.000.000
Longitud obra de Conducción	16 y 65 [km]
Fecha ingreso del proyecto	12/2014

*información extraída del Censo 2017, no se especifica en el informe del proyecto.

b) Planta Desaladora de Agua de Mar en la comuna de Tocopilla.

El objetivo general del Proyecto se enmarca en el plan estratégico de Aguas de Antofagasta S.A., que consiste en contar con un sistema de producción de agua potable sustentable en el tiempo para la ciudad de Tocopilla, dada la escasez de recursos hídricos y la proyección de la demanda en la Región de Antofagasta.

Para ello, se proyecta la construcción y operación de una nueva planta desaladora de agua de mar, que abastezca la demanda de la localidad, la que actualmente se satisface con agua proveniente de aguas superficiales de la cordillera, más el aumento estimado de la demanda en un horizonte de 20 años. Lo anterior implica la construcción de obras de captación y descarga de agua de mar, un estanque de almacenamiento de agua producto, y ductos de transporte de agua potable hasta el recinto de estanque de distribución Esmeralda.

La planta desaladora está diseñada para producir 200 l/s de agua potable, mediante el proceso de desalación por osmosis inversa. Dentro de las obras contempladas se distinguen: cuatro torres de captación del agua de mar ubicadas a una profundidad de 29 m y a una distancia de 650 m de la costa; tubería de captación de 650 m de longitud; cámara de succión y una planta elevadora que permite impulsar el agua hasta la Planta Desaladora. Posteriormente, el agua de rechazo o salmuera proveniente del proceso de osmosis inversa será descargada al mar en forma gravitacional por medio de una tubería de 240 m de longitud y 0,63 m de diámetro, que concluye en un emisario submarino, de aproximadamente 225 m de longitud y 0,63 m de diámetro (Aguas de Antofagasta S.A., 2015).

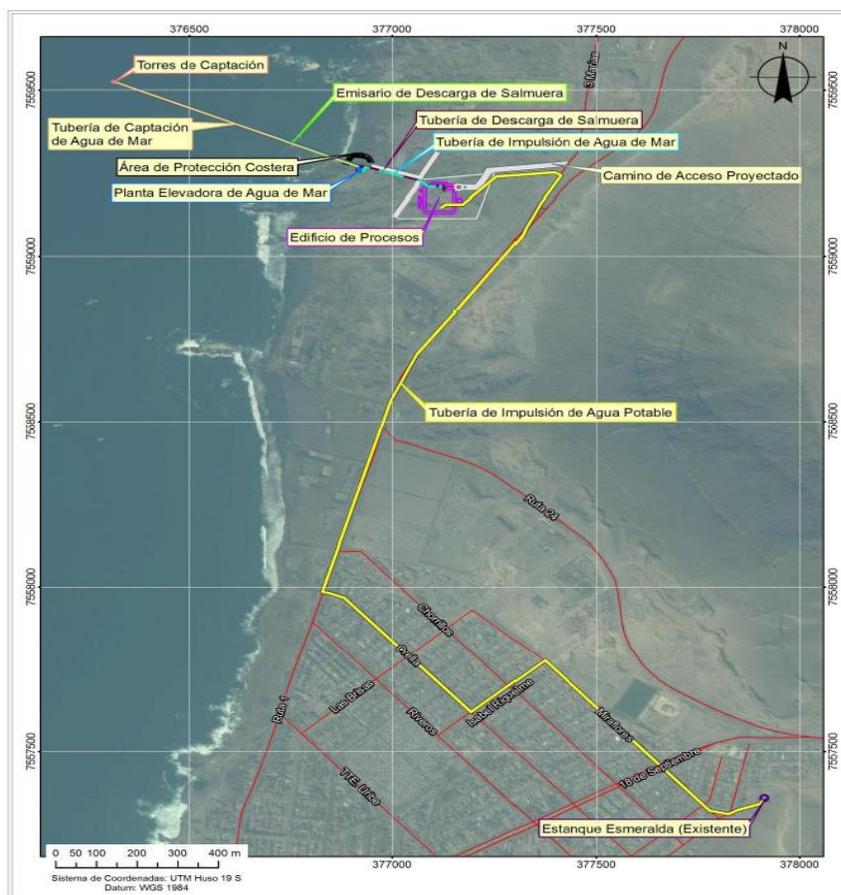


Figura 6.2: Plano desalinizadora comuna de Tocopilla.
(Aguas de Antofagasta S.A., 2015)

Finalmente, el agua potable será impulsada desde el edificio de procesos, a través de una tubería de 3,25 km de longitud y 0,5 m de diámetro, hasta llegar al recinto estanque Esmeralda existente, para luego ser distribuida a través del actual sistema de distribución de Aguas de Antofagasta S.A. en la ciudad de Tocopilla (Aguas de Antofagasta S.A., 2015).

Tabla 6.2: Resumen características de proyecto desaladora Tocopilla.

Características	Planta desaladora Tocopilla
Nº de habitantes abastecidos	25.186 *
Agua potable producida	200 [l/s]
Costo de inversión	USD \$26.000.000
Longitud obra de Conducción	3,25 [km]
Fecha ingreso del proyecto	02/2015
Fecha puesta en marcha	09/2020

*información extraída del Censo, no se especifica en el informe del proyecto.

6.2 Obras de Embalse.

Chile tiene una historia de construcción e instalación de embalses, tanto para fines de riego como de generación hidroeléctrica, mas no para propósitos de abastecimiento de agua potable a la comunidad aledaña a esas obras, por ejemplo. Como se menciona en los antecedentes de este informe el Estado, el año 2014, lanzó un plan de embalses nacional, el cual estipula la construcción de 26 obras a lo largo del país. Particularmente en la IV Región, se proyectaron 4 obras de embalsamiento de agua; Valle Hermoso, situado en la cuenca del río Pama; Canelillo, situado en la cuenca del Choapa; La Tranca, cuenca río Cogotí; y Murallas Viejas, proyectado en la cuenca del río Combarbalá.

En lo que sigue se describen dos de las obras mencionadas, que de acuerdo con el plan del Estado representan soluciones factibles frente al contexto de sequía en Chile, y se analiza cómo estas podrían ser aplicadas para las comunas seleccionadas.

a) Embalse Valle Hermoso, Combarbalá.

A la fecha se encuentra en la fase de operación el embalse Valle Hermoso ubicado en la comuna de Combarbalá, el que tiene como objetivo mejorar las condiciones de riego, tanto en los aspectos de regulación como de distribución, de los recursos hídricos del río Pama, teniendo como principal finalidad el mejoramiento de las condiciones de riego en el valle. Además, el proyecto Valle Hermoso está orientado para proveer de agua potable a los sistemas APR y generar energía eléctrica, tal como señalan los estudios de ingeniería de la Dirección de Obras Hidráulicas (Consortio Valle Hermoso S.A, 2011).

La obra está constituida por una presa tipo CFRD (concret face rockfill dam), de 117 m de altura y de 455 m de longitud de coronamiento y posee una capacidad de embalsamiento de 20,3 millones de m³, lo que implica un área de inundación de 117 ha. La superficie total por expropiar para la materialización del proyecto, sus obras anexas y camino de acceso, requiere una superficie de 499,5 ha.

Tabla 6.3: Resumen de las principales características del proyecto Valle Hermoso.

Características	Embalse Valle Hermoso
Volumen Acumulado	20,3 [Hm ³]
Altura	117 [m]
Cota de Coronamiento	1.671 [m.s.n.m.]
Longitud de Coronamiento	455 [m]
Ancho de Coronamiento	8 [m]
Volumen de Relleno	2.597.004 [m ³]
Área Inundada	117 [Ha]
Costo de inversión	USD \$85.400.000

Fuente: (Consortio Valle Hermoso S.A, 2011)

Las obras complementarias de este embalse la conforman un túnel de desvío y un sistema de evacuación de crecidas. Además, como obras anexas se contempla la construcción y mejoramiento de caminos y vías de acceso, la habilitación de dos estaciones pluviométricas y de una estación meteorológica.

El total de derechos de agua del proyecto corresponden a 1.453 acciones permanentes y 586 acciones eventuales.

En cuanto a la justificación de la ubicación del proyecto, el informe señala que el río Pama es un cauce natural que forma parte de la hoya hidrográfica del río Limarí y sus recursos hídricos son muy limitados la mayor parte del año, pero aumentan en los meses de octubre a enero por efecto de los deshielos. Posee un caudal medio anual del orden de 0,50 m³/s.

En el valle del río Pama existen unas 1.700 ha bajo cota de canal, deficientemente regadas dados los escasos recursos hídricos existentes. La seguridad de riego antes de la operación del embalse era del 44%, mientras que las obras del proyecto permitirán aumentar la seguridad al 85%, lo que implica un excedente agrícola por concepto de nuevas superficies cultivables (1.206 ha).

Otro argumento que se presenta en el informe del SEIA es que, al tratarse de un embalse frontal en un sitio alto permite captar gran parte de las crecidas sin necesidad de alimentarse por un canal que limita los caudales de alimentación. Además, los sitios altos permiten un mejor servicio de alimentación a los APR, a su vez, que un sitio alto permite ganar alturas de carga de más de 400 m, en cuanto a la generación eléctrica (Estudio de Impacto Ambiental , 2011)

Si bien la obra fue presentada como un embalse multipropósito, la obra de conducción que distribuye hacia los 27 sistemas APR beneficiados no fue construida en paralelo, ni se estipuló como obra anexa del embalse, tal como indica el SEREMI de la región, en una entrevista dada el 25 de noviembre de 2019; “el próximo año vamos a definir los estudios que van a generar un canal o una tubería a través de la cual, se inyecte agua a las fuentes desde este embalse. Claramente son estudios paralelos que nos van a permitir solucionar a corto plazo la disponibilidad del agua en el sector de Combarbalá, Canela y el sector seco de Monte Patria y Ovale que son los sectores que hoy están más complicados en cuanto a fuentes de abastecimiento de agua”. (Consejo Políticas de Infraestructura, 2019)

Esta situación hasta la fecha, Septiembre de 2020, no se ha resuelto, puesto que los testimonios tomados aseguran que las obras de conducción siguen en conversaciones y las 40 acciones que les corresponden del proyecto aún no se hacen efectivas, teniendo a los accionistas mayores (regantes) como principales opositores a que esto se resuelva, según informan los dirigentes de APRs de la comuna de Combarbalá.

b) Proyectos de Embalse, región de Coquimbo.

I. Embalse Canelillo.

Este embalse forma parte de las obras básicas recomendadas para mejorar y extender el riego en el valle de Choapa. El estudio integral realizado en la zona diagnosticó que, pese a existir importantes recursos de suelo, clima y agua en el área del proyecto, la causa fundamental de su limitado desarrollo agropecuario era la falta de recursos hídricos en épocas de estiaje, siendo prioritario identificar embalses de regulación para subsanar dicha carencia.

El embalse Canelillo propuesto en el estudio integral de riego consiste en una presa de gravedad tipo RCC o HCR (hormigón compactado con rodillo) de 63 m de altura, que se implantaría sobre el río Choapa, en una angostura existente unos 800 m aguas arriba de la confluencia con el río Illapel.

Las obras consideradas en el Estudio de Prefactibilidad comprendieron capacidades de embalse que van desde los 110 hm³ a los 205 hm³ para servir superficies de riego que van desde las 15.000 ha hasta 22.000 ha con una seguridad de riego de 85%. La superficie inundada por el embalse en su alternativa de mayor capacidad es de 1.000 ha, estimando que el área a expropiar será de unas 1.590 ha. (MN Ingenieros Ltda., Septiembre 2009).

Se estima que la obra pueda proveer agua para riego en sectores de las comunas de Canela e Illapel, sin embargo, aún quedan muchas etapas para poder concretar la construcción del embalse. El alcalde de Canela, Bernardo Leyton indicó en una entrevista al diario digital “Norte Visión”, que «los primeros estudios comenzaron el año 1995, han pasado más de 20 años y deberemos esperar unos 10 más para que sea una realidad ...». A pesar de esto, las organizaciones de regantes esperan que esta obra se desarrolle prontamente, para poder asegurar la producción agrícola de la zona que se ha visto afectada producto de la sequía (Nortevision, 2019).

II. Embalse Murallas Viejas.

El proyecto se encuentra ubicado en el río Combarbalá, en el sector sureste de la provincia del Limarí, en la IV Región de Coquimbo. Se trata de una obra de regulación, que permita optimizar los recursos hídricos del río Combarbalá, mejorando la seguridad de riego actual y ampliar el área regada en el valle.

Igualmente, el proyecto considera el análisis de la posibilidad de generar hidroelectricidad en una minicentral asociada al embalse, y también, dar apoyo con recursos hídricos regulados a los servicios de agua potable rural APR de la comuna.

En los estudios de factibilidad se contempla la implementación de una presa del tipo CFRD (presa de enrocados o gravas compactadas con pantalla de hormigón), ubicada en el sitio El Quillay, con una altura de 109 m, lo que permite almacenar un volumen de agua de 50 Hm³, y regar un área de 3.250 ha, lo que beneficiaría a un total de 279 predios (MN Ingenieros Ltda., 2011).

Por otra parte, el embalse Murallas Viejas permitiría apoyar con recursos hídricos regulados a cinco servicios APR existentes en el Valle de Combarbalá, beneficiando en total a 676 habitantes, residentes de las localidades de: El Molino, La Cantera, La Capilla, Pueblo Hundido y Ramadilla. El apoyo a servicios APR corresponde a un compromiso contraído por los regantes, que señala que cuando se defina completamente la construcción del embalse Murallas Viejas, la Directiva de la Junta de Vigilancia hará todos los esfuerzos para que sus asociados suplementen una proporción de acciones de riego a los Sistemas de Agua Potable Rural que lo requieran. Como se puede apreciar, al tenor de las declaraciones, este beneficio dirigido a los APRs estaría sujeto a la voluntariedad de los tenedores de derechos de agua, lo cual no otorga seguridad para las personas que hoy sufren las consecuencias de la falta de agua.

Además, en la factibilidad se realizó el diseño preliminar y análisis económico de un desarrollo hidroeléctrico consistente en una minicentral ubicada a pie de presa. El criterio de operación de esta minicentral hidroeléctrica es que ella siempre funcione subordinada al proyecto de riego, por tanto, sólo generará los caudales que requiera el valle para sus plantaciones y cultivos. Los resultados del diseño preliminar establecen:

- Potencia Instalada: 1.000 kW
- Energía Generable: 4,33 GWh / año
- Costos Inversión \$691.010.000.

(MN Ingenieros Ltda., 2011)

Similar al caso anterior, la buena recepción que tiene el proyecto Murallas Viejas en la comunidad de regantes es tal, que para el año 2019 organizaciones regionales y comunidades locales acordaron solicitar a la Intendencia y al MOP agilizar los procesos administrativos necesarios para avanzar en la pronta concreción de la obra, y analizar la factibilidad de un convenio GORE-MOP para el cofinanciamiento de los estudios complementarios (Radio Comunicativa, 2019).

III. Embalse La Tranca.

El proyecto de embalse La Tranca, ubicado en la Comuna de Combarbalá, está orientado a regular los recursos hídricos del río Cogotí, con el fin de mejorar las condiciones de seguridad del riego actual y de ampliar el área regada en la zona. Como objetivos secundarios del proyecto están los de generar energía hidroeléctrica, en una minicentral asociada al embalse y dar respaldo a los servicios de agua potable rural (APR) en su área de influencia.

En años de abundancia de agua, se pueden regar hasta unas 1.600 ha, pero la superficie regada con seguridad adecuada no sobrepasa unas 800 ha. El embalse La Tranca producirá incrementos de los recursos hídricos utilizables, que permitirán mejorar la seguridad de riego para alcanzar un mínimo de 85 % en todos los sectores y aumentar fuertemente el área regada.

Los estudios de factibilidad contemplan la implementación de una presa del tipo CFRD (presa de enrocados o gravas compactadas con pantalla de hormigón), con una altura de 109 m y área de inundación de 145 hectáreas, lo que permite almacenar un volumen de agua de 46 Hm³, y regar un área de 3.500 ha, lo que beneficiaría a un total de 432 predios. (MN Ingenieros Ltda., Abril 2011).

El embalse La Tranca permitiría apoyar con recursos hídricos regulados a diez servicios APR existentes en el Valle de Cogotí, beneficiando en total a 2.249 habitantes. Este apoyo a servicios APR se basa en un Protocolo de Intenciones firmado el día 29 de mayo de 2009 entre la Junta de Vigilancia del Río Cogotí y el Ministerio de Obras Públicas, según el cual la primera se comprometió a realizar todos los esfuerzos para que sus asociados suplementen una porción de acciones de riego a los Sistemas de Agua Potable Rural y el segundo, a avanzar en el desarrollo de las etapas que permitan la concreción de la obra.

En los escenarios de operación de la minicentral hidroeléctrica, se ha considerado los caudales empleados para riego correspondientes a los derechos de aguas del embalse La Tranca, más los derechos de agua para riego constituidos aguas abajo, incluyendo los asignados al Sistema Paloma (Embalse Cogotí, Embalse Paloma y Embalse Recoleta). Basado en lo anterior, la minicentral hidroeléctrica asociada al embalse La Tranca tiene las siguientes características:

- Caudal de Diseño: 2,95 m³/s
- Altura bruta: 107 m
- Potencia instalada: 2,4 MW
- Generación eléctrica: 10,31 GWh/año
- Monto de la Inversión: Privado: \$ 674 Millones; Social: \$ 666 Millones

El estudio de participación ciudadana indica que la comunidad espera con mucho anhelo la consolidación del proyecto, sienten que es la oportunidad que tienen para desarrollarse, recuperar el bienestar perdido, acoger a los familiares que se fueron, mejorar la calidad de vida de ellos y ofrecer un futuro mejor para su descendencia. Esperan que retorne la agricultura, principal actividad económica que siempre los caracterizó y tal como ellos lo manifestaron “hacer del valle un vergel” (MN Ingenieros Ltda., Abril 2011).

Sin embargo, y muy en desacuerdo con lo que propone el estudio de factibilidad, las comunidades de Combarbalá han señalado que el proyecto no los beneficia, sino todo lo contrario, la consideran una iniciativa que va en contra de los lugareños, amenazando la flora, fauna y el patrimonio que la comunidad ha sabido cuidar y hacer respetar. Específicamente en la localidad de El Durazno se oponen férreamente a la construcción de esta obra concesionada, ya que, los terrenos de inundación afectan cerca de 120 familias de su comunidad. En este contexto, para el año 2018 la DOH de la región dio término al contrato con la empresa concesionaria para la realización del “Diseño de Ingeniería Básica” del embalse La Tranca, luego de que la oposición del pueblo impidiera llevar los estudios a cabo y se vencieran los plazos de ejecución (Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales, 2018).

Por lo que el proyecto La Tranca evidencia una de las problemáticas más importantes que se produce con las comunidades, al momento de implementar o desarrollar un proyecto de tal envergadura, y que para su realización deberían resolverse al comenzar con el proyecto.

6.3 Otras Fuentes.

Otra de las soluciones que es posible considerar es la utilización de nuevas fuentes para extraer el agua a través de pozos profundos, ya sean de origen subterráneo o de infiltraciones producto del escurrimiento superficial, que al igual que en el caso 6.2, está sujeto a la disponibilidad de agua en las áreas rurales.

En las localidades rurales del país la forma principal de abastecimiento es mediante sistemas de APR cuya mantención y operación debería ser responsabilidad del Estado. Bajo el alero del Programa de APR de la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP se han construido 1.902 sistemas de agua potable que abastecen a aproximadamente 1,735 millones de personas que habitan en localidades rurales concentradas y semi – concentradas (Mesa Nacional del Agua, MOP, febrero 2020)

Sin embargo, durante los últimos años, se vio que la escasez hídrica afectó a un número considerable de sistemas de agua potable rural. Es más, del informe de la Mesa Nacional del Agua se tiene que: hay 113 sistemas de APR del Ministerio de Obras Públicas, con distinto grado de afectación, que entregan suministro a 100 mil personas; situación que se pudo constatar y confirmar con los relatos de los dirigentes de APR de las comunas en estudio.

De esta forma, para realizar un proyecto de sistema de pozo profundo, adecuado a las condiciones de cada comunidad es preciso tener en cuenta que los estudios hidrogeológicos son fundamentales para encontrar fuentes de agua que aseguren el suministro permanente del recurso, junto con, realizar pruebas de bombeo y análisis bacteriológicos del agua extraída. Asumiendo que, las condiciones sean propicias para materializar un pozo profundo, de los testimonios recabados se pudo constatar que deben ser obras de gran profundidad (50 -80 metros), para que no estén expuestos a las variaciones que ocurren desde la superficie y que finalmente afectan la extracción de agua subterránea, y con ello el suministro de agua para el consumo humano.

Otro punto importante, es que los derechos de agua a utilizar para consumo humano deben ser otorgados a la brevedad, junto con definir y otorgar las servidumbres necesarias para el correcto uso y mantenimiento de los sistemas. Por lo que, instituciones gubernamentales, como la DOH y la DGA, deben participar activamente del proceso.

Esta solución lleva asociado un sistema de potabilización del agua, ya sea la construcción de una planta de tratamiento de agua potable, o la conexión a una existente con estanque acumulador ubicado en las vecindades de la comunidad abastecida.

No está demás señalar la necesidad de desarrollar e implementar una serie de estudios hidrogeológicos, que permitan mapear detalladamente las disponibilidades de aguas subterráneas; junto con evaluar el comportamiento de las napas levantadas en estudios anteriores, contrastando dicha información con el comportamiento real de los pozos profundos ejecutados.

7 Aplicación de Soluciones Técnicas en Zona de Estudio.

En capítulos anteriores se determinaron las zonas del norte de Chile donde existen problemas de abastecimiento de agua potable y se seleccionaron cinco comunas para trabajar en ellas, buscando, principalmente, aportar soluciones técnicas para resolver sus problemas. Adicionalmente se dimensionaron los problemas de las comunas seleccionadas, determinando sus déficits o demandas de agua potable.

A continuación, sabiendo cual es la demanda de agua potable requerida y conociendo las zonas, comunas, localidades y villorrios, donde radica esta necesidad, se analizan, proponen y estudian soluciones técnicas para satisfacer esas necesidades de la población, a nivel de ingeniería conceptual.

Se estima necesario dejar establecido que el nivel de ingeniería conceptual de las soluciones técnicas que se proponen corresponde a uno de los primeros niveles de desarrollo de un proyecto, sino el primero, donde, para su formulación, se emplea información pública y antecedentes de proyectos u obras similares, en proyecto o construidas, y no requiere estudios específicos que implican gastos o pagos por trabajos de consultoría o asesoría. Por esto mismo, los diseños o esquemas de obras e instalaciones son aproximados y para poder ser materializados o construidos, deben pasar por sucesivas etapas de estudios y análisis posteriores que permiten “aterrizar” el proyecto, otorgándoles las certidumbres necesarias para hacerlos realidad.

Por lo expuesto, en el presente trabajo se empleó la herramienta Google Earth para definir los trazados y ubicaciones de las instalaciones u obras; información de proyectos o instalaciones similares construidas y operando, o cuyo proyecto está en desarrollo. Estudios o análisis posteriores, tendientes a definir mejor estos proyectos, o ideas de proyectos, con vistas a una eventual materialización, deberán considerar estudios específicos como levantamientos topográficos, estudios e investigaciones geotécnicas, encuestas y levantamiento de información más precisa sobre la población afectada, estudios de interferencias de los eventuales trazados de las obras e instalaciones, estudios sobre propiedades afectadas por las eventuales obras e instalaciones, etc., materias todas a considerar en las siguientes etapas de cualquier proyecto de ingeniería.

En definitiva, en el presente trabajo se trata de definir si técnicamente es factible aplicar determinadas soluciones, para resolver un problema que afecta a personas o grupos de la sociedad, independientemente de su costo o valor. Esto último, en todo caso, no debe ser menospreciado; pero se estima que, desde un cierto punto de vista, no puede ser una condicionante para resolver un problema tan vital como es el abastecimiento de agua potable.

7.1 Metodología de Trabajo.

En primer lugar, se realizó una investigación técnica sobre las diversas soluciones que se han adoptado en Chile, principalmente en el norte, para abastecimiento de agua. De esa investigación se tiene lo siguiente:

- a) Existen proyectos y plantas desaladoras, tanto para desalar agua con fines de uso industrial para plantas mineras, como para abastecimiento de agua potable desarrollados por empresas concesionarias de agua potable. Estas plantas son de diversas magnitudes y capacidades.
- b) Existen proyectos y sistemas de bombeo operando, impulsando las aguas desaladas hacia cotas bastante elevadas, como es el caso de la Minera Escondida que conduce agua desalada hasta una cota de 3.300 m.s.n.m.
- c) Existe un plan de embalses desarrollado por el MOP, a través de la DOH; pero cuyo fin es para abastecimiento de agua para riego, y aún no pueden ser utilizados para abastecimiento de agua potable. Se entiende que no existe la institucionalidad necesaria para ello.
- d) No existen, o al menos no fue encontrado durante esta investigación, estudios hidrogeológicos, elaborados por el Estado y que pudieran ser usados, de manera directa y precisa, para estudiar profundizaciones o nuevas ubicaciones de pozos profundos, para mejorar el sistema de abastecimiento de agua dulce natural para los APRs. Aparentemente estos estudios sí serían realizados; pero para algún proyecto en particular y específico, o bien, empresas privadas acuerdan cooperar con algunos sistemas de APR ya establecidos.
- e) No existe, o al menos no fue encontrado durante esta investigación, algún plan del Estado para construir nuevos pozos profundos o profundizar los actuales que se encuentren colgados, que represente un programa de inversión para mantener el abastecimiento de agua dulce, a través de este medio, previsto cuando se construyó el pozo y, además, para atender las demandas crecientes producto del crecimiento demográfico. De hecho, durante la investigación se tuvo conocimiento que la DOH no tiene ni maneja información, sobre cómo están operando los APRs, sobre cuál es su nivel de producción y estado. Debido a ello, y para este estudio, la DOH derivó la búsqueda de ese tipo de información hacia consultar directamente a los dirigentes de los APRs, abriendo un campo de trabajo e investigación no previsto al inicio de este estudio.

Aunque al comienzo del estudio se esperaba no considerar condicionantes de orden legal, ni económicas para definir soluciones técnicas factibles de materializar; es necesario asumir que ciertas condiciones legales no se pueden soslayar, porque efectivamente no sólo condicionan, sino que hacen no factible ciertas soluciones técnicas. Nos referimos al uso del recurso agua dulce natural y a los derechos que se deben poseer para ocupar esa agua. En este contexto, las personas que necesitan agua dulce para su consumo diario básico no pueden acceder a lo que naturalmente se produce puesto que no tienen derechos sobre ella. Y esto es sin perjuicio de que, eventualmente, exista disponibilidad natural de ese recurso.

Lo anterior condiciona la búsqueda de soluciones, porque conduce a usar una fuente distinta a la tradicionalmente empleada y que sí existe en abundancia, y que es el agua de mar, con los consecuentes procesos de desalación. Al respecto hay que señalar que estos procesos se vienen

aplicando en Chile desde hace algunas décadas, y es una tecnología que considera usar un recurso inagotable, que, mediante la construcción e instalación de la infraestructura necesaria, permite procesar el agua de mar para producir agua dulce.

En el contexto de lo anterior es que se hizo una búsqueda de los lugares que, a nivel de ingeniería conceptual, resultaban ser adecuados para instalar plantas desaladoras para abastecer, desde ella, a las distintas zonas o comunas seleccionadas, incluidos sistemas de APRs. Asimismo, se determinaron, usando Google Earth, los trazados de las impulsiones o líneas matrices para el suministro de agua.

7.2 Uso de Agua Desalinizada.

Esta solución implica desarrollar, a nivel de ingeniería conceptual, los diseños multidisciplinarios de las obras asociadas a las conducciones y estanques de almacenamiento, asociados a tres plantas desaladoras. El objetivo principal del diseño es verificar si un proyecto con estas características es técnicamente factible de desarrollar en la zona de estudio.

Dado que será necesario conducir el agua desde la costa hasta los sectores rurales, las obras propuestas para el diseño conceptual son principalmente: las obras de conducción principales, o matrices, del agua desalada; estanques de acumulación en lugares estratégicos, para luego distribuir a las redes; y definir equipos de bombeo.

7.2.1 Condiciones de Diseño.

El diseño de las conducciones, tuvo en cuenta aspectos que condicionaron su definición de proyecto. Los términos empleados fueron los siguientes:

- a) La ubicación de plantas se estima a una cota que permita su autoprotección ante situaciones de mareas altas, oleaje y eventualmente tsunamis.
- b) Privilegiar la ubicación de plantas desaladoras en zonas no aptas para balnearios, o que se pudieran usar como tales, para no afectar el turismo ni la vida normal del lugar.
- c) Ubicación de plantas alejadas de áreas urbanas o sectores actualmente poblados.
- d) Para este nivel de análisis, el trazado de las impulsiones se hizo por los fondos de valles o quebradas, tratando de seguir las pendientes naturales de los cauces o cursos de agua, que normalmente son regulares. En la realidad y en eventuales estudios posteriores, habrá que contar con levantamientos topográficos; procurando seguir líneas de cotas que permitan alcanzar las menores longitudes posibles de las impulsiones y menores movimiento de tierras. El trazado por fondos de valles o cauces se hizo sólo para dimensionar las longitudes que podrían tener estas líneas matrices, sabiendo que en definitiva y en la realidad no serán los elegidos por razones de seguridad de estas obras, por crecidas o inundaciones por los escurrimientos naturales; pero se asume que son referenciales.
- e) Dada la topología del terreno, se prioriza que las obras de conducción se ubiquen en el costado de las rutas y caminos existentes o en las inmediaciones, de manera de facilitar su posible construcción, instalación y mantenimiento de las obras. Es por esto que se definen los trazados siguiendo la geografía del terreno por los fondos de valles.

- f) No se hizo un análisis de interferencias de las impulsiones, materia que sí deberá ser considerada en etapas más avanzadas de un proyecto de desalación, pero que no viene al caso analizarlas en este informe. Las interferencias podrían ser del tipo cruce de quebradas; para cuyo caso se estima podrán emplearse trazados elevados o enterrados, entre otras interrupciones geográficas.
- g) Tampoco se realiza un levantamiento de roles de propiedades, privadas o del Estado, que podría atravesar un trazado determinado, con el propósito de confeccionar el listado de propietarios y propiedades sobre las cuales establecer las servidumbres necesarias.
- h) Los trazados seleccionados corresponden a lo que hemos denominado matrices de agua potable y que conducirán los caudales necesarios para el abastecimiento de agua potable. Desde esta matriz saldrán las líneas de distribución y que llevarán el agua a los villorrios, localidades o poblaciones deficitarias; sistemas que podrán definirse en estudios posteriores.

De los estudios realizados y tomando en cuenta las condiciones del diseño, se proyectan las siguientes ubicaciones de plantas desaladoras y los trazados de las matrices correspondientes:



Figura 7.1: Trazado y elevación de la conducción en la localidad de Canela.

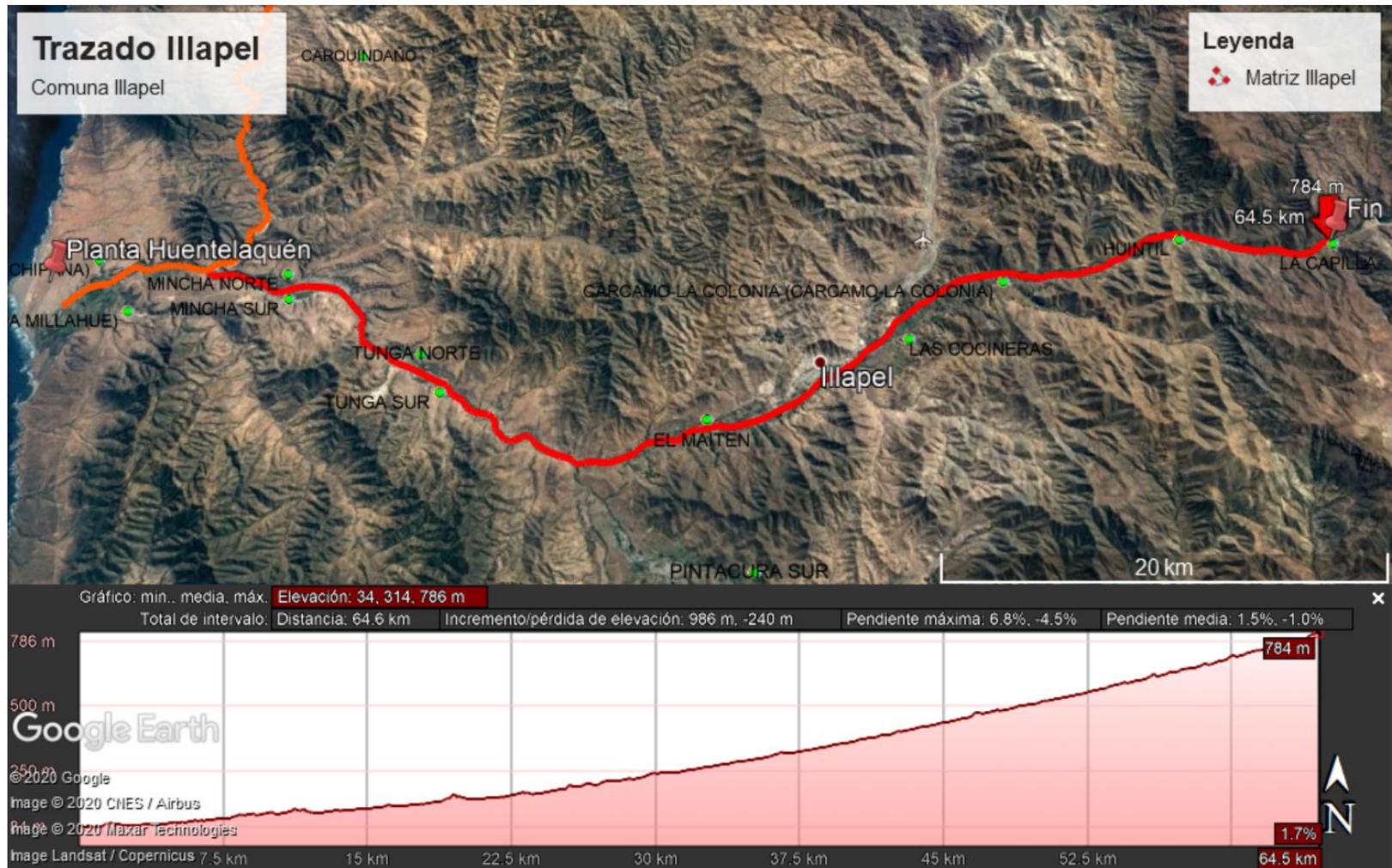


Figura 7.2: Trazado y elevación de la conducción en la localidad de Illapel.



Figura 7.3: Trazado y elevación de la conducción en la localidad de Punitaqui.

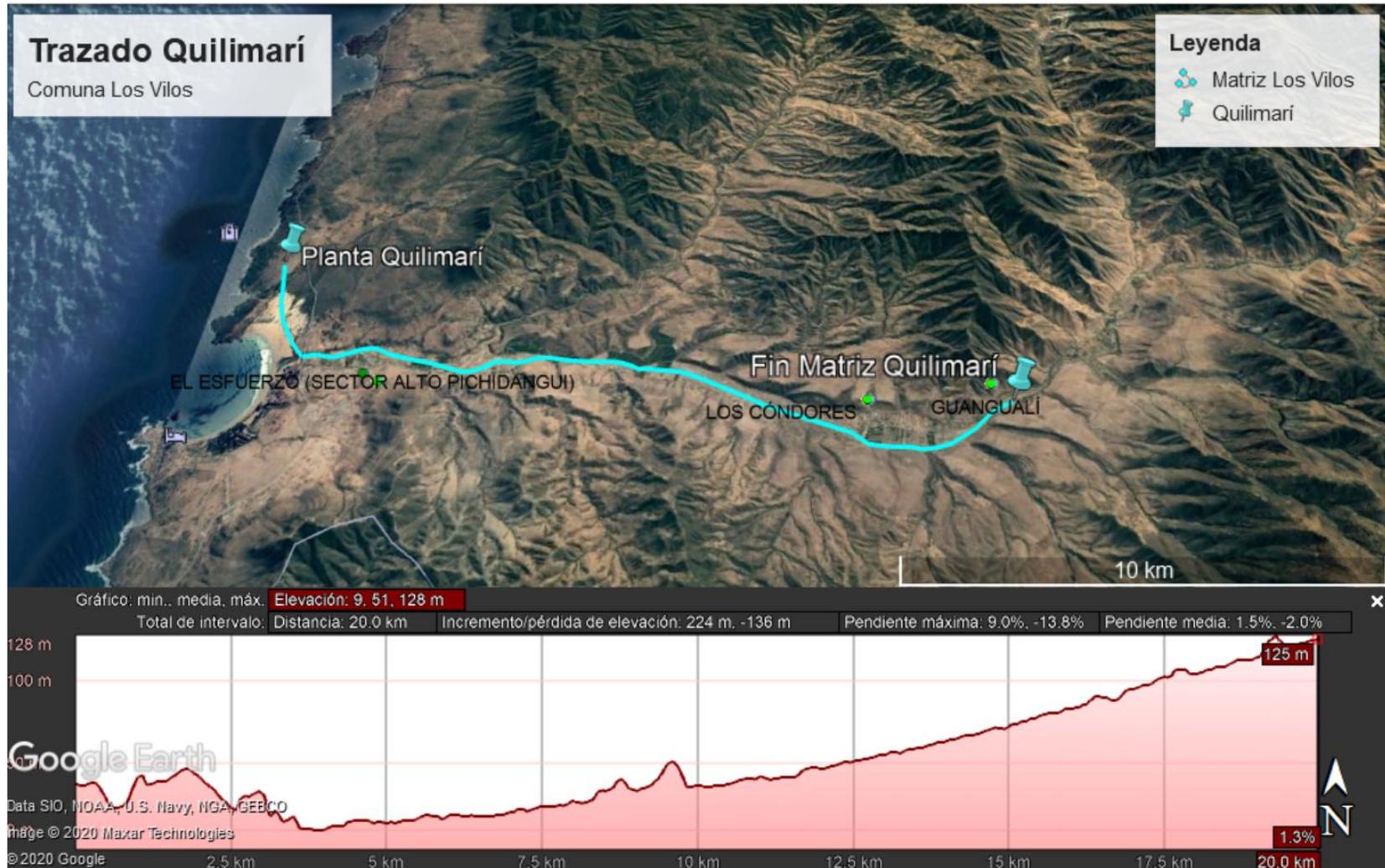


Figura 7.4: Trazado y elevación de la conducción en la localidad de Los Vilos.

A continuación, se presenta una tabla resumen de los trazados de las matrices por comuna.

Tabla 7.1: Características de los trazados de cada matriz.

Matriz	Longitud [kms]	Cota Máxima [m.s.n.m.]	Pendiente Máxima [%]
Illapel	63,6	784	6,8
Canela	57,4	508	7,4
Quilimarí	20,0	125	10,4
Limarí	64,8	244	5,1

Elaboración propia.

Tal como se señala anteriormente, los trazados mostrados en Google Earth, se desarrollan siguiendo la geografía de los fondos de valles. Algo distinto a esto podrían ser trazados más rectos y directos, entre la costa y los puntos de consumo, con el riesgo de atravesar cerros mediante obras especiales, como grandes cortes o túneles, lo cual en esta etapa de la ingeniería conceptual se ha considerado inconveniente.

7.2.2 Criterios de Diseño.

Para efectos del dimensionamiento de las tuberías de impulsión, o matrices, de los estanques intermedios y sistemas de bombeo, se consideran los siguientes criterios:

1) Caudal de diseño

Se han definido distintos caudales de diseño para las conducciones, según la población que se proyecta abastecer. El caudal de diseño se define en función a lo establecido en la Norma NCh 691 “Agua potable – Conducción, regulación y distribución”

Donde el caudal medio diario de agua potable queda determinador por la relación:

$$Q_{md} = \frac{Pob * D.p * Cob}{86.400 * 100} \text{ (L/s)}$$

en que:

- Pob = población total abastecida [habitantes]
- D.p = dotación de producción anual [L/hab/día]
- Cob = cobertura anual [%]

Además, el caudal máximo diario se determina según la relación:

$$Q_{máxd} = F.D.M.C. * Q_{md} \text{ (L/s)}$$

en que:

- F.D.M.C. = factor del día de máximo consumo (1,5)

2) Instalación de las conducciones

Una manera de establecer el material de las impulsiones es definir si la conducción se instalará superficial o enterrada, y puesto que la zona donde se estudia la factibilidad tiene una geografía muy compleja, se considera que la mejor opción es ubicar las tuberías de manera subterránea.

3) Material de las conducciones

Si la conducción se proyecta superficial el material comúnmente utilizado es el acero. Mientras que si la conducción se proyecta enterrada es preferible utilizar principalmente plástico (HDPE o PVC) y acero si la presión está sobre los 140 mca.

Como se menciona en el punto anterior, se presume que las tuberías se instalarán de manera subterránea, y además, que estas las obras de conducción de agua de contacto se han concebido como un sistema que funcionará principalmente en presión, es por esto que se proyectaran tuberías de polietileno expandido de alta densidad (HDPE).

4) Diámetros de las conducciones

Complementariamente a lo anterior y para efectos del dimensionamiento de las impulsiones o sistema de transporte de las aguas, los trazados se han sectorizado de tal manera de discernir sobre los diversos diámetros que podría haber a lo largo de cada impulsión o matriz, para atender las distintas necesidades según la ubicación geográfica de las localidades o villorrios beneficiados por cada una de las tres plantas desaladoras.

5) Velocidades de diseño

Se estima pertinente definir un rango de velocidades entre 0,7 y 1,5 m/s, esto con la finalidad de lograr impulsar el caudal deseado sin dañar las tuberías que distribuyen el caudal en presión.

Para estimar las velocidades se calculan los diámetros interiores de las conducciones, que a su vez varían según los diámetros interiores la materialidad de las conducciones. En este caso como se definen tuberías de polietileno expandido de alta densidad (HDPE), entonces se trabaja con las fichas técnicas de las cañerías HDPE que responden a los estándares establecidos por la norma NTP ISO 4427.

6) Alturas geométricas.

Con las ubicaciones y la información disponible de cotas del terreno, es posible estimar las alturas geométricas de las distintas estaciones que se proyectan.

7) Calculo pérdidas friccionales y singulares.

Para evaluar las perdidas friccionales que se producen a lo largo de las tuberías se aplica la ecuación de Hazen-Williams, cuya expresión es la siguiente:

$$J = 10,67 * \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}} * \frac{1}{C^{1,85}}$$

$$Pf = J * L$$

Donde:

Q = caudal (m³/s)

C = coeficiente de H-W (que depende del material de la tubería)

D = diámetro interior de la cañería (m)

L = longitud del trazado

J = pérdida de carga unitaria (m/m)

Pf = pérdida friccional (m)

El coeficiente de rugosidad de H-W considerado para las cañerías de HDPE es de 140.

Asimismo, para calcular las pérdidas singulares de escurrimientos cerrados en cañerías circulares se obtiene mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$P_s = K * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

V = velocidad del flujo (m/s)

G = aceleración de gravedad (m/s²)

K = coeficiente de pérdida singular

Ps = pérdidas singulares (m)

8) Presiones de diseño

Conocida la altura geométrica, las pérdidas friccionales y singulares podemos calcular las presiones de diseño, información que permite definir las características de las tuberías que se diseñaran, y el número de estaciones de bombeo necesarias para impulsar el caudal requerido.

Cabe señalar que se adopta como criterio de diseño la elección de tuberías PN16, es decir, las conducciones son capaces de soportar hasta 160 m de presión de agua.

9) Definición equipos de bombeo

Una vez definidas las presiones y el caudal de diseño se pueden establecer los equipos de bombeo según lo que existe en el mercado actualmente. Para esto se consulta el catálogo de bombas de la empresa Vogt, específicamente se revisan las bombas centrífugas multietapa horizontales Serie L, de aspiración horizontal lateral y descarga vertical superior.

En él se aclara que las bombas de la Serie L de Vogt son aptas para la impulsión de fluidos que no contengan partículas sólidas abrasivas, lo que coincide con la naturaleza del agua desalada que se proyecta impulsar.

10) Definición estanques de acumulación.

Se definen estanques de acumulación de agua dulce, desalada, desde donde se abastecerán las localidades o villorrios deficitarios, sea gravitacionalmente o mediante bombeo. Fueron proyectadas obras de embalsamiento en cada una de las estaciones más próximas a las zonas donde se ubican los sistemas APRs, esto con la finalidad de dar apoyo a los sistemas ya existentes y poder incluir a los habitantes que no están conectados a la red.

Dado los alcances de este estudio no se ha considerado la instalación de plantas de tratamiento que garanticen la potabilidad del agua, materia que debería ser abordada en estudios posteriores, según lo que indiquen los análisis del agua desalada producida y su aptitud como agua bebestible.

Por lo tanto, aplicando las consideraciones antes mencionadas, se realiza el diseño de impulsiones para tres plantas desaladoras. Las características y el dimensionamiento se exponen a continuación.

7.2.3 Dimensionamiento Matriz Limarí.

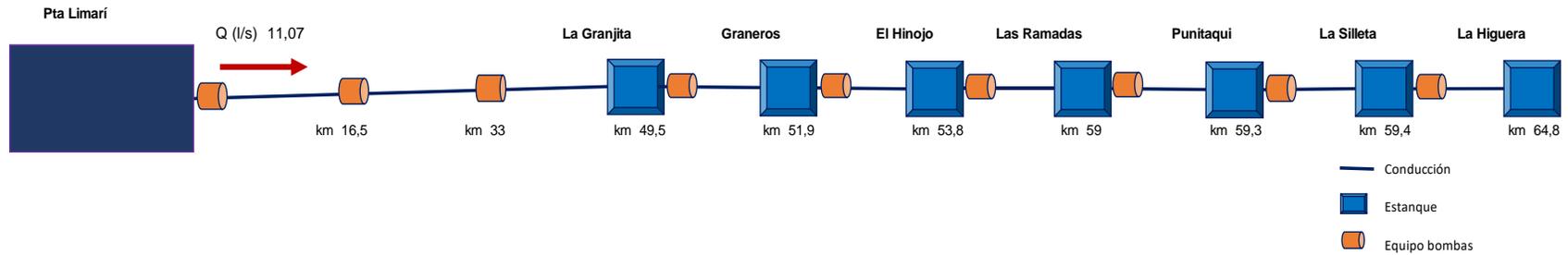


Figura 7.5: Esquema de conducción Pta Limarí a La Higuera, Comuna de Punitaqui.

Tabla 7.2: Cálculos de magnitudes de los componentes de Matriz Limarí.

Tramo	Conducciones														
	Hg (m)	Caudal (l/s)	Caudal (m3/h)	Material	DN (mm)	De (mm)	Espesor (mm)	Di (mm)	Velocidad (m/s)	Coef. W-H	J (m/m)	Largo (m)	J x largo (m)	P singular (m)	H total (m)
PTA - Reelev 1	46	11,07	39,87	HDPE	160	160	14,6	130,8	0,82	140	0,01	16500	88,87	4,44	139,31
Reelev 1- Reelev 2	46	11,07	39,87	HDPE	160	160	14,6	130,8	0,82	141	0,01	16500	87,71	4,39	138,09
Reelev 2 - La Granjita	46	11,07	39,87	HDPE	160	160	14,6	130,8	0,82	142	0,01	16500	86,57	4,33	136,90
La Granjita - Graneros	18	9,83	35,38	HDPE	110	110	10	90	1,54	140	0,03	2400	63,96	3,20	85,16
Graneros - El Hinojo	6	9,00	32,41	HDPE	110	110	10	90	1,42	140	0,02	1900	43,05	2,15	51,20
El Hinojo - Las Ramadas	8	7,96	28,66	HDPE	110	110	10	90	1,25	140	0,02	5200	93,86	4,69	106,55
Las Ramadas - Punitaqui	18	4,33	15,60	HDPE	75	75	6,8	61,4	1,46	140	0,04	300	11,30	0,57	29,87
Punitaqui- La Silleta	2	3,30	11,90	HDPE	63	75	6,8	61,4	1,12	140	0,02	100	2,28	0,11	4,40
La Silleta - La Higuera	34	1,76	6,32	HDPE	63	63	5,8	51,4	0,85	140	0,02	5400	90,72	4,54	129,26

Tramo	Equipo de Bombeo			
	Caudal (m3/h)	H total (m)	Bomba Serie	Numero etapas
PTA - Bombas 1	39,87	139,31	L 40	6
Bombas 1- Bombas 2	39,87	138,09	L 40	6
Bombas 2 - La Granjita	39,87	136,90	L 40	6
La Granjita - Graneros	35,38	85,16	L 40	3
Graneros - El Hinojo	32,41	51,20	L 40	2
El Hinojo - Las Ramadas	28,66	106,55	L 40	4
Las Ramadas - Punitaqui	15,60	29,87	L 32	1
Punitaqui- La Silleta	11,90	4,40	N 32-125	1
La Silleta - La Higuera	6,32	129,26	L 25	6

Estación	Estanque de Acumulación						
	Caudal Medio (l/s)	Caudal Máx.Diario	Población	Volumen [m3]			Volumen de Regulación
				Regulación	Incendio	Reserva	
La Granjita	1,25	1,87	633	24	115	13	139
Graneros	0,83	1,24	420	16	115	9	131
El Hinojo	1,04	1,56	529	20	115	11	135
Las Ramadas	3,63	5,44	1844	71	115	39	186
Punitaqui	1,03	1,54	523	20	115	11	135
La Silleta	1,55	2,32	788	30	115	17	145
La Higuera	1,76	2,63	892	34	115	19	149

7.2.4 Dimensionamiento Matriz Quilimarí.

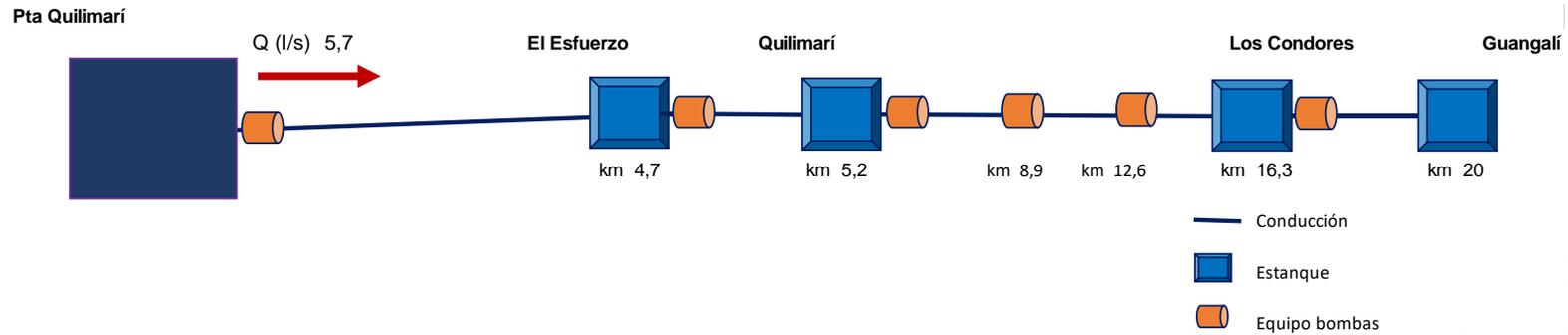


Figura 7.6: Esquema de conducción Pta Quilimarí a Guangalí, Comuna de Los Vilos.

Tabla 7.3: Cálculos de magnitudes de los componentes de Matriz Quilimarí.

Conducciones															
Tramo	Hg	Caudal	Caudal	Material	DN	De	Espesor	Di	Velocidad	C	J	Largo	J x largo	P singular	H total
	(m)	(l/s)	(m ³ /h)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m/s)	W-H	(m/m)	(m)	(m)	(m)	(m)
PTA - El Esfuerzo	-25	5,7	20,58	HDPE	90	90,0	8,2	73,6	1,34	140	0,03	4.660	121,27	6,06	102,33
El Esfuerzo - Quilimarí	-2	3,8	13,79	HDPE	75	75,0	6,8	61,4	1,29	140	0,03	520	15,59	0,78	14,37
Quilimarí - Inter 1	24,33	0,6	2,26	HDPE	40	40,0	3,7	32,6	0,75	140	0,02	3.707	85,26	4,26	113,86
Inter 1 - Inter 2	24,33	0,6	2,26	HDPE	40	40,0	3,7	32,6	0,75	140	0,02	3.707	85,26	4,26	113,86
Inter 2 - Los Condores	24,33	0,6	2,26	HDPE	40	40,0	3,7	32,6	0,75	140	0,02	3.707	85,26	4,26	113,86
Los Condores - Guangalí	38	0,4	1,61	HDPE	32	32,0	2,3	27,4	0,76	140	0,03	3.700	106,25	5,31	149,56

Equipo de Bombeo				
Tramo	Caudal	H total	Bomba	Numero
	(m ³ /h)	(m)	Serie L	etapas
PTA - El Esfuerzo	20,58	102,33	L 32	5
El Esfuerzo - Quilimarí	13,79	14,37	N 32-125	1
Quilimarí - Inter 1	2,26	113,86	L 25	5
Inter 1 - Inter 2	2,26	113,86	L 25	5
Inter 2 - Los Condores	2,26	113,86	L 25	5
Los Condores - Guangalí	1,61	149,56	L 25	6

Estanque de Acumulación							
Estación	Caudal Medio (l/s)	Caudal Máx. Diario	Población	Volumen [m ³]			Volumen de Regulación
				Regulación	Incendio	Reserva	
El Esfuerzo	1,89	2,83	958	37	115	20	152
Quilimarí	3,20	4,80	1627	62	115	35	177
Los Condores	0,18	0,27	91	3	115	2	118
Guangalí	0,45	0,67	228	9	115	5	124

7.2.5 Dimensionamiento Matriz Canela – Illapel.

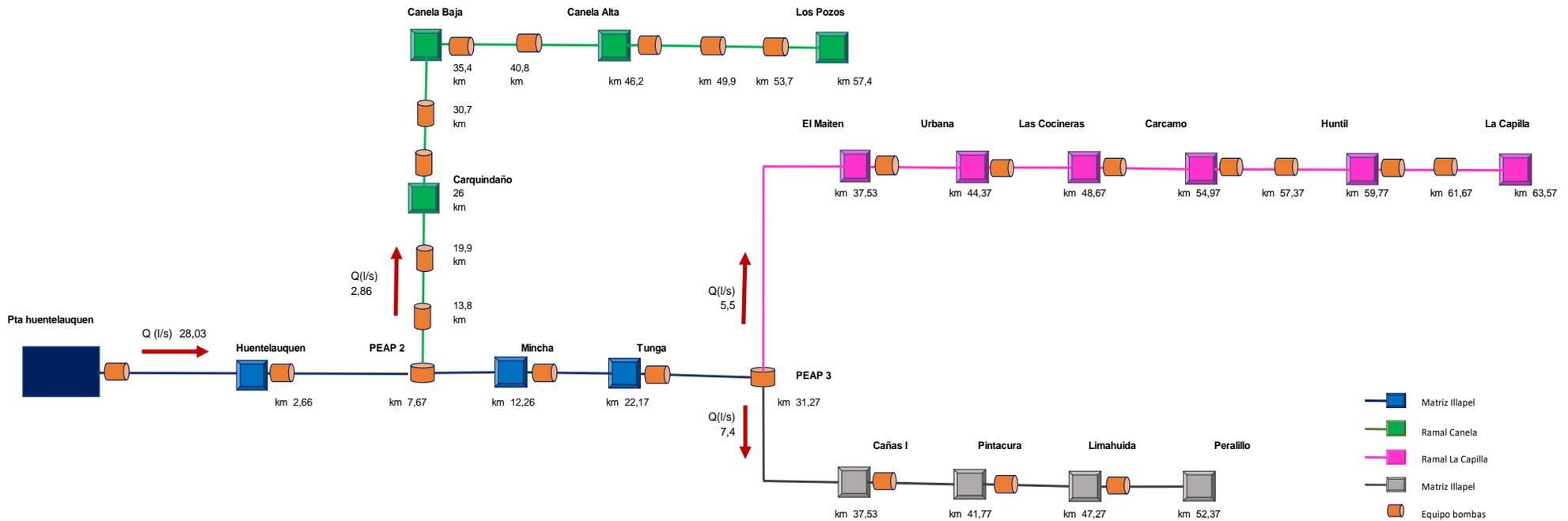


Figura 7.7: Esquema de conducción Pta Huentelauquén a Los Pozos, La Capilla y Peralillo, Comuna de Illapel y comuna de Canela.

Tabla 7.4: Cálculos de magnitudes de los componentes de Matriz Canela - Illapel, Ramal Canela.

Ramal Canela															
Conducciones															
Tramo	Hg	Caudal	Caudal	Material	DN	De	Espesor	Di	Velocidad	C	J	Largo	J x largo	P singular	H total
	(m)	(l/s)	(m ³ /h)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m/s)	W-H	(m/m)	(m)	(m)	(m)	(m)
PTA - Huentelauquen	40	28,03	100,89	HDPE	200	200,0	18,2	163,6	1,33	140	0,01	2.660	0,03	0,00	40,03
Huentelauquen - PEAP 2	22	19,04	68,55	HDPE	180	180,0	16,4	147,2	1,12	140	0,01	5.010	41,41	2,07	65,48
PEAP 2 - Reelev 1	54	2,86	10,30	HDPE	90	90,0	8,2	73,6	0,67	140	0,01	6.110	44,19	2,21	100,40
Reelev 1 - Reelev 2	54	2,86	10,30	HDPE	90	90,0	8,2	73,6	0,67	140	0,01	6.110	44,19	2,21	100,40
Reelev 2 - Carquindaño	54	2,86	10,30	HDPE	90	90,0	8,2	73,6	0,67	140	0,01	6.110	44,19	2,21	100,40
Carquindaño - Reelev 3	40	2,50	9,00	HDPE	75	75,0	6,8	61,4	0,84	140	0,01	4.700	63,92	3,20	107,12
Reelev 3 - Canela Baja	40	2,50	9,00	HDPE	75	75,0	6,8	61,4	0,84	140	0,01	4.700	63,92	3,20	107,12
Canela Baja - Reelev 4	53,50	2,27	8,18	HDPE	75	75,0	6,8	61,4	0,77	140	0,01	5.400	61,58	3,08	118,16
Reelev 4 - Canela Alta	53,50	2,27	8,18	HDPE	75	75,0	6,8	61,4	0,77	140	0,01	5.400	61,58	3,08	118,16
Canela Alta - Reelev 5	39,67	0,61	2,21	HDPE	40	40,0	3,7	32,6	0,73	140	0,02	3.733	82,01	4,10	125,77
Reelev 5 - Reelev 6	39,67	0,61	2,21	HDPE	40	40,0	3,7	32,6	0,73	140	0,02	3.733	82,01	4,10	125,77
Reelev 6 - Los Pozos	39,67	0,61	2,21	HDPE	40	40,0	3,7	32,6	0,73	140	0,02	3.733	82,01	4,10	125,77

Equipo de Bombeo				
Tramo	Caudal	H total	Bomba	Numero
	(m ³ /h)	(m)	Serie L	etapas
PEAP 1 - Huentelauquen	100,89	68,23	L 80 (1E)	1
Huentelauquen - PEAP 2	68,55	65,48	L 80 (1E)	1
PEAP 2 - Reelev 1	10,30	100,40	L 25	5
Reelev 1 - Reelev 2	10,30	100,40	L 25	5
Reelev 2 - Carquindaño	10,30	100,40	L 25	5
Carquindaño - Reelev 3	9,00	107,12	L 25	5
Reelev 3 - Canela Baja	9,00	107,12	L 25	5
Canela Baja - Reelev 4	8,18	118,16	L 25	5
Reelev 4 - Canela Alta	8,18	118,16	L 25	5
Canela Alta - Reelev 5	2,21	125,77	L 25	5
Reelev 5 - Reelev 6	2,21	125,77	L 25	5
Reelev 6 - Los Pozos	2,21	125,77	L 25	5

Estanque de Acumulación							
Estación	Caudal Medio (l/s)	Caudal Máx.Diario	Población	Volumen [m ³]			Volumen de Regulación
				Regulación	Incendio	Reserva	
Huentelauquen	8,98	13,48	4566	175	115	97	290
Carquindaño	0,36	0,54	184	7	115	4	122
Canela Baja	0,23	0,34	115	4	115	2	119
Canela Alta	1,66	2,49	844	32	115	18	147
Los Pozos	0,61	0,92	311	12	115	7	127

Tabla 7.5: Cálculos de magnitudes de los componentes de Matriz Canela - Illapel, Ramal Illapel

Matriz Illapel															
Conducciones															
Tramo	Hg	Caudal	Caudal	Material	DN	De	Esesor	Di	Velocidad	C	J	Largo	J x largo	P singular	H total
	(m)	(l/s)	(m3/h)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m/s)	W-H	(m/m)	(m)	(m)	(m)	(m)
PEAP 2 - Mincha	10	16,20	58,32	HDPE	200	160,0	14,6	130,8	1,21	140	0,01	4.590	49,99	2,50	62,49
Mincha - Tunga	54	13,90	50,04	HDPE	140	160,0	14,6	130,8	1,03	140	0,01	9.910	81,30	4,06	139,36
Tunga - PEAP 3	58	12,90	46,44	HDPE	140	160,0	14,6	130,8	0,96	140	0,01	9.100	65,02	3,25	126,27
PEAP 3 - Cañas I	45	7,40	26,64	HDPE	125	125,0	11,4	102,2	0,90	140	0,01	6.260	53,15	2,66	100,80
Cañas I - Pintacura	34	5,00	18,00	HDPE	110	90,0	8,2	73,6	1,18	140	0,02	4.240	86,13	4,31	124,44
Pintacura - Limahuida	46	2,80	10,08	HDPE	90	75,0	6,8	61,4	0,95	140	0,02	5.500	92,31	4,62	142,92
Limahuida - Peralillo	46	0,90	3,24	HDPE	50	50,0	4,6	40,8	0,69	140	0,02	5.100	76,59	3,83	126,42
PEAP 3 - El Maiten	82	5,50	19,80	HDPE	90	110,0	10,0	90,0	0,86	140	0,01	6.600	60,07	3,00	145,07
El Maiten - Urbana	79	4,60	16,56	HDPE	90	110,0	10,0	90,0	0,72	140	0,01	6.500	42,50	2,13	123,63
Urbana - Las Cocineras	56	3,90	14,04	HDPE	75	90,0	8,2	73,6	0,92	140	0,01	4.300	55,15	2,76	113,91
Las Cocineras - Carcamo	99	3,40	12,24	HDPE	75	90,0	8,2	73,6	0,80	140	0,01	6.300	62,68	3,13	164,81
Carcamo - Reelev 7	77	1,40	5,04	HDPE	63	63,0	5,8	51,4	0,67	140	0,01	2.400	26,53	1,33	104,86
Reelev 7 - Huntill	77	1,40	5,04	HDPE	63	63,0	5,8	51,4	0,67	140	0,01	2.400	26,53	1,33	104,86
Huntill - Reelev 8	76	0,40	1,44	HDPE	32	32,0	3,0	26,0	0,75	140	0,03	1.900	57,03	2,85	135,88
Reelev 8 - La Capilla	76	0,40	1,44	HDPE	32	32,0	3,0	26,0	0,75	140	0,03	1.900	57,03	2,85	135,88

Equipo de Bombeo				
Tramo	Caudal	H total	Bomba	Numero
	(m3/h)	(m)	Serie L	etapas
PEAP 2 - Mincha	58,32	62,49	L 50	3
Mincha - Tunga	50,04	139,36	L 50	5
Tunga - PEAP 3	46,44	126,27	L 50	5
PEAP 3 - Cañas I	26,64	100,80	L 40	3
Cañas I - Pintacura	18,00	124,44	L 32	5
Pintacura - Limahuida	10,08	142,92	L 25	7
Limahuida - Peralillo	3,24	126,42	L 25	5
PEAP 3 - El Maiten	19,80	145,07	L 32	6
El Maiten - Urbana	16,56	123,63	L 32	5
Urbana - Las Cocineras	14,04	113,91	L 25	7
Las Cocineras - Carcamo	12,24	164,81	L 25	9
Carcamo - Reelev 7	5,04	104,86	L 25	4
Reelev 7 - Huntill	5,04	104,86	L 25	4
Huntill - Reelev 8	1,44	135,88	L 25	6
Reelev 8 - La Capilla	1,44	135,88	L 25	6

Estanque de Acumulación							
Estación	Caudal Medio (l/s)	Caudal Máx.Diario	Población	Volumen [m3]			Volumen de Regulación
				Regulación	Incendio	Reserva	
Mincha	2,30	3,45	1170	45	115	25	160
Tunga	0,97	1,46	494	19	115	11	134
El Maiten	0,93	1,39	471	18	115	10	133
Urbana	0,73	1,09	370	14	115	8	129
Las Cocineras	0,45	0,67	227	9	115	5	124
Carcamo	1,98	2,97	1006	38	115	21	153
Huntill	1,03	1,55	524	20	115	11	135
La Capilla	0,42	0,62	212	8	115	4	123
Cañas I	2,41	3,62	1227	47	115	26	162
Pintacura	2,18	3,27	1108	42	115	24	157
Limahuida	1,89	2,83	959	37	115	20	152
Peralillo	0,89	1,34	454	17	115	10	132

Tabla 7.6: Resumen impulsiones-matrices de agua.

Características	Limarí	Quilimarí	Canela-Illapel Ramal Canela	Canela-Illapel Ramal Illapel
Caudal evacuado por planta desaladora [L/s]	11,07	5,7	28,03	*
Material tuberías	HDPE	HDPE	HDPE	HDPE
Diámetros [mm]	63 a 110	32 a 90	40 a 200	32 a 200
Longitud total [m]	64.800	20.000	57.400	63.600
Nº bombas de impulsión	9	6	12	15
Cota máxima [m.s.n.m.]	244	125	508	784
Nº de estanques	7	4	5	12
Capacidad de estanques [m3]	131 a 186	118 a 177	119 a 290	123 a 162

* No comienza en la planta, sino que en un punto intermedio de la matriz Canela – Illapel.

7.3 Uso de Embalses.

A lo largo del presente trabajo se ha encontrado mucha información sobre el desarrollo de proyectos de embalses. En la IV Región de Coquimbo, aquí estudiada, hay varios embalses operando y otros en desarrollo, y que están dentro del plan que actualmente lleva adelante la DOH.

Asimismo, se detectaron oposiciones al desarrollo de estos proyectos en la zona, algunas de las cuales están sustentadas en que no benefician al común de las personas, como fuente de agua potable, sino a empresarios agrícolas. A lo anterior se suma el hecho que, hasta donde se tiene conocimiento, la idea de uso de embalses para fines de abastecimiento de agua potable aún no ha prosperado, y está sujeta a la voluntad de los tenedores de derechos de agua. Se estima que, si las partes involucradas logran acordar el uso de embalses, con esos propósitos, las comunidades y personas volcarán su preferencia hacia los embalses, en tanto ellos se desarrollen en concordancia con los estándares requeridos de sustentabilidad y cuidado del medio ambiente.

De todas formas resulta valorable el esfuerzo del Estado para que los embalses en desarrollo por parte de la DOH, puedan ser usados también como fuente de abastecimientos de los sistemas de APRs; pero según lo constatado durante este estudio, y tomando como base los testimonios de las personas, esto está sujeto a la voluntariedad de los privados o particulares poseedores de derechos de agua. Es por esto que, se estima que a la DOH le falta acercarse a las personas y trabajar más en conjunto con ellas, para que su plan de embalses resulte ser más amigable y aceptable. Ello permitiría una mayor celeridad en su implementación, lo que facilitaría alcanzar más prontamente los niveles de satisfacción requeridos para el abastecimiento de agua potable.

En este contexto, y en lo que sigue del presente sub capítulo, se presentan criterios para el desarrollo de proyectos de embalses, a nivel de ingeniería conceptual, con fines específicos de abastecimiento de agua potable.

Teniendo los volúmenes de regulación estimados en el capítulo anterior es posible hacerse una idea de la dimensión que se requiere para llevar a cabo una obra de embalsamiento para acopio de agua potable.

Para lograr cubrir la demanda de agua potable requerida en las comunas en estudio, se considera la implementación de una, o varias obras de embalse de pequeña o mediana dimensión con capacidad para acopiar la necesidad de agua de un año por comuna con el fin de otorgar un margen de seguridad al abastecimiento, obra que, además, debe llevar asociado una planta de tratamiento o la entrega a una planta existente.

Por otra parte, la idea de que la obra sea sustentable también pasa por ubicar zonas geográficamente aptas para el emplazamiento de estos pequeños embalses con la posibilidad de construir presas pequeñas en puntos estratégicos, tal como zonas estrechas de valles entre cerros, o quebradas, con pendiente baja. La materialidad de estas presas puede ser de tierra, con una sección zonificada (núcleo de arcilla) para otorgar impermeabilidad a los rellenos; o una presa de HCR (hormigón compactado con rodillo), la que se adecúe mejor al sitio de obra (volumen, costo) y a la disponibilidad de materiales en la zona.

Otra forma de crear un lugar de acopio puede ser a través de excavaciones para crear cubeta o piscinas, las que pueden ser cubiertas con material impermeable, como geomembranas o membranas de polipropileno.

La dificultad en implementar un proyecto de este estilo puede estar dada por lo abrupto de la geografía en la zona, con fuertes pendientes, lo que dificultaría el disponer de sectores con buena razón capacidad de embalse/volumen de presa. Se deben buscar sitios donde con poca altura de presa, no superior a 20 metros, y bajo volumen de ella, se consiga un volumen de embalse adecuado a las necesidades.

7.4 Caso Estudio Combarbalá.

La comuna de Combarbalá se ubica en la precordillera de la IV Región, a la cota 900 m.s.n.m. aproximadamente. La localidad está en un valle donde también está emplazado el Embalse Cogotí; aguas debajo de la localidad; en tanto que, en un valle vecino, al sur oeste de la localidad, se ubica el embalse Valle Hermoso. El valle continúa hacia aguas abajo hasta la comuna de Monte Patria, y sigue hacia aguas abajo pasando por la comuna de Ovalle.

Como se menciona anteriormente solo cuatro de las cinco comunas tienen una geografía compatible con el proyecto de desalación, para Combarbalá se aprecia una matriz de agua bastante extensa para abastecimiento de agua desalada, que no sólo debería llegar hasta la misma localidad, sino más aguas arriba para atender los villorrios con APRs. El valle desemboca en la misma zona donde se ha dispuesto la planta Limarí propuesta para la comuna de Punitaqui. Igualmente, la proyección de una matriz que conduzca agua desalada se ve interrumpida en ciertos tramos por cordones montañosos y, también por las obras de embalsamiento que se encuentran estratégicamente ubicados a las salidas de los valles.

Por lo expuesto, se estima que, para este caso, y para los APRs correspondientes, podría justificarse un estudio hidrogeológico que permitiera discernir si existen o no napas subterráneas susceptibles de ser explotadas para abastecimiento de agua dulce, en diversos puntos, para atender las micro zonas deficitarias. Con base en un estudio como éste podría definirse un plan de inversiones para pozos profundos, nuevos, o profundizaciones de los existentes.

Alternativamente, otra solución es el abastecimiento desde los embalses existentes y que disponen de agua. Es decir, podrían competir estas dos alternativas, estimándose que el plan de pozos podría ser más factible de alcanzar, en un plazo razonable, considerando que la otra alternativa requiere cambios legales que difícilmente podrían alcanzarse en un plazo razonable, y que sea consistente con la necesidad actual de agua potable.

Como se menciona en el capítulo 6 del presente estudio, el embalse Valle Hermoso, tiene estipulado en su informe el apoyo a los sistemas APRs de la comuna de Combarbalá, de las conversaciones con las y los dirigentes de la zona se logró verificar esta información, quienes atestiguaron que son 40 acciones en agua embalsada las que les corresponderían a sus sistemas. Sin embargo, a la fecha, la distribución de las 40 acciones aún no se ha hecho efectiva, es más, todavía no se construye la aducción que conducirá el caudal correspondiente hasta la fuente de abastecimiento de los sistemas de agua potable rural.

7.5 Otros Aspectos Asociados a un Proyecto de Desalación.

Otro aspecto que compete en un proyecto de ingeniería de la envergadura de una planta de desalación, son los costos que con lleva la materialización de las obras versus los beneficios a largo plazo que se esperan.

Puesto que el objetivo de este trabajo no es de carácter económico, este punto será abordado muy superficialmente. En lo que sigue nos referiremos únicamente a tarifas del agua potable, costo que debe ser absorbido por la población abastecida o en su defecto por el Estado subsidiario.

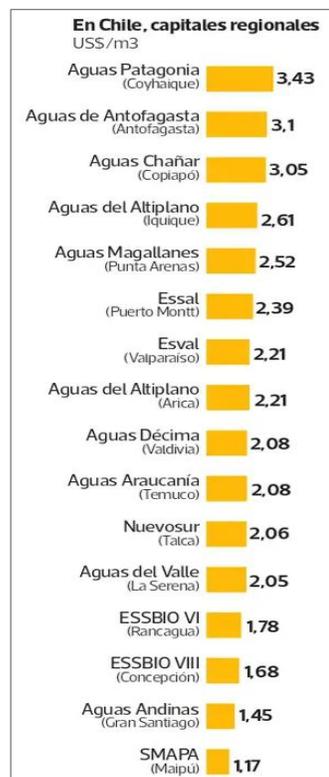
Por otra parte, otro punto relevante y decisivo a la hora de llevar a cabo un proyecto de ingeniería es la normativa ambiental vigente que se encarga de velar por la protección de los territorios y ecosistemas que serán afectados por las obras.

7.5.1 Costos del Suministro de Agua en Chile.

Nuestro país se caracteriza por tener una geografía muy diversa de norte a sur, lo cual se refleja en las múltiples fuentes y procesos de obtención de agua potable, que como es de esperarse, recae en el costo que implica la producción del bien.

A manera de referencia, a continuación, se presentan algunos datos de costo de suministro de agua a lo largo Chile.

Tabla 7.7: Tarifa de agua potable y saneamiento de empresas concesionarias a lo largo de Chile, (US\$/m³).



Fuente: (Super Intendencia de Servicios Sanitarios, 2017)

Ahora bien, en cuanto a la desalación de agua, es una industria que ha ido creciendo en Chile y el mundo, existiendo países que usan este recurso de manera continua y a gran escala, como lo es el caso de la desaladora IDAM Sorek, Israel, que tiene una producción de 624.000 m³/día (IDAM, Ingeniería de aguas, 2020)

Dado el contexto y relevancia internacional que tiene la producción de agua desalada, a continuación, se muestra una gráfica comparativa internacional de costos asociados al suministro del recurso para el sector de la minería, donde se observa una gran diferencia de valores entre Chile y otros países, conferida principalmente a la geografía del país, donde las impulsiones deben superar grandes alturas.

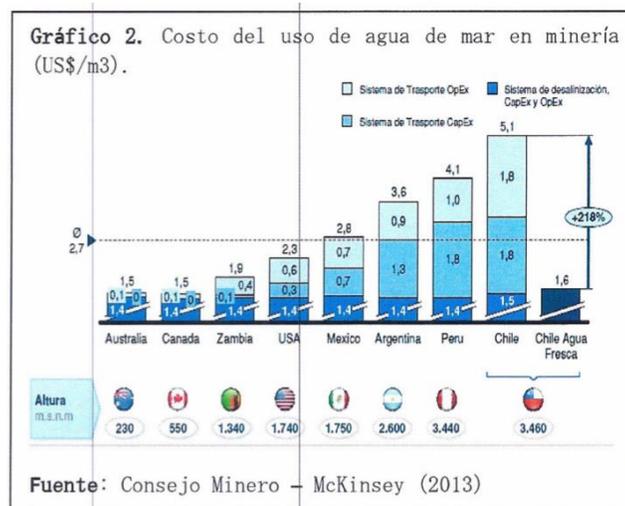


Figura 7.8: Costo asociado al uso de agua de mar en el sector de la minería (US\$/M3).
Fuente: (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2017).

Sin perjuicio de los valores antes mostrados, es preciso señalar que el costo del suministro de agua desalada hacia las localidades estará fuertemente afectado según el costo del suministro de energía eléctrica necesaria para las impulsiones y bombeos. A este respecto, el estudio contenido en la Biblioteca del Congreso Nacional, asegura que para un costo de suministro de energía de 100 US\$/MWh el costo promedio de impulsar y desalar agua de mar sería de 2, 6 US\$/m³; mientras que para un costo de 50 US\$/MWh, el valor desciende a 1,9 US\$/m³.

Es necesario dejar establecido, que estos últimos valores son aproximados y no corresponden a un proyecto específico, es decir, son cifras generales; sin embargo, es promisorio ver que se acercan a los valores más altos de suministro mediante redes (empresas concesionarias), lo que permite considerar la opción de desalar agua de mar para cubrir el abastecimiento de agua potable, y profundizar la utilización de este recurso en estudios posteriores

7.5.2 Aspectos Medio Ambientales de los Proyectos de Desalación.

Según la normativa ambiental vigente, particularmente en lo que se refiere a las disposiciones generales contenidas en el Decreto 40 “Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental”, los proyectos de agua potable deben ser sometidos al sistema de evaluación ambiental, al igual que las plantas de tratamiento de agua. En este contexto, se estima que un proyecto de abastecimiento de agua potable desalada, constituido por una planta de desalación, impulsiones mediante tuberías, estaciones de bombas, y estanques para acopio de agua, debe ser sometido al sistema de evaluación ambiental.

Por otro lado, respecto a si la presentación se realiza mediante un EIA o una DIA, se estima que los impactos generados a partir de la construcción de un proyecto de gran extensión y con múltiples obras, debe ser materia de una Estudio de Impacto Ambiental, que permite estudiar de mejor manera los posibles impactos sobre la calidad de los recursos naturales renovables, tanto en suelo, agua y aire. Además, otro factor que se debe estudiar más en detalle, y que aplica para un estudio de impacto ambiental, es la alteración del valor paisajístico o turismo de la zona (Servicio de Evaluación Ambiental, 2020)

8 Comentarios y Conclusiones.

8.1 Logro de los Objetivos.

8.1.1 Objetivo General.

De acuerdo con lo indicado en el punto 1.2 del presente informe, se analizaron y ponderaron las variables que influyen en la escasez hídrica que afecta a los habitantes que viven en zonas rurales del norte de Chile, y sus consecuencias. De lo cual es posible concluir, por un lado, que efectivamente existe una disminución en la disponibilidad de agua dulce natural por la falta de precipitación; y por otro, en cuanto a las soluciones técnicas que se consideran para aminorar las consecuencias de la escasez hídrica, los embalses que está construyendo el Estado a través del plan de la DOH, aún no se logra hacer efectivo su uso con fines de abastecimiento de agua potable, porque, en lo principal, no existe todavía la institucionalidad que lo secunde. De otra manera, se estima que la situación de escasez hídrica, podría resolverse usando los volúmenes de agua embalsada actualmente, además de aquellos correspondientes a los proyectos en desarrollo. Para esto habría que compatibilizar este uso, para consumo humano, con aquél que ha dado origen, históricamente, a los embalses, y que es el riego para la agricultura.

Conjuntamente, como parte del objetivo general del presente estudio, se contempló proponer soluciones técnicas a nivel de ingeniería conceptual, para resolver, en lo principal, el déficit de agua potable de localidades rurales del norte de Chile. Para esto se investigó sobre: embalses en la zona de estudio, plantas desaladoras y sistemas de APRs; llegando a concluir que, ante la imposibilidad actual de disponer de las aguas dulces embalsadas, una solución sería usar agua desalada, que mediante una red tuberías fuera impulsada hasta los lugares de consumo, a lo largo de los valles donde se ubican las comunas seleccionadas.

8.1.2 Objetivos Específicos.

Respecto de los objetivos específicos los logros son los siguientes:

- a) Sobre el mapeo de comunas del norte de Chile y selección de las cinco más críticas, considerando sus disponibilidades de agua natural e infraestructura existente para el suministro de agua: en el capítulo 4 del presente informe se presentan los antecedentes mediante los cuales se analizaron comunas del norte de Chile. Los criterios aplicados corresponden a los decretos de escasez hídrica, decretos de emergencia agrícola, población no conectada a redes de distribución de agua potable y población vulnerable. De esta manera las comunas seleccionadas son: Canela, Combarbalá, Punitaqui, Los Vilos e Illapel. Estas comunas reúnen una población de 85.601 habitantes y de ellos, 17.597 no tienen acceso a redes de distribución de agua potable. En estas comunas, según el análisis realizado, efectivamente ha disminuido la disponibilidad de agua dulce natural; pero existen 4 embalses en las zonas involucradas (Cogtí, El Bato, Culimo, Valle Hermoso) y a cuyas aguas la población no puede acceder, como se ha indicado antes.

- b) Sobre la investigación y mapeo de las comunas seleccionadas, del norte de Chile, donde no existe disponibilidad de agua potable por redes, o bien, las redes existentes son insuficientes para satisfacer las necesidades normales de la población: se determinó el número de personas afectadas por la falta de agua potable y se investigó el estado de los Sistemas de Agua Potable Rural (APR). Esta investigación se hizo consultando a la DOH y solicitando antecedentes vía ley de transparencia, y consultando directamente, vía telefónica, a los actuales dirigentes de APRs de las comunas seleccionadas. A través de esta investigación se pudo constatar, según declaración telefónica de funcionario de la DOH, que esta institución no supervisa ni hace seguimiento a la operatividad de los APRs, materia que está en manos de los dirigentes de estos sistemas. Además, se constató en la zona afectada existen embalses operando y otros en proyecto; pero que no pueden ser usados para el abastecimiento de agua potable, por lo indicado anteriormente.
- c) Respecto de los planes del Estado para abastecimiento de agua potable en zonas con déficit, y planes de abastecimiento de agua para riego para las zonas declaradas con emergencia agrícola y el análisis de suficiencia de dichos planes; se tiene lo siguiente: el plan conocido del Estado es aquél referido al desarrollo de proyectos de embalses. Actualmente en el área de las cinco comunas seleccionadas existen 4 embalses operando y hay otros 3 en proyecto (Canelillo, Murallas Viejas, La Tranca). Dentro de los documentos abordados en la bibliografía y análisis, se pudo constatar que actualmente el desarrollo de embalses por parte de la DOH también está orientado a usar el agua dulce para consumo humano; pero tal como se pudo constatar en el presente estudio, ese propósito no ha sido posible cumplirlo. De acuerdo con testimonios recogidos esto se debería a la falta de disposición de los tenedores de derechos de agua, privados.
- Adicionalmente no se encontró algún plan de desarrollo de sistemas de APRs, nuevos, o de actualización de sistemas existentes, tendientes a profundizar pozos profundos o a realizar nuevos estudios hidrológicos para el mismo efecto.
- Por su parte los embalses siguen siendo destinados para el riego, han demostrado ser suficientes y que efectivamente mejoran el sistema de riego, permitiéndoles a los tenedores de derechos de agua, normalmente agricultores, almacenar sus aguas para un mejor provecho de la disponibilidad natural de este recurso.
- d) Sobre la realización de un estudio técnico, a nivel de ingeniería conceptual, para proponer soluciones alternativas a las actualmente concebidas, combinando eventualmente, soluciones que hasta ahora se han manejado en forma separada, se tiene lo siguiente: durante el desarrollo del estudio se fue asentando la utilidad de los embalses para abastecimiento de agua potable, más aún, considerando la disposición de parte del Estado. Materialmente es una buena solución, que debe ser complementada con las obras pertinentes, de extracción y conducción de esas aguas. Pero ante la imposibilidad actual de su uso, por falta de una institucionalidad que asegure el abastecimiento a las comunidades que lo requieren, sin que ello esté sujeto a la voluntad de los privados tenedores de derechos de agua; se buscaron otras soluciones y así se investigó sobre plantas desaladoras e

impulsiones de agua desalada, principalmente empleadas en el sector minería. Sobre lo anterior, en el presente informe se entregan soluciones, a nivel de ingeniería conceptual, que contemplan los siguientes esquemas de obras:

Para las comunas de Punitaqui, Canela, Illapel y Los Vilos se proyecta la instalación de tres plantas desaladoras.

- I. En primer lugar, la matriz Canela-Illapel, que tiene por objetivo atender el abastecimiento de agua de ambas comunas, cuenta con una capacidad de producción de agua desalada de 28,03 [L/s]. El ramal Canela tiene una conducción de 57,4 [km]; consta de 12 bombas de impulsión; y 5 estanques de almacenamiento, para alcanzar una cota de 508 [m.s.n.m.]. El ramal Illapel, tiene una conducción de 63,6 [km]; cuenta con 15 bombas de impulsión; y 12 estanques de almacenamiento, para alcanzar una cota de 784 [m.s.n.m.].
- II. Luego se encuentra la matriz Limarí, ubicada en la comuna de Punitaqui, que cuenta con una capacidad de producción de 11,07[L/s]; una conducción de 64,8 [km]; 9 bombas de impulsión; y 7 estanques de almacenamiento, para alcanzar una cota de 244 [m.s.n.m.].
- III. Finalmente, la matriz Quilimarí, ubicada en la comuna de Los Vilos, cuenta con una capacidad de producción de 5,7 [L/s]; una conducción de 20 [km]; 6 bombas de impulsión; y 4 estanques de almacenamiento, para alcanzar una cota de 125 [m.s.n.m.].

8.2 Comentarios y Reflexiones.

Probablemente para las personas que disponemos de agua potable en nuestras casas, suministrada a través de las redes administradas por las empresas concesionarias, sea difícil empatizar con otras personas que también viven en Chile; pero que no están conectadas a redes de distribución y por tanto no tienen el suministro de agua garantizado, en cantidad y calidad; y tampoco empatizaríamos con aquellas otras personas que, estando conectadas a una red de Agua Potable Rural; pero cuya fuente ha sido gravemente afectada por el cambio climático, y la disminución de precipitaciones y caudales, tienen las mismas consecuencias de los que no están conectados a redes de distribución. Si estuviéramos en su lugar seguro entenderíamos, comprenderíamos, empatizaríamos con ellas y ellos, y, lo más importante, contribuiríamos más activamente a resolver esos problemas que son vitales para las personas.

La cercanía hacia las personas que viven estos problemas sin duda ayuda a comprenderlas, empatizar con ellas y motiva a buscar soluciones de ingeniería para resolver estos problemas. Durante este trabajo no fue posible visitar la zona en estudio y entrevistar a las personas afectadas por la falta y disminución del recurso agua, por la pandemia; pero se hicieron entrevistas telefónicas y reuniones de trabajo; en las que se logró recoger sus opiniones y comentarios, todo lo cual enriqueció el presente trabajo y permitió practicar esa cercanía tan necesaria para hacerse parte de los problemas de los demás, y así poder contribuir a su solución.

A lo largo del estudio se ha logrado constatar, una vez más, que la disponibilidad natural de agua ha disminuido en los últimos años, lo cual ha mermado muchos de los sistemas de Agua Potable Rural, dejando sin acceso a este bien a muchos habitantes de la zona norte.

Ante esta realidad, es preciso señalar que las soluciones propuestas por el Estado no están a la altura de la crisis hídrica, ni de las demandas sociales, que reclaman por el acceso a un bien de primera necesidad. Se invierte dinero en soluciones no definitivas, como los decretos de emergencia agrícola y de escasez hídrica, todo como parte de una burocracia estatal que no contribuye a una solución permanente. En relación a las obras de embalse, es preciso señalar que el plan de embalses, que tanto se ha promovido por parte de las autoridades del Estado, no ha traído ninguna solución real para el abastecimiento de agua potable. Aunque en los informes de los proyectos de embalses se contempla dar apoyo a los pobladores para abastecer sus sistemas de Agua Potable Rural, esta idea o propósito no se ha materializado, como es el caso de Valle Hermoso. Esta obra ya está construida, no así las conducciones de agua que permitirían apoyar los sistemas APRs. Esto deja mucho que desear puesto que es uno de los primeros embalses concebidos con fines multipropósito, como lo es su uso para abastecimiento de agua potable, y existen dos proyectos más en la zona que prometen lo mismo. Este incumplimiento resta mucha credibilidad a las autoridades del Estado y a sus planes de inversión.

La falta de agua no es solo un problema físico, de disponibilidad natural del recurso, es un problema político, legal y gubernamental. Es el Estado quien debe asegurar la provisión de los bienes de primera necesidad a los ciudadanos. El agua está, pero está mal distribuida, se le da prioridad a la industria, al riego de grandes predios de frutas y verduras que serán exportadas, mientras en la misma localidad a unos cuantos kilómetros de distancia, las personas deben hacer malabares para conseguir, si tienen suerte, 50 litros de agua al día. Ante esta realidad se requiere un cambio en la institucionalidad que permita usar el agua de los embalses también con fines de consumo humano, para agua potable. Hasta ahora los esfuerzos de las autoridades, según se ha constatado en este estudio, han estado volcados a conseguir la voluntad de los tenedores de derechos de agua que se acopian en embalses, para que accedan a entregar agua para consumo humano, esfuerzos que hasta ahora han resultado infructuosos. De otra manera, no puede depender de la voluntad de ciertas personas el que otras miles cuenten con este recurso vital.

También se requiere más institucionalidad para conseguir que los sistemas de Agua Potable Rural puedan funcionar de manera segura. Nos referimos a la propiedad de los terrenos donde están instalados estos sistemas. Algunos o muchos de ellos no cuentan con las servidumbres necesarias, lo cual genera inseguridad a los usuarios. En este estudio también se constató que no existe supervisión técnica de parte del Estado sobre cómo operan estos sistemas de APRs. No existe información centralizada en el Estado, sobre los consumos y estado de estos sistemas, tampoco se pudo conocer la existencia de algún plan de reinversiones, mantención o profundización de pozos profundos que hayan quedado “colgados” porque la napa subterránea descendió más allá del sistema de extracción de aguas.

Dentro de lo que se puede estudiar e investigar en el plazo que ha demandado este trabajo de título, es posible llegar a concluir que existen recursos hídricos suficientes para satisfacer las necesidades de agua potable de las personas, todas sus necesidades en este campo; y que los problemas de abastecimiento se deben a falta de infraestructura.

Las fuentes hídricas, por lo demás conocidas, son:

- Aguas dulces superficiales y reservas de nieves y glaciares
- Aguas subterráneas y
- Agua de mar, desalada.

La primera fuente mencionada seguro ha sido la más explotada y usada hasta ahora; y sobre la segunda, referida a aguas subterráneas, puede ser la menos investigada hasta ahora y la tercera, el agua de mar, la que siempre ha estado disponible y a la vista, la menos desarrollada hasta ahora; pero que está comenzando a ser usada en Chile como fuente de abastecimiento de agua potable.

Así, es posible concluir, a grandes rasgos, que el recurso agua está disponible y que se requiere de inversiones en estudios y construcción de infraestructura para su aprovechamiento y cambios en la institucionalidad:

- Estudios para investigar más detalladamente la existencia de aguas subterráneas y para la confección de mapas, aumentando las profundidades o longitudes de pozos de prospección
- Estudios para incorporar las tecnologías de desalación, buscando optimizar estas plantas e inversiones, no sólo implementando más plantas de desalación, sino construyendo también las impulsiones y sistemas de tuberías desde el mar hacia la cordillera, tal como ya lo han hecho empresas de explotación minera.
- Plan de inversiones en sistemas de APRs, no sólo para nuevos sistemas, sino principalmente para mantención y mejoramiento de los existentes.
- Plan de inversiones en plantas desaladoras e impulsiones de agua hacia la pre-cordillera.
- Posibilidad de uso de las aguas de embalses con fines de consumo humano.
- Servidumbres para los sistemas de APRs.

Se estima que el uso combinado de los recursos o fuentes de agua disponibles permitirá resolver en un plazo mediano los problemas de falta de agua potable.

Se desconoce cómo se irá a comportar la oferta o disponibilidad de agua dulce natural en los próximos años. Los fenómenos naturales no se pueden predecir con certeza total. Sin embargo, el agua de mar es un bien que se encuentra disponible a lo largo del territorio nacional, y es una fuente de agua que no varía según la época del año, por lo que concebir la idea de desalar para producir agua potable, es una solución más aterrizada que la de construir una obra de embalse para dar seguridad al abastecimiento.

En esta investigación se ha logrado dar con una solución de ingeniería conceptualmente factible: usar agua desalada e impulsarla hasta la precordillera. Sin embargo, una obra de desalación no sería necesaria si las leyes y la política pública priorizara el derecho al agua potable por sobre cualquier actividad industrial y comercial. Es claro que el cambio climático ha repercutido en la disponibilidad de agua, pero agua hay, menos que en el histórico de la zona, pero hay, la escasez hídrica no tiene que ver solo con la disponibilidad material del recurso, también tiene mucho que ver con la gestión que se le da al agua.

Teniendo como base lo expuesto en capítulos anteriores, es posible concluir que es técnicamente factible llevar a cabo un proyecto de desalación en cuatro de las cinco comunas estudiadas, con el propósito de abastecer de agua dulce, desalada, a esas comunidades. El proyecto de desalación es posible materialmente hablando, ya que en el mercado existen equipos de bombes y tuberías que permiten conducir el agua desde la costa hasta las localidades ubicadas en la precordillera.

Como parte de las ventajas que conlleva tal proyecto presentado, es que el uso de agua de mar no compite con ninguna actividad económica desarrollada en la zona, lo que permite dar mayor seguridad al abastecimiento de agua potable de forma permanente y continua durante todo el año. Asimismo, el suministro de agua no depende de la variabilidad estacional del recurso, puesto que el agua de mar es una fuente inagotable de agua.

Otra de las ventajas que tiene esta idea de proyecto es que considera una línea o tubería matriz para abastecimiento de agua desalada, con fines de consumo como agua potable; que podría ser usada también en forma reversible. Es decir, si la institucionalidad lo permitiera más adelante, agua dulce proveniente de los embalses instalados en la zona, podrían escurrir por estas tuberías o líneas matrices con fines de consumo humano. Los mismos estanques aquí definidos también serían útiles en esta situación, con la ventaja que según los sectores y tramos a usar podría no ser necesario el uso de las bombas.

Por otra parte, como se señala a lo largo de este informe, el análisis realizado es de factibilidad técnica a nivel de ingeniería conceptual de las obras, por lo que para desarrollar las siguientes etapas de ingeniería para proyectos de este tipo es necesario e imperativo que se realicen estudios topográficos, hidrológicos, geotécnicos y de interferencias en detalle para conocer las condiciones del terreno y estimar y dimensionar las obras a cabalidad. Además, en cuanto a las conducciones, estanques y obras de desalación es necesario considerar obras de protección, como protección costera para la planta, y protecciones para la conducción con el fin de resguardar la obra de fenómenos como el golpe de ariete, desprendimientos de tierra, entre otros.

Otro punto importante que merece un estudio en detalle es investigar acerca de las reales condiciones de abastecimiento de las personas que habitan en localidades rurales mediante sistemas de APRs, ya que la información pública al respecto no es completa, y la recopilación realizada en este estudio puede dar una idea de lo que ocurre en la zona, pero no es del todo completa ya que no se pudo concurrir a las comunas por la situación que se vive a nivel mundial.

Por otro lado, y en relación a los embalses, es necesario destacar la necesidad de un cambio institucional, que permita contar con las leyes que corresponda para que los embalses puedan ser usados para fines de abastecimiento de agua potable, y, entonces no se tenga que recurrir, como se ha informado por parte de las personas que administran los APRs, a la voluntad de particulares para que esos recursos puedan ser utilizados para consumo humano. Hasta ahora las autoridades del Estado han usado el camino de llegar a acuerdo con esos particulares; pero ello no ha prosperado.

En el presente trabajo se presenta, a nivel de ingeniería conceptual, una solución en base al uso de agua desalada, para abastecimiento de agua potable, para cuatro comunas. Para la comuna de Combarbalá, que está bastante alejada de la costa y que presenta mayores dificultades para llegar con las líneas matrices, se recomienda prospectar el uso de pozos profundos, previa investigación hidrogeológica y buscar, más enérgicamente, los acuerdos necesarios para usar el agua dulce embalsada.

Durante las investigaciones realizadas para este estudio no se encontró bibliografía asociada a cómo se practicaría, o qué obras sería necesario implementar, para aprovechar el agua embalsada como agua potable; por lo que, eventualmente, de destrabarse el aspecto legal – administrativo ya señalado, se abriría todo un campo de desarrollo de proyectos de ingeniería asociado al aprovechamiento de agua embalsada, semejante al presentado aquí y que está asociado al uso de agua de mar, desalada.

9 Bibliografía

- Aguas de Antofagasta S.A. (2015). *Declaración de Impacto Ambiental Planta Desaladora Tocopilla, Capítulo 1. "Descripción de Proyecto"*.
- Área Evaluación Recursos Hídricos. (2000). *Informe de la Comisión Mundial de Presas*. Santiago.
- Banco Mundial . (2019). *Datos Banco Mundial: Población rural (% de la población total) - Chile*. Obtenido de Población rural (% de la población total) - Chile: <https://datos.bancomundial.org>
- BCN Ley Chile. (2019). *BCN: Ley Chile: Resolución 400 Exenta* . Obtenido de Resolución 400 Exenta Ministerio de Agricultura: <https://www.bcn.cl/leychile>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2017). *Costo Económico del uso de Agua Desalada en la Minería Chilena*. Santiago.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2020). *Chile Nuestro País: Regiones: Hidrografía de la región de Coquimbo*. Obtenido de Hidrografía de la región de Coquimbo : <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region4/hidrografia>
- Center for Climate and Resilience Research (cr2). (2 de enero de 2020). ¿Qué ocurre en Chile, sequía o escasez hídrica? Santiago, Chile.
- Center for Climate and Resilience Research. (2020). *(CR)2 : Informe a las Naciones: La megasequía 2010-2019* . Obtenido de La megasequía 2010-2019, una lección para el futuro: <http://www.cr2.cl/megasequia/>
- CNN Chile. (4 de septiembre de 2019). 5 Regiones en emergencia agrícola: Qué es y qué implica para las zonas afectadas por la sequía. *Lo dijeron en CNN : Sequía*.
- Comité Nacional Chileno de Grandes Presas. (2020). *IcoldChile: Registro de Presas Chilenas* . Obtenido de Registro de Presas Chilenas : <https://www.icoldchile.cl>
- Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo. (2011). *Indicadores y Cifras relevantes : Estres Hídrico en Chile* . Obtenido de Estres Hídrico en Chile : <https://www.cnid.cl/indicadores-y-cifras-relevantes/>
- Consejo Políticas de Infraestructura. (25 de 11 de 2019). Desaladoras y fortalecer APRs, prioridades para enfrentar la sequía. *Home / Noticias* .
- Consortio Valle Hermoso S.A. (2011). *Diseño Construcción Embalse Valle Hermoso, Río Pama, Comuna de Combarbalá, INFORME FINAL*.
- Dirección de Obras Hidráulicas . (2017). *Manual de proyectos de Agua Potable Rural*. Santiago.

- Dirección de Obras Hidráulicas, Coquimbo. (2020). *Solicitud de Información Ley de Transparencia*. Obtenido de <http://transparencia.mop.cl/>
- Dirección General de Aguas . (2017). *Balance Hídrico Nacional*. Santiago .
- Dirección General de Aguas . (2020). *Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea*. Obtenido de Mapa Red Hidrométrica DGA : <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>
- Dirección General de Aguas . (Abril de 2020). *Ministerio de Obras Públicas - Dirección General de Aguas: Decretos Zonas Escasez*. Obtenido de Planilla Decretos zonas de escasez hídrica (2008 -2020): <https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos>
- Dirección General de Aguas . (Marzo de 2020). *Red MOP: Administración de Recursos Hídricos* . Obtenido de Decretos declaración zona de escasez vigentes: <https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez>
- Dirección General de Aguas. (2019). *Red MOP: Productos y Servicios : Información Hidrológica : Boletines Hidrológicos*. Obtenido de Boletines Hidrológicos: <https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/informacionhidrologica>
- Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A. (2014). *Estudio de Impacto Ambiental Planta Desalinizadora de Agua de Mar para la Región de Atacama, Capítulo I: “Descripción del Proyecto”*. Santiago.
- Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A. (2014). *Ficha del Proyecto “Planta Desalinizadora de Agua de Mar para la Región de Atacama, Provincias de Copiapó y Chañaral”*. Santiago.
- Estudio de Impacto Ambiental . (2011). *Estudio de Impacto Embalse Valle Hermoso, Capítulo I: “Descripción del Proyecto”*.
- Fundación Amulen . (2018). *Radiografía del agua rural en Chile: visualización de un problema oculto*. Santiago .
- IDAM, Ingeniería de aguas. (25 de agosto de 2020). Las 3 desaladoras mas grandes del mundo. *TECPA*.
- Instituto Nacional de Estadísticas . (Mayo de 2018). *Censo 2017: Servicio de Mapas : Urbano/Rural Contexto de resultados* . Obtenido de Urbano/Rural Contexto de resultados: <http://www.censo2017.cl/servicio-de-mapas>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (Junio, 2018). *Síntesis de resultados Censo 2017*. Santiago: INE . Obtenido de Síntesis de resultados Censo 2017 .
- Mesa Nacional del Agua, MOP. (febrero 2020). *Primer informe Mesa nacional del agua 2020*.

- Ministerio de Agricultura. (2020). *Inicio: Embalses* . Obtenido de Embalses : Plan de Regulación de Embalses: <https://www.cnr.gob.cl/agricultores/infraestructura>
- Ministerio de Agricultura. (2020). *Portada: Decretos Emergencia Agrícola* . Obtenido de Decretos Emergencia Agrícola : <https://www.minagri.gob.cl/>
- Ministerio de Bienes Nacionales IDE Chile. (2016). *Inicio : Información Territorial: Embalses 2016*. Obtenido de Embalses : <http://www.ide.cl>
- Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2018). *Informe de Desarrollo Social*. Santiago.
- Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (Agosto de 2018). *Inicio: Encuesta Casen : Resultados Pobreza Casen* . Obtenido de Resultados Pobreza Casen : http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen_2017.php
- Ministerio de Obras Públicas. (2018). *Base Nacional de Sistemas de Agua Potable Rural* . Santiago: Solicitud Via Transparencia .
- Ministerio de Obras Públicas: Dirección de Obras Hidráulicas . (Agosto, 2015). *Infraestructura Hidráulica de Agua Potable Rural (APR)*. Santiago .
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (mayo 2014). *Análisis de la situación hídrica en Chile, propuestas y políticas*. Santiago.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Estado del Medio Ambiente*. Santiago.
- MN Ingenieros Ltda. (Septiembre 2009). *Estudio de Prefactibilidad de Construcción Embalse Canelillo*.
- MN Ingenieros Ltda. (2011). *Estudio de Factibilidad Construcción Embalse Murallas Viejas, Región de Coquimbo*.
- MN Ingenieros Ltda. (Abril 2011). *Estudio de Factibilidad Construcción Embalse La Tranca en río Cogotí*.
- Nortevisión. (26 de marzo de 2019). Dan a conocer los avances del Embalse El Canelillo en la provincia del Choapa.
- Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales. (12 de Enero de 2018). Triunfó la comunidad de El Durazno, embalse La Tranca no va.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura . (2020). *AQUASTAT - Sistema mundial de información de la FAO sobre el agua en la agricultura* . Obtenido de AQUASTAT : Presas: <http://www.fao.org/aquastat>
- Paleo, D. (05 de 04 de 2017). Dos embalses en la región se mantienen sobre su capacidad máxima . *Diario el Día*, pág. <http://www.diarioeldia.cl/economia/embalses>.

Radio Comunicativa. (2019). Regantes de Río Combarbalá piden al Gobierno agilizar proyecto de embalse Murallas Viejas. pág. <https://www.radiocomunicativa.cl>.

Servicio de Evaluación Ambiental. (2020). *Inicio: Acerca: Declaración o estudio de impacto ambiental*. Obtenido de ¿Declaración o Estudio de Impacto Ambiental?: <https://www.sea.gob.cl/sea/declaracion-estudio-impacto-ambiental>

Super Intendencia de Servicios Sanitarios. (2017). *Dotación de Agua Potable (litros por habitante al día)*. Santiago .