



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

**FACTIBILIDAD TÉCNICA DE USO DE EMBALSES DE RIEGO
EXISTENTES PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN ZONAS
RURALES EN LA PROVINCIA DE LIMARÍ, REGIÓN DE COQUIMBO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AGUSTÍN NICOLÁS DÍAZ BÓRQUEZ

PROFESOR GUÍA
ADOLFO OCHOA LLANGATO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN
LEONARDO CEPEDA ARAYA
EZEQUIEL CAMUS HAYDEN

SANTIAGO DE CHILE
2022

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: AGUSTÍN NICOLÁS DÍAZ BÓRQUEZ
FECHA: 2022
PROF. GUÍA: ADOLFO OCHOA LLANGATO**

**FACTIBILIDAD TÉCNICA DE USO DE EMBALSES DE RIEGO
EXISTENTES PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN ZONAS
RURALES EN LA PROVINCIA DE LIMARÍ, REGIÓN DE COQUIMBO**

Dada la escasez hídrica en Chile, y especialmente en zonas rurales (47,2 % de la población rural en Chile no tiene acceso a red pública de agua potable), el presente trabajo de título tiene la intención de aportar con soluciones dirigidas a resolver el problema de abastecimiento de agua potable en comunidades rurales, en particular en la provincia de Limarí, Región de Coquimbo. Se escoge esta provincia como zona de estudio ya que además de poseer un marcado componente rural (32,75 % de población rural) y estar bajo la influencia de un bioclima con escasez de precipitaciones, en su territorio existen embalses de riego con la capacidad de abastecer a los sistemas de Agua Potable Rural (APR) de Limarí. De hecho, la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) ha previsto esta posibilidad desde el año 2011 para el embalse Valle Hermoso en Combarbalá, recientemente construido el 2019, aunque las obras no se han materializado aún.

En este trabajo se investigó sobre experiencias de usos de embalses para abastecimiento de agua potable, analizando los 3 embalses que cumplen ese propósito en Chile, Los Aromos y Peñuelas en la Región de Valparaíso, y El Yeso en la Región Metropolitana, identificando las obras fundamentales que debe tener un embalse que suministra agua potable: obra de toma, planta de tratamiento, y matriz de distribución. Además, se hace una revisión bibliográfica de los embalses construidos (La Paloma, Cogotí, Recoleta y Valle Hermoso) en la provincia de Limarí y los proyectados por la DOH en la misma (Murallas Viejas y La Tranca), determinando sus características, capacidades y destino de las aguas embalsadas.

Para el estudio se seleccionaron dos embalses, Valle Hermoso y La Paloma, con el objetivo de analizar su uso como fuente de abastecimiento para dar apoyo a los 18 APRs de Combarbalá y a los 26 APRs de Monte Patria respectivamente. Considerando una dotación de 170 l/hab/día y una proyección de la población a 20 años se determinaron las demandas de agua potable para estos embalses. Con los caudales de demanda se diseñaron, a nivel de ingeniería conceptual, los sistemas colectivos desde los embalses hasta los APRs, incluyendo en cada caso, obra de captación, matriz de conducción de agua, plantas elevadoras cuando correspondía y estanques de acumulación. No se contemplaron plantas de tratamiento de agua potable en el diseño dado que se estimó que cada APR puede tratar el agua en sus propios sistemas de tratamiento existentes. El sistema colectivo del embalse Valle Hermoso funciona de manera gravitacional, tiene 157,35 km de matriz, 18 estanques (200 a 300 m^3 de capacidad), 1 planta elevadora (1 bomba) en la toma de agua, y transporta un caudal de 141,94 l/s. El sistema colectivo del embalse La Paloma funciona por medio de impulsiones desde el embalse hasta las localidades, tiene 157,7 km de matriz, 65 estanques (50 a 500 m^3 de capacidad), 40 plantas elevadoras (43 bombas), y transporta un caudal de 276,67 l/s.

*Tienes razón, todos los esfuerzos son inútiles,
si no crees en ti mismo
Dedicado a mis padres Lorena y Agustín*

Agradecimientos

En primer lugar, quiero darle gracias a Dios por ponerme en esta senda que cuando chico jamás pensé que iba a recorrer, y darme la fortaleza para ayudarme a sortear los grandes desafíos que se me cruzaron por delante.

Infinitas gracias a mis dos pilares, mis papás, Agustín y Lorena, gracias por hacer el sacrificio de darme una excelente educación tanto en el colegio como en la U, por quererme y siempre estar ahí, por ser ejemplos de vida, inculcarme hacer deporte, en fin, los amo, sin ustedes no habría podido llegar hasta aquí. Gracias a mi hermana Ale por acompañarme siempre, quererme, molestarme y cocinar los mejores postres, te quiero mucho. Gracias a mis hermanos mayores, Nico, Tomás y Moni, por el amor entregado desde que nací, los quiero mucho, y obvio gracias por alegrarme la vida con mis sobrinos Nicolás, Mario, Mariana, Moisés, Bruno, Lore, Horacio, Carlitos (ahijado) y María Gracia. Gracias a mi hermana Lorenita que me ha cuidado siempre desde arriba. Como no acordarme también de mi querida Lela que amo y extraño todos los días, sé que estarías muy contenta de verme ahora. Gracias a mi querida tía Sonia por el amor desinteresado de tantos años, los halloween, las tortas, te quiero mucho. Gracias a mi tía Rosita por su cariño y apoyo a mi familia en momentos difíciles.

Gracias a mis amigos del colegio, Nato, Mathi, Pato, Mauro, Fabiano, Isis, Cony, Mario-li, Javi, Marti, etc, por los momentos compartidos desde niños, porque aunque a veces pasa harto rato sin vernos el cariño siempre está. Gracias Saza y Dani, mis amigas desde el colegio y también en Beauchef, por esas juntas de estudio al principio y su amistad todos estos años. Gracias a Csd Bocheros por esas largas horas jugando fifa en la pandemia que servían para distender de la carga de la U online, y a la Bandita de Cracknales por estar siempre para apoyar a la T_T. Gracias a mis amigos de Beauchef, primero a mis grandes amigos de mechón, Tomi, Nico, Rorro y Cris por apañarnos desde plan común hasta hoy, los quiero mucho. Y gracias mis grandes amigos de civil Don yeyo, Benja, Byron, Fedo, Pablito, Koko, Gonx y Chalo, por tanto apañe en los ramos, las juntas, los almuerzos, las risas, los quiero.

Gracias a mis profes de la U, especialmente al profe Adolfo por darme la oportunidad de trabajar con él, me quedo, entre otras cosas, con sus ganas de aplicar la ingeniería para ayudar a las personas, sin importar costos. A Leonardo le agradezco mucho su gran apoyo en este trabajo, y por siempre estar disponible para reunirnos en innumerables ocasiones. Gracias a Ezequiel por aportar desde su experiencia. Mención honrosa para el profe Julio Figueroa por siempre preocuparse de que tuviéramos espacios para jugar basket. También gracias a mis profesores del colegio, que me dieron las herramientas para entrar a la U.

Finalmente gracias a mi por no rendirme cuando las cosas se ponían difíciles, por no tirar la toalla en IV medio cuando lo que tenía planeado no resultó, y por aprender de mis errores.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivo general	2
1.2.1. Objetivos específicos	2
1.3. Alcances	2
2. Marco teórico	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Población rural en Chile y acceso a agua potable	7
2.3. Zona de estudio	9
2.3.1. Cuenca del río Limarí	11
2.4. Programa de Agua Potable Rural	12
3. Experiencias de usos de embalses para abastecimiento de agua potable	22
3.1. Embalse Los Aromos	22
3.2. Embalse Peñuelas	24
3.3. Embalse El Yeso	28
4. Embalses construidos y/o proyectados en la provincia de Limarí	32
4.1. Embalses construidos	33
4.1.1. Embalse La Paloma	33
4.1.2. Embalse Cogotí	36
4.1.3. Embalse Recoleta	37
4.1.4. Embalse Valle Hermoso	39
4.1.4.1. Estudio de Viabilidad Sistemas APR Abastecidos por Embalses de Comuna de Combarbalá	41
4.1.4.2. Estado de avance de las obras de apoyo a APRs por parte del embalse Valle Hermoso	47
4.2. Embalses proyectados	49
4.2.1. Embalse Murallas Viejas	50
4.2.2. Embalse La Tranca	52
5. Determinación de la demanda de agua potable en comunidades rurales y zonas de influencia de los embalses elegidos	54
5.1. Selección de embalses para abastecimiento de agua potable a comunidades rurales	54
5.1.1. Porcentaje de viviendas sin agua de la red pública	54
5.1.2. Embalses ubicados dentro de la comuna	55

5.1.3.	Porcentaje de habitantes en situación de pobreza multidimensional	55
5.1.4.	Porcentaje de habitantes en situación de pobreza por ingresos	55
5.1.5.	Nº APRs y arranques en la comuna	55
5.1.6.	Nº decretos de escasez hídrica emitidos por comuna	56
5.1.7.	Matriz de selección de comunas	56
5.2.	Localidades en las áreas de influencia de los embalses elegidos	57
5.2.1.	Comuna de Combarbalá	58
5.2.2.	Comuna de Monte Patria	60
5.3.	Determinación de las demandas de agua para cada embalse	62
6.	Diseño conceptual de los sistemas colectivos de agua potable	70
6.1.	Sistemas colectivos de agua potable desde embalses hasta APRs	70
6.1.1.	Toma de agua	70
6.1.2.	Tratamiento del agua	73
6.1.3.	Trazados de tuberías desde embalses hasta APRs	73
6.1.3.1.	Condiciones de diseño	73
6.1.3.2.	Criterios de diseño de los trazados	73
6.1.3.3.	Trazado embalse Valle Hermoso	75
6.1.3.3.1.	Cálculo del trazado embalse Valle Hermoso	78
6.1.3.4.	Trazado embalse La Paloma	88
6.1.3.4.1.	Cálculo del trazado embalse La Paloma	91
6.1.4.	Resumen sistemas colectivos	98
6.2.	Estimación de costos de construcción de las soluciones definidas	99
6.2.1.	Movimiento de tierras	99
6.2.2.	Estanques	99
6.2.3.	Plantas elevadoras de agua potable	101
6.2.4.	Estimación costos de construcción del sistema para el embalse Valle Hermoso	102
6.2.4.1.	Interconexiones hidráulicas	102
6.2.4.2.	Estanques Corta Presión	106
6.2.4.3.	Captación	106
6.2.4.4.	Costo total solución embalse Valle Hermoso	106
6.2.5.	Estimación costos de construcción del sistema para el embalse La Paloma	106
6.2.5.1.	Interconexiones hidráulicas	107
6.2.5.2.	Estanques de acumulación y elevación	110
6.2.5.3.	PEAP	111
6.2.5.4.	Captación	112
6.2.5.5.	Costo total solución embalse La Paloma	112
6.2.6.	Resumen costos de construcción de los sistemas colectivos	112
7.	Conclusiones	113
7.1.	Logro de los objetivos	113
7.1.1.	Objetivo general	113
7.1.2.	Objetivos específicos	113
7.2.	Comentarios y reflexiones	114
	Bibliografía	119

Anexos	123
Anexo A. Estudio de viabilidad Sistemas APR Abastecidos por Embalses de Comuna de Combarbalá	123
A.1. Localidades posibles de ser abastecidas por embalses La Tranca, Murallas Viejas y Valle Hermoso, en el estudio realizado por MN Ingenieros (2011)	123
Anexo B. Solicitudes vía Ley de Transparencia	125
B.1. Primera solicitud	125
B.2. Segunda solicitud	126
Anexo C. Catálogos utilizados	127
C.1. Catálogos de tuberías	127
C.2. Catálogo bombas en balsa captación	128
C.3. Catálogo de bombas embalse La Paloma	129
C.3.1. Bell & Gossett	129
C.3.2. Vogt	136
Anexo D. Obra de captación	140
D.1. Cálculo captación	140
D.2. Costo captación	140

Índice de Tablas

2.1.	Población rural sin acceso a red pública de agua potable. Elaboración propia. .	8
2.2.	Características sociodemográficas provincia de Limarí. Fuente: Elaborado por ODEPA basado en Censo 2017.	10
2.3.	Porcentaje de población urbana/rural de la Provincia de Limarí y comunas. Fuente: Gobernación Provincial Limarí, 2019	10
2.4.	Viviendas sin agua de la red pública y Situación de pobreza de la provincia de Limarí por comuna. Fuente: Elaborado por ODEPA basado en Censo 2017. . .	10
2.5.	Iniciativas presupuestadas por el MOP para el año 2022. Fuente: MOP, 2022. .	13
2.6.	Estimación de Población rural atendida por el programa APR en los diferentes gobiernos de Chile desde 1990 hasta 2018. Elaboración propia en base a Figura 2.8.	15
2.7.	Gasto aproximado en camiones aljibe (\$) en la provincia de Limarí, estimados en base a Figura 2.12, por comuna. Elaboración propia.	20
4.1.	Resumen características embalse la paloma. Fuente: Sandoval, 2003.	35
4.2.	Resumen características embalse cogotí. Fuente: Edic Ingenieros Ltda. 2000. .	37
4.3.	Resumen características embalse recoleta. Fuente: SEA, 2018.	38
4.4.	Resumen características embalse Valle Hermoso. Fuente: SEA, 2012.	40
4.5.	Trazado de tuberías. Fuente: Subdirector SSR Región de Coquimbo vía Ley de Transparencia, 4 de junio 2021.	48
4.6.	Trazado de tuberías. Fuente: Subdirector SSR Región de Coquimbo vía Ley de Transparencia, 4 de junio 2021.	49
5.1.	Matriz de selección de comunas. Elaboración propia.	56
5.2.	APRs y Arranques de la Comuna de Combarbalá. Fuente: Presidente Asociación Gremial de APR Provincia de Limarí, 27-08-2021.	58
5.3.	APRs y Arranques de la Comuna de Monte Patria. Fuente: Presidente Asociación Gremial de APR Provincia de Limarí, 27-08-2021.	60
5.4.	Dotaciones de agua potable promedio de empresas concesionarias de servicios sanitarios nacionales desde 2011 hasta 2017. Fuente: SISS, 2017.	63
5.5.	Proyección de población en APRs de la comuna de Combarbalá para determinar demanda del embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.	65
5.6.	Proyección de población en APRs de la comuna de Monte Patria para determinar demanda del embalse La Paloma. Elaboración propia.	66
5.7.	Demanda de agua potable rural para embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.	67
5.8.	Demanda de agua potable rural para embalse La Paloma. Elaboración propia.	68
6.1.	Resumen longitud trazado embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.	78
6.2.	Datos tuberías ejemplo Epanet. Elaboración propia.	80
6.3.	Datos nodos ejemplo Epanet. Elaboración propia.	80

6.4.	Representación nodos en Modelo Epanet, junto a sus respectivas cotas y demandas de agua. Elaboración propia.	81
6.5.	Selección diámetros, longitud y caudal de los tramos del trazado embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.	82
6.6.	Resultados simulación Modelo Epanet embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.	83
6.7.	Selección de diámetros derivaciones para instalación de estanques Corta Presión. Elaboración propia.	85
6.8.	Dimensionamiento estanques Corta Presión para sistema embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.	88
6.9.	Resumen longitud trazado embalse La Paloma. Elaboración propia.	91
6.10.	Cálculo trazado embalse La Paloma y puntos de operación de PEAP. Elaboración propia.	94
6.11.	Chequeo presiones tuberías sistema embalse La Paloma. Elaboración propia. . .	95
6.12.	Equipos de bombeo para sistema embalse La Paloma. Elaboración propia. . . .	96
6.13.	Dimensionamiento estanques de elevación sistema embalse La Paloma. Elaboración propia.	97
6.14.	Dimensionamiento estanques de acumulación sistema embalse La Paloma. Elaboración propia.	98
6.15.	Resumen de las características de ambos sistemas colectivos. Elaboración propia.	98
6.16.	Precios por metro cúbico del movimiento de tierras. Obtenido de proveedores de cañerías para análisis.	99
6.17.	Costos por estanque semienterrado en terreno bueno-regular. Valores históricos para análisis de proyectos de ingeniería.	100
6.18.	Movimiento de tierras solución embalse Valle Hermoso. Elaboración propia. . .	102
6.19.	Precio por metro de suministro de las tuberías de acero según el diámetro nominal. Obtenido de proveedores de cañerías para análisis.	103
6.20.	Estimación de costos de construcción de interconexiones hidráulicas para sistema embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.	105
6.21.	Costo total de los estanques Corta Presión solución embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.	106
6.22.	Costo total captación embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.	106
6.23.	Costo total de construcción de la solución del embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.	106
6.24.	Movimiento de tierras solución embalse La Paloma. Elaboración propia.	107
6.25.	Estimación de costos de construcción de interconexiones hidráulicas de las conducciones del sistema embalse La Paloma. Elaboración propia.	109
6.26.	Costo total estanques de acumulación solución embalse La Paloma. Elaboración propia.	110
6.27.	Costo total estanques de elevación solución embalse La Paloma. Elaboración propia.	110
6.28.	Costos de construcción de PEAP sistema embalse La Paloma. Elaboración propia.	111
6.29.	Costo total captación embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.	112
6.30.	Costo total de construcción de la solución del embalse La Paloma. Elaboración propia.	112
6.31.	Resumen costos de construcción de ambos sistemas colectivos. Elaboración propia.	112
D.1.	Cálculo de captación de los embalses. Elaboración propia.	140
D.2.	Cálculo costos de construcción captaciones. Elaboración propia.	140

Índice de Ilustraciones

2.1.	Precipitaciones acumuladas a junio 2022, en comparación con el promedio histórico para el mismo mes entre los años 1991-2020. Fuente: DGA, 2022.	4
2.2.	Mapa de variación de caudales para el mes de junio 2022, en comparación con el promedio histórico para el mismo mes entre los años 1991-2020. Fuente: DGA, 2022.	5
2.3.	Gasto en camiones aljibes en millones de \$. Fuente: Fundación Amulén, 2018. .	6
2.4.	Total de viviendas particulares ocupadas, por áreas, según origen del agua. Fuente: INE, 2018.	7
2.5.	Zona de estudio. Elaboración propia.	9
2.6.	Cuenca del río Limarí. Fuente: Diagnóstico del Estado Hidrogeológico de la Cuenca del Limarí, MOP-DGA, 2020.	11
2.7.	Instalaciones de Sistemas de APR 1964-2013. Fuente: MOP-DOH, 2015.	14
2.8.	Evolución de población atendida por el PAPR desde sus inicios hasta 2018. Fuente: Fundación Amulén, 2018.	15
2.9.	Problemas detectados por los alumnos en práctica en los APRs de Limarí, parte 1. Fuente: Informes de Práctica Profesional Alumnos DIC, febrero 2022.	17
2.10.	Problemas detectados por los alumnos en práctica en los APRs de Limarí, parte 2. Fuente: Informes de Práctica Profesional Alumnos DIC, febrero 2022.	18
2.11.	Nº APR suministrado con camión aljibe producto de la falta de agua por la sequía (Feb 2015). Fuente: MOP-DOH, 2015.	18
2.12.	Gasto en camiones aljibe (\$) por comuna en la Región de Coquimbo, periodo 2014-2018. Fuente: Plan Emergencia Hídrica 2019-2021 Región de Coquimbo, 2019.	20
2.13.	Cifras de Litros Entregados y Cobertura territorial en Localidades Coquimbo (2013 y 2018). Fuente: Plan Emergencia Hídrica 2019-2021 Región de Coquimbo, 2019.	21
3.1.	Tubería Reversible Aromos-Concón. Fuente: ESVL, 2021.	23
3.2.	Acueducto de Agua Potable Peñuelas-Vigía. Fuente: Berrios, 2008.	24
3.3.	Esquema de la obra de captación de embalse Peñuelas. Fuente: Aquatierra Ingenieros, 2011.	25
3.4.	Vista Torre de Captación. Fuente: Berrios, 2008.	26
3.5.	Vista satelital de embalse peñuelas y planta de tratamiento. Fuente: Berrios, 2008.	27
3.6.	Filtros de tratamiento. Fuente: Berrios, 2008.	27
3.7.	Ubicación embalse El Yeso. Fuente: Google Earth.	28
3.8.	Características técnicas embalse El Yeso. Fuente: Sandoval, 2003.	29
3.9.	Principales obras embalse El Yeso, parte 1. Fuente: Aquatierra Ingenieros, 2011.	30
3.10.	Principales obras embalse El Yeso, parte 2. Fuente: Aquatierra Ingenieros, 2011.	31
4.1.	Obras proyectadas en el Plan Nacional de Embalses. Fuente: DOH, 2019.	32

4.2.	Embalses construidos en Limarí. Elaboración propia.	33
4.3.	Embalse La Paloma. Elaboración propia.	34
4.4.	Presa y vertedero embalse La Paloma. Fuente: Ovalle Hoy, 2017.	34
4.5.	Compuertas embalse La Paloma. Fuente: El Ovallino, 2017.	35
4.6.	Embalse Cogotí. Elaboración propia.	36
4.7.	Embalse Recoleta. Elaboración propia.	37
4.8.	Ubicación y características embalse Valle Hermoso. Fuente: MOP, 2019.	39
4.9.	Presa del embalse Valle Hermoso. Fuente: Conpax, 2019.	40
4.10.	Trazados de sistemas APR comuna de Combarbalá. Fuente: MN Ingenieros, 2011.	43
4.11.	Esquema de captación lateral. Fuente: MN Ingenieros, 2011.	44
4.12.	Presupuesto Total Año 2011 Sistemas APR Combarbalá. Fuente: MN Ingenieros, 2011.	46
4.13.	Trazado de tuberías. Fuente: Subdirector SSR Región de Coquimbo vía Ley de Transparencia, 4 de junio 2021.	48
4.14.	Ubicación embalses Murallas Viejas y La Tranca en comuna de Combarbalá. Fuente: MOP-DOH, 2017.	50
4.15.	Sistema colectivo embalse Murallas Viejas. Fuente: MN Ingenieros, 2011.	51
4.16.	Disposición general de las obras del embalse La Tranca. Fuente: MOP-DOH, 2017.	52
4.17.	Sistema colectivo embalse La Tranca. Fuente: MN Ingenieros, 2011.	53
5.1.	Sistemas APR en el área de influencia del embalse Valle Hermoso en Combarbalá. Elaboración propia.	59
5.2.	Sistemas APR en el área de influencia del embalse La Paloma en Monte Patria. Elaboración propia.	61
5.3.	Tasa de crecimiento anual. Fuente: MOP, 2019	64
6.1.	Información Bombas en balsa de eje vertical serie VCB marca Vogt. Fuente: vogt.cl	72
6.2.	Ejemplo de captación en un embalse mediante bombas en balsa de eje vertical. Fuente: vogt.cl	72
6.3.	Trazado embalse Valle Hermoso hasta APRs. Elaboración propia.	77
6.4.	Ejemplo uso Epanet. Elaboración propia.	79
6.5.	Modelo Epanet trazado embalse Valle Hermoso, con cotas de nodos y longitud de tuberías. Elaboración propia.	80
6.6.	Modelo Epanet trazado embalse Valle Hermoso, con demandas de caudal de nodos y caudal circulante en tuberías. Elaboración propia.	81
6.7.	Modelo Epanet trazado embalse Valle Hermoso, simulado. Elaboración propia.	83
6.8.	Disposición de estanques Corta Presión en derivaciones de cada localidad con presión alta. Elaboración propia.	84
6.9.	Ejemplo válvula reductora de presión en Epanet. Elaboración propia.	85
6.10.	Modelo Epanet trazado embalse Valle Hermoso con reductores, simulado. Elaboración propia.	86
6.11.	Zoom derivación N5. Elaboración propia.	87
6.12.	Trazado embalse la Paloma hasta APRs. Elaboración propia.	90
6.13.	Reelevaciones Pedregal-Panguecilillo y Tulahuén-Las Ramadas. Elaboración propia.	92
6.14.	Modelo Epanet trazado embalse La Paloma. Elaboración propia.	93
6.15.	Cubicación estanque 200 metros cúbicos. Valores históricos para análisis de proyectos de ingeniería.	100
6.16.	Curva costo vs potencia de PEAP. Elaborada en base a proyectos anteriores de PEAS.	101

6.17.	Costo en UF por metro lineal de suministro de tuberías de acero Sch STD para diámetros nominales. Obtenido de proveedores de cañerías para análisis.	103
6.18.	Estimación costos de construcción del tramo N1-N2 de 15.990 m de extensión. Elaboración propia.	104
6.19.	Costo en \$ por metro lineal de suministro de tuberías de HDPE PN100 para diámetros nominales. Obtenido de proveedores de cañerías para análisis.	108
A.1.	Localidades posibles de ser abastecidas por embalse La Tranca y criterio de exclusión. Fuente: MN Ingenieros, 2011.	123
A.2.	Localidades posibles de ser abastecidas por embalse Murallas Viejas y criterio de exclusión. Fuente: MN Ingenieros, 2011.	124
A.3.	Localidades posibles de ser abastecidas por embalse Valle Hermoso y criterio de exclusión. Fuente: MN Ingenieros, 2011.	124
B.1.	Solicitud N°1 Ley de Transparencia parte 1.	125
B.2.	Solicitud N°1 Ley de Transparencia parte 2.	126
B.3.	Solicitud N°2 Ley de Transparencia.	126
C.1.	Catálogo cañerías de acero utilizado para la solución del embalse Valle Hermoso. Fuente: Multi Aceros.	127
C.2.	Catálogo cañerías de HDPE utilizado para la solución del embalse La Paloma. Fuente: Petroflex.	128
C.3.	Catálogo bombas en balsa de eje vertical serie VCB marca Vogt. Fuente: vogt.cl	129
C.4.	Catálogo de bombas Bell & Gossett.	130
C.5.	Curvas características Bell & Gossett 4x6x10 1/2B.	130
C.6.	Curvas características Bell & Gossett 4x16x17 1/2A.	131
C.7.	Curvas características Bell & Gossett 5x6x13 1/2B.	131
C.8.	Curvas características Bell & Gossett 6x8x10 1/2B.	132
C.9.	Curvas características Bell & Gossett 6x8x13 1/2A.	132
C.10.	Curvas características Bell & Gossett 8x10x10 1/2B.	133
C.11.	Curvas características Bell & Gossett 8x10x17 1/2A.	133
C.12.	Curvas características Bell & Gossett 8x10x22 A.	134
C.13.	Curvas características Bell & Gossett 10x12x13 1/2A.	134
C.14.	Curvas características Bell & Gossett 10x12x22 A.	135
C.15.	Curvas características Bell & Gossett 14x16x15 A.	135
C.16.	Curvas características Bell & Gossett 16x18x19 A.	136
C.17.	Curvas características Bell & Gossett 18x20x22 A.	136
C.18.	Catálogo de bombas Vogt.	137
C.19.	Curvas características serie L-25 Vogt.	137
C.20.	Curvas características serie L-32 Vogt.	138
C.21.	Curvas características serie L-40 Vogt.	138
C.22.	Curvas características serie L-50 Vogt.	139
C.23.	Curvas características serie L-80 Vogt.	139

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se introduce la motivación que tiene el trabajo de título, sus principales objetivos, tanto general como específicos, y los alcances del mismo.

1.1. Motivación

Actualmente, y desde hace algunos años (2011), la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) está incorporando en los estudios de factibilidad de embalses para riego, la posibilidad de usar parte de las aguas de estos para abastecer sistemas de Agua Potable Rural (APR).

Lo anterior está previsto, por ejemplo, en el embalse Valle Hermoso, recientemente construido; aunque esa posibilidad no se ha practicado aún. Este embalse se ubica en la comuna de Combarbalá; pero no tiene concebidas ni materializadas las obras que permitirían su uso para abastecimiento de agua potable a comunidades rurales, solo existe un diseño a nivel conceptual. Sin embargo, existen incipientes acuerdos entre las autoridades y los tenedores de derechos de agua, que usualmente lo usan para riego, para aprovechar estas aguas en el consumo humano. Se tiene conocimiento de que en el embalse Valle Hermoso quedaron comprometidas 40 acciones para los APRs (Arellano, 2021).

Con todo, y en principio, se estima que es una buena decisión para los habitantes de la IV Región de Coquimbo, considerando los problemas de abastecimiento de agua potable que allí existen.

Este trabajo de título aborda entonces definir, a nivel de ingeniería conceptual, las obras necesarias para usar el agua embalsada en los actuales embalses de la Provincia de Limarí, Región de Coquimbo, como fuente para abastecer sistemas APR. Es importante recordar que la ingeniería conceptual corresponde a la etapa inicial de un proyecto de ingeniería, donde se identifica su viabilidad técnica y económica, esta etapa antecede a la ingeniería básica. Sin embargo, en este trabajo no se evalúa viabilidad económica, solo se estiman costos de construcción. Además, los diseños a nivel conceptual no emplean información precisa de terreno, como levantamientos topográficos u otros estudios específicos, como diseños estructurales de las obras, por lo cual es una etapa incipiente de análisis y definición de obras, que no puede ser utilizado para construir las mismas. Más aún, las estimaciones de plazos y costos asociados a este nivel de estudios son muy imprecisas. Su virtud consiste en acercarse a soluciones técnicas factibles de continuar desarrollando y basado en ideas.

1.2. Objetivo general

El objetivo general de este estudio es definir y proponer, a nivel de ingeniería conceptual, soluciones técnicas para resolver el problema de abastecimiento de agua potable en comunidades rurales de la provincia de Limarí, IV Región de Coquimbo; usando el agua disponible en embalses construidos y operando y/o proyectados en la región.

1.2.1. Objetivos específicos

Para lograr cumplir el objetivo general de este estudio, se han definido los siguientes objetivos específicos:

1. Cruzar las necesidades de agua potable, de comunidades rurales, con las disponibilidades de agua en los embalses existentes y/o proyectados en la IV Región, particularmente en la provincia de Limarí.
2. Diseñar, a nivel de ingeniería conceptual, las obras necesarias para abastecer, desde embalses, a comunidades rurales deficitarias de agua potable.
3. Estimar los costos de construcción de las soluciones técnicas definidas.

1.3. Alcances

Para establecer los límites del presente trabajo, se definen los alcances del mismo. Los alcances del estudio que se desarrolla son los siguientes:

- Búsqueda de información bibliográfica sobre experiencias de uso de embalses para abastecimiento de agua potable y de las características de las obras necesarias.
- Levantamiento de los embalses construidos y operando en la IV región de Coquimbo, y los proyectados por la DOH en la misma, particularmente de la provincia de Limarí. Determinación de sus características, capacidades y destino de las aguas embalsadas.
- Elegir dos embalses de la provincia de Limarí para estudiar su uso como fuente de abastecimiento para sistemas de APRs.
- Determinación de las demandas de agua para consumo humano en las zonas de influencia de los embalses escogidos, particularmente, de las comunidades rurales ahí existentes (APRs).
- Cruzar la información de capacidad de los embalses escogidos, con las demandas de agua en comunidades rurales determinadas.
- Definición y diseño, a nivel de ingeniería conceptual, del trazado y de las obras necesarias para usar los embalses como fuente de abastecimiento para APRs.
- Estimación de costos de construcción de los sistemas de abastecimiento de agua a comunidades rurales.

Capítulo 2

Marco teórico

En este capítulo se repasan los aspectos teóricos que serán útiles para el desarrollo y entendimiento del presente estudio. Se revisan varios aspectos tales como antecedentes, la zona de estudio, y el programa APR.

2.1. Antecedentes

No es un secreto que el agua es cada vez más escasa en nuestro país, y de manera especial en el norte de Chile, debido a las bajas precipitaciones. De hecho, en el Boletín Hidrológico Mensual ¹ de junio de 2022, publicado por la Dirección General de Aguas (DGA), se tiene que buena parte de la zona norte de Chile se encuentra en una situación de déficit de precipitaciones acumuladas a junio 2022 con respecto al promedio histórico para el mismo mes entre los años 1991-2020, incluyendo la región de Antofagasta, Atacama, y Coquimbo (ver Figura 2.1).

Otra evidencia de esta escasez, se puede observar en la Figura 2.2, donde se ilustra que los ríos chilenos, a junio de 2022, presentan un déficit significativo en sus caudales, en comparación con el promedio histórico del mismo mes en el periodo 1991-2020. Nuevamente, este déficit es mayor en la zona norte.

¹ De Información Pluviométrica, Fluviométrica, Estado de Embalses y Aguas Subterráneas.

Precipitaciones acumuladas a junio de 2022, en comparación con el promedio histórico para el mismo mes entre los años 1991-2020

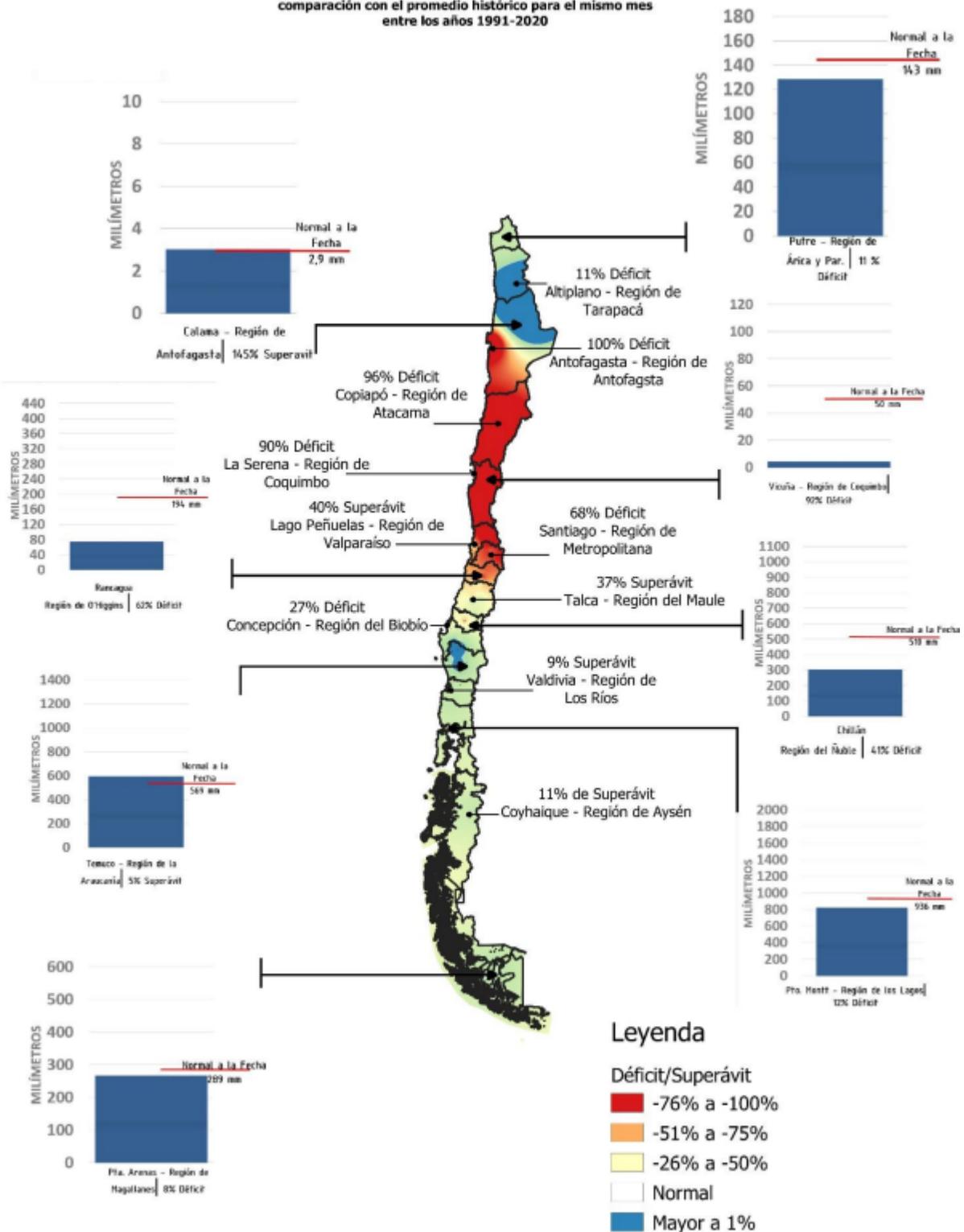


Figura 2.1: Precipitaciones acumuladas a junio 2022, en comparación con el promedio histórico para el mismo mes entre los años 1991-2020. Fuente: DGA, 2022.

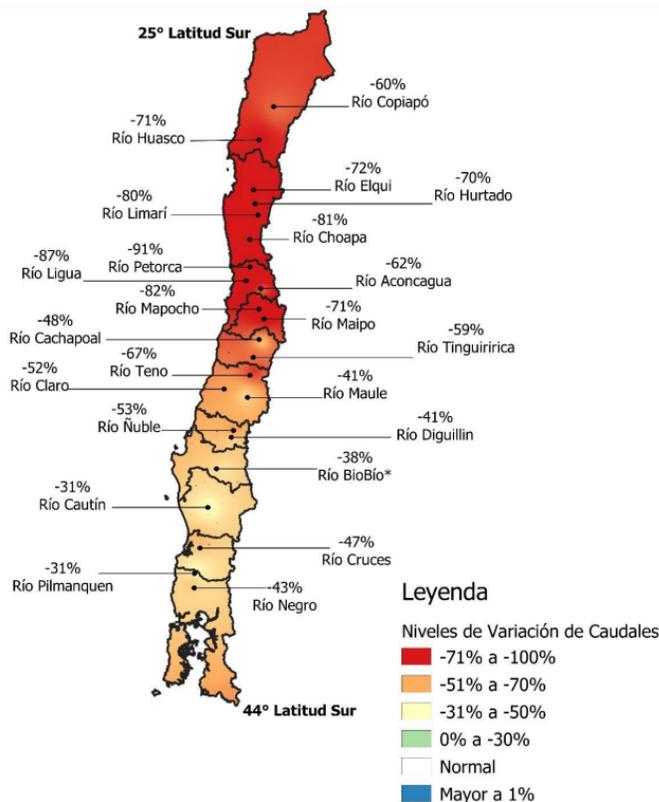


Figura 2.2: Mapa de variación de caudales para el mes de junio 2022, en comparación con el promedio histórico para el mismo mes entre los años 1991-2020. Fuente: DGA, 2022.

Asimismo, existe una escasez de agua potable en comunidades rurales, lo cual es el hecho principal que motiva este trabajo. Es evidente que la escasez de agua potable afecta en mayor magnitud a las localidades rurales que a las zonas urbanas. Según el Censo 2017, en áreas urbanas, en 98,8% de los casos se declaró red pública como la fuente de acceso al agua potable, lo que equivale a 4.723.108 viviendas particulares ocupadas, mientras que en áreas rurales este porcentaje baja a 52,8%, equivalente a 363.383 viviendas particulares ocupadas con acceso a red pública de agua potable.

Debido a la disminución continua del recurso hídrico, se han implementado medidas complementarias con la intención de mantener un suministro de agua potable para las personas que habitan en zonas con déficit. Una de estas medidas es la de los llamados camiones aljibes, que transportan el agua a las localidades deficitarias, especialmente en comunidades rurales. Sin embargo, esta solución inicialmente de emergencia, se ha vuelto un abastecimiento continuo y costoso. Dentro de las regiones más afectadas están Biobío, La Araucanía y Coquimbo, concentrando el 66% del gasto público destinado a camiones aljibes. De 2010 a 2018 (ver Figura 2.3) el gasto en camiones aljibes supera los 150 mil millones de pesos, equivalente a construir 9 hospitales de baja complejidad, o 4 de mediana, o 2 de alta complejidad (Fundación Amulén, 2018).

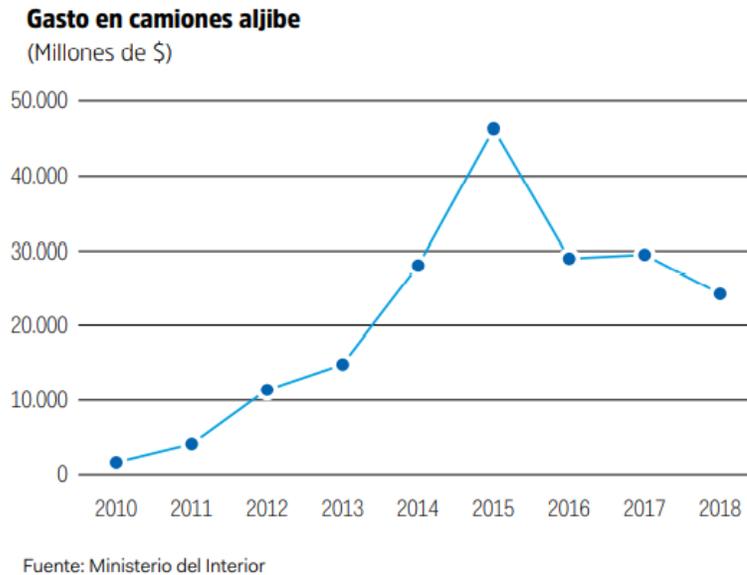


Figura 2.3: Gasto en camiones aljibes en millones de \$. Fuente: Fundación Amulén, 2018.

Según la empresa MN Ingenieros en su Estudio de Viabilidad Sistemas APR Abastecidos por Embalses de Comuna de Combarbalá (2011), por lo general un camión aljibe de $10 m^3$, abastece a una localidad cada 5 días, lo que resulta insuficiente, ya que el agua se agota en los 2 primeros días. Considerando una recarga de $10 m^3$ a los estanques cada 5 días, la dotación promedio diaria de agua por habitante resulta muy baja, por ejemplo, para algunas localidades de Valle Hermoso se han registrado disponibilidades de agua entre 4 a 30 l/hab/día, muy por debajo de la dotación normal de agua potable establecida para poblados rurales de esta comuna que se encuentra entre los 100 y 150 l/hab/día, dependiendo si cuentan o no con red de alcantarillado. Entonces, este sistema de abastecimiento mediante camiones aljibe resulta ser no sustentable en el tiempo, debido a la magnitud de la demanda, las largas distancias a recorrer por los camiones, el costo de combustible, la escasez del recurso y el alto riesgo de transmisión de enfermedades.

La razón de radicar este estudio específicamente en la provincia de Limarí se explica debido a que tiene un marcado componente de población rural, cuatro de las cinco comunas de esta provincia son denominadas del tipo rural² según las características sociodemográficas entregadas por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) en su ficha regional de Coquimbo, elaborada con datos del Censo 2017. Además, la cuenca del río Limarí se encuentra bajo la influencia de un bioclima con escasez de precipitaciones y durante 9 meses del año presenta déficit hídrico (MOP-DGA, 2008)³. También, porque existen embalses con la capacidad de abastecer a los APR de la provincia. De hecho, como se ha mencionado en la motivación, para el embalse de Valle Hermoso, ya se ha considerado en su estudio de factibilidad la posibilidad de utilizar sus aguas para abastecer los APR, mas las obras necesarias no se han materializado aún, se desconocen las razones.

² Solo Ovalle es del tipo urbana.

³ Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del río Limarí, MOP-DGA, 2008.

Pero, ¿los embalses de riego tienen la capacidad suficiente para apoyar a los sistemas de agua potable rural?. Un cálculo rápido nos dice que si se considera un APR de 226 arranques⁴, que puede ser un tamaño tipo y corresponde al promedio de arranques de Limarí, requiere de una fuente que rinda 1 l/s de manera continua, lo que se traduce en 382,3 lt/día/arranque. Además, si se considera un número de 4 personas por arranque⁵, se tiene una dotación de 95,6 l/hab/día. Esto llevado a una escala anual resulta en 31.536 m³/año para ese APR, lo cual es poco si se compara con la capacidad de los embalses de riego construidos por la DOH. Por ejemplo, el embalse Valle Hermoso ubicado en Limarí, tiene una capacidad de 20,3 millones de metros cúbicos, el embalse la Paloma 750 millones de metros cúbicos, es decir, la capacidad está. Notar que lo anterior corresponde a un cálculo teórico con fines comparativos, que no incluye pérdidas ni una proyección que haga sostenible el abastecimiento.

2.2. Población rural en Chile y acceso a agua potable

Dado que el estudio se centra en localidades rurales es importante caracterizar esta población. De acuerdo con el Censo 2017, a pesar de que la población rural ha ido disminuyendo a través de los años debido al aumento de migraciones a las ciudades, se tiene que el porcentaje de población rural no es menor, con un 12,2%, lo que se traduce en 2.149.469 personas. Más aún, la región de Coquimbo presenta un 18,8% de población rural, es decir, 142.427 habitantes, y la provincia de Limarí un 32,75%, o sea, 55.865 habitantes.

Sobre el tema de acceso al agua de la población rural, el Censo 2017 arroja que un 47,2% de viviendas rurales particulares ocupadas (324.276 viviendas) no cuentan con acceso a una red pública de agua potable (ver Figura 2.4), vale decir, se está hablando de que prácticamente la mitad de las viviendas particulares ocupadas en localidades rurales no está conectada a red pública, y se abastecen por medio de pozo o noria, camión aljibe, río, vertiente, estero, canal, lago, etc.

Total de viviendas particulares ocupadas, por áreas, según origen del agua, Censo 2017

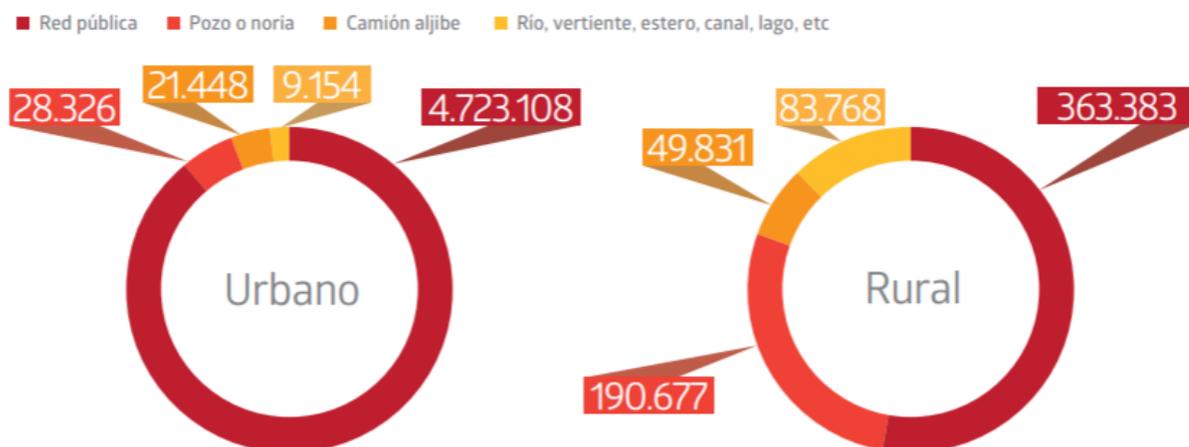


Figura 2.4: Total de viviendas particulares ocupadas, por áreas, según origen del agua. Fuente: INE, 2018.

⁴ Un arranque sirve a una familia. entonces se estaría sirviendo a 226 familias.

⁵ Promedio regional de Coquimbo según Informe Cazalac 2016.

También es importante manejar una estimación del número de habitantes de zonas rurales que no tiene acceso a red pública de agua potable. Para efectos comparativos, este cálculo se realiza con los datos poblacionales del Censo 2017, específicamente para viviendas rurales particulares ocupadas⁶, y los del Banco Mundial 2020.

Para el cálculo con datos del Censo, primero se utiliza el número total de viviendas rurales particulares ocupadas, con valor de 687.659 viviendas⁷, y el porcentaje de viviendas rurales particulares ocupadas sin acceso a red de agua potable de 47,2%, obteniendo la cantidad de viviendas sin acceso a red mencionada anteriormente de 324.276 viviendas. Luego, para determinar la cantidad de habitantes de viviendas rurales particulares ocupadas sin acceso a red, se multiplican las viviendas sin acceso a red por la cantidad de personas por vivienda, 3,13⁸.

Por otro lado, el Banco Mundial para el año 2020 solamente entrega el dato de población total en Chile, y el dato de porcentaje de población rural. Por lo tanto, el cálculo se realiza en base a esos dos datos, siguiendo la metodología expuesta en el párrafo anterior, utilizando los datos del Censo 2017 cuando se requiera.

Los resultados se presentan en la Tabla 2.1 siguiente:

Tabla 2.1: Población rural sin acceso a red pública de agua potable. Elaboración propia.

Población rural sin acceso a red pública de agua potable		
	Censo 2017	Banco mundial 2020
Población total	17.574.003	19.116.209
Porcentaje rural	12,2%	12,3%
Población rural	2.149.469	2.351.294
Nº viviendas particulares rurales ocupadas	687.659	752.227 ^a
Personas por vivienda rural	3,13	3,13 ^b
Porcentaje viv sin acceso a red pública AP	47,2%	47,2% ^c
Nº viviendas rurales particulares sin acceso a red	324.576	355.051
Nº habitantes rurales sin acceso a red	1.014.552	1.109.811

^a Valor obtenido de dividir la población rural entre la cantidad de personas por vivienda rural.

^b Se usa el mismo valor que el obtenido para el Censo 2017.

^c Se usa el mismo porcentaje presente en el Censo 2017.

⁶ Según el Censo 2017 existen en total 962.894 viviendas rurales particulares, contando tanto ocupadas como desocupadas. Estas últimas no son consideradas en el cálculo pues el porcentaje que se maneja de viviendas sin acceso a red corresponde a viviendas particulares ocupadas. Además, no se consideran viviendas colectivas ya que según el Censo 2017, se identificaron un total de 6.499.355 viviendas en el país, de las cuales 6.486.533 son particulares y 12.822 son colectivas, por lo que las colectivas presentan un número de poco peso estadístico. Adicionalmente, en el Censo no se desagrega a las viviendas colectivas de forma urbana o rural.

⁷ Este dato se desprende del gráfico de la Figura 2.4.

⁸ La cantidad de personas por vivienda se calcula dividiendo el total de población rural por el número de viviendas particulares ocupadas, resultando en un valor de 3,13, el cual se condice con el valor presentado en el Censo 2017 de 3,1 personas por hogar.

Entonces, para efectos del presente estudio, se considerara la cifra obtenida con la información del Banco Mundial, pues se encuentra más actualizado el dato de población total, lo que resulta en un mayor número de habitantes rurales sin acceso a red pública de agua potable.

2.3. Zona de estudio

La zona donde está enmarcado este trabajo corresponde a la provincia de Limarí, en la región de Coquimbo. Como se puede ver en la Figura 2.5, la provincia está compuesta por cinco comunas; Ovalle, Punitaqui, Combarbalá, Río Hurtado y Monte Patria. La capital provincial es la comuna de Ovalle.

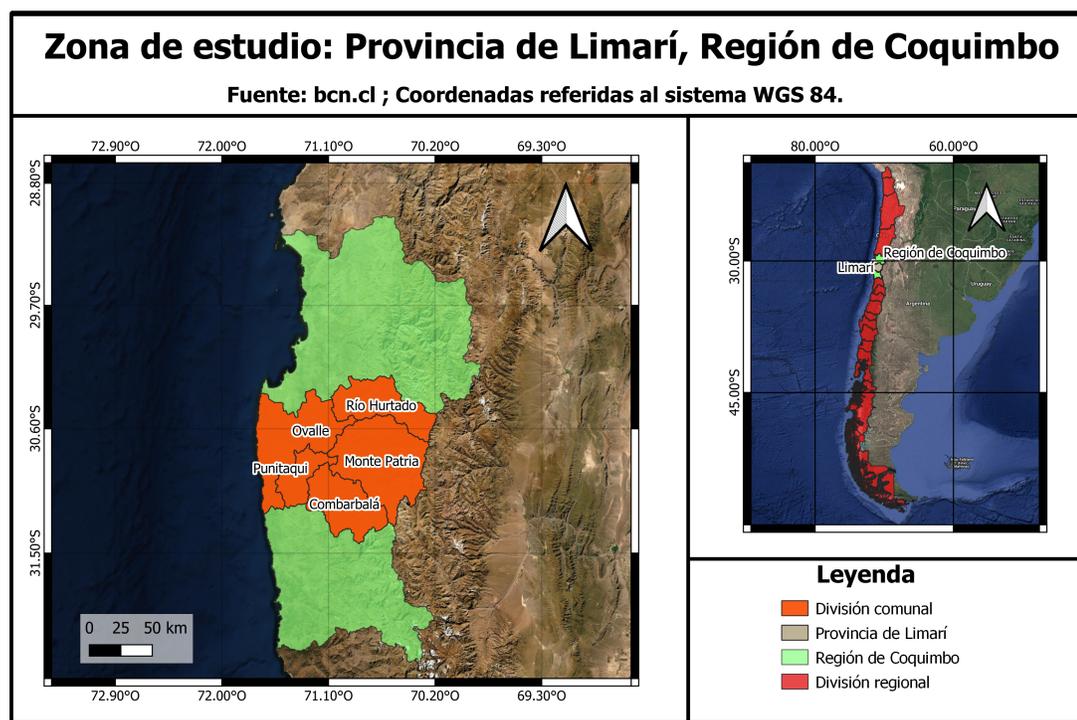


Figura 2.5: Zona de estudio. Elaboración propia.

Según el Censo 2017, la población total en Limarí es de 170.579 personas, distribuidas entre comunas con 111.272 habitantes en Ovalle, 30.751 en Monte Patria, 13.322 en Combarbalá, 10.956 en Punitaqui y 4.278 en Río Hurtado. Las características sociodemográficas de la provincia se detallan por comuna en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Características sociodemográficas provincia de Limarí. Fuente: Elaborado por ODEPA basado en Censo 2017.

Comuna	Tipo Comuna	N°Hab	Sexo		Edad			% Pertenencia indígena
			% Hombre	% Mujer	% 0-15	% 15-64	% +65	
Ovalle	Urbana	111.272	48,2	51,8	22,4	65,6	12,0	9,9
Combarbalá	Rural	13.322	50,0	50,0	18,3	62,8	18,9	9,6
Monte Patria	Rural	30.751	49,7	50,3	22,2	64,5	13,2	8,9
Punitaqui	Rural	10.956	49,8	50,2	22,7	62,4	14,9	12,2
Río Hurtado	Rural	4.278	50,0	50,0	17,6	62,7	19,7	6,2

La provincia tiene un carácter altamente rural, con un 32,75% de población rural, muy por encima del 18,8% regional y el 12,2% nacional (Cuenta Pública Participativa 2019, Gobernación Provincial de Limarí). El detalle por comuna se presenta en la Tabla 2.3:

Tabla 2.3: Porcentaje de población urbana/rural de la Provincia de Limarí y comunas. Fuente: Gobernación Provincial Limarí, 2019

	Total Población %	
	Urbana	Rural
Ovalle	78,67	21,33
Combarbalá	45,02	54,98
Monte Patria	49,88	50,12
Punitaqui	53,37	46,63
Río Hurtado	0	100
Provincia Limarí	67,25	32,75

Información sobre la provincia relativa al porcentaje de viviendas conectadas a la red pública de agua potable, y al porcentaje de pobreza por ingresos y pobreza multidimensional, se encuentra en la Tabla 2.4 detallada por comuna. Estos datos son utilizados en el capítulo 5, al momento de seleccionar los embalses de estudio, donde se describen detalladamente.

Tabla 2.4: Viviendas sin agua de la red pública y Situación de pobreza de la provincia de Limarí por comuna. Fuente: Elaborado por ODEPA basado en Censo 2017.

Comuna	% Viviendas sin ARP ^a	Situación de pobreza	
		% Ingresos	% Multidimensional
Ovalle	8,2	5,7	26,1
Combarbalá	24,3	16,2	33,5
Monte Patria	10,6	21,4	33,5
Punitaqui	33,2	25,2	36,0
Río Hurtado	13,4	17,2	40,0

^a Agua de la Red Pública.

Sobre las actividades económicas en la provincia, se tiene la principal es la agricultura, pues el Valle de Limarí cuenta con una amplia variedad de cultivos debido a su disponibilidad de suelos y aguas de riego. Existen importantes superficies de praderas bajo riego, establecidas en las terrazas altas, que permiten la existencia de ganadería mayor. Además, existe una abundante actividad hortícola, con alta especialización en cultivos de tomate y pimentón para primores, entre los más destacados, a los que se incorpora alta tecnología de riego y de manejo, mediante el empleo de goteo, invernaderos y otros. También existe una importante superficie para viñas, lo que propicia la elaboración de pisco (MOP-DGA, 2004)⁹.

2.3.1. Cuenca del río Limarí

La cuenca del río Limarí corresponde administrativamente a la provincia del mismo nombre. Tiene una superficie aproximada de 11.800 km². El río Limarí se forma por la unión de los ríos Grande y Hurtado, de los cuales el primero tiene una hoya hidrográfica mayor y es el afluente más importante del río Limarí (MOP-DGA, 2008). En la Figura 2.6 se observa la cuenca y subcuencas, los principales cursos de agua, y embalses.

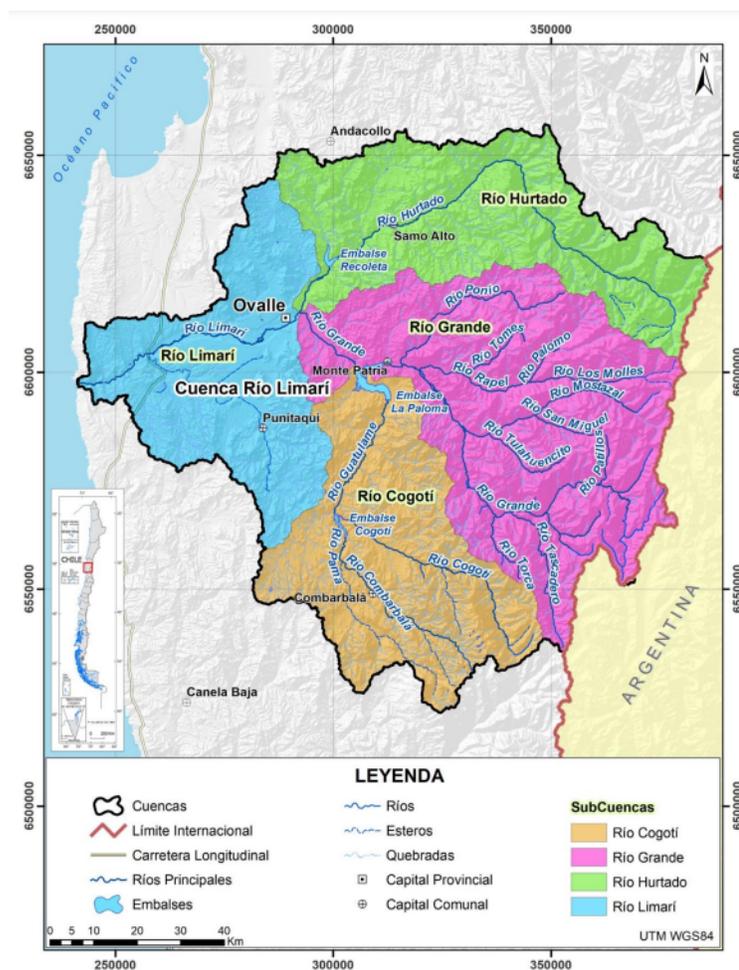


Figura 2.6: Cuenca del río Limarí. Fuente: Diagnóstico del Estado Hidrogeológico de la Cuenca del Limarí, MOP-DGA, 2020.

⁹ Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad, Cuenca del Río Limarí, MOP-DGA, 2004.

El río Grande recibe una serie de afluentes de importancia, el río Rapel (con sus afluentes Palomo y Molles), el río Mostazal y el río Huatulame (con sus afluentes Combarbalá, Pama y Cogotí). El escurrimiento del Huatulame está regulado por el embalse Cogotí de 156 Hm^3 de capacidad, el cual se ubica en la junta de los ríos Cogotí y Pama. En la confluencia de los ríos Grande y Huatulame, se encuentra el embalse Paloma, de capacidad máxima 750 Hm^3 (MOP-DGA, 2004).

El río Hurtado no tiene afluentes de importancia y constituye el único y gran dren de la parte norte de la cuenca del Limarí. En su parte más baja se encuentra el embalse Recoleta, de capacidad 100 Hm^3 (MOP-DGA 2004).

2.4. Programa de Agua Potable Rural

Lo que motiva esta sección es dar un contexto de lo que es el Programa de Agua Potable Rural (PAPR), su historia, objetivos, características, y como ha aportado en beneficio de las comunidades rurales desde su creación, enfocándose en la región de Coquimbo, y más específicamente en la provincia de Limarí. Esto pues el trabajo de título pretende aportar con soluciones técnicas que apoyen a los sistemas de agua potable rural.

El PAPR data en Chile desde el año 1964, como parte de la respuesta pública a la comprobación de que un 94 % de la población rural a inicios de la década de 1960 no contaba con agua potable. Tiene cobertura nacional y desde 2001, es ejecutado por la DOH dependiente del Ministerio de Obras Públicas (MOP). El PAPR aporta a la reducción de las desigualdades que en temas de agua potable sufre el mundo rural respecto del urbano. Por esto se puede decir que el Programa tiene un importante rol y valor social (MOP-DOH, 2015)¹⁰.

Inicialmente estaba dirigido solamente a población rural concentrada hasta el año 2010¹¹, cuando fue ampliado para población rural semiconcentrada, y en 2015 se amplía a población rural dispersa (MOP-DOH, 2015), aunque esta última no ha sido atendida de buena manera, como se puede comprobar leyendo lo extraído del Informe de la Fundación Amulén “Pobres de Agua” (2018) en el próximo párrafo.

En relación al porcentaje de la población semiconcentrada que no tiene aún abastecimiento a través de APR, el MOP pretende tener 100 % de cobertura en los próximos 10 a 12 años. Mientras tanto, estas comunidades siguen abasteciéndose de manera informal. Sobre las comunidades dispersas, la situación es más dramática, ya que no solo no tienen abastecimiento, sino que no hay planes de inversión para ellos (Fundación Amulén, 2018).

Según el Informe Infraestructura Hidráulica APR (MOP-DOH, 2015), población concentrada se refiere a aquella residente en localidades con una población entre 100/150 y 3.000 habitantes y una concentración mínima de 15 viviendas por km de red de agua potable. En cambio, una población semiconcentrada corresponde a aquella constituida por un mínimo de 80 habitantes y con una densidad de a lo menos 8 viviendas por cada km de futura red. También existe la población dispersa, la cual es aquella con densidad poblacional aproximada de 1,9 habitantes/vivienda, y menos de 80 personas en toda la localidad, las que habitan en

¹⁰ Informe Infraestructura Hidráulica APR (MOP-DOH, 2015).

¹¹ Al 2010, 100 % de población concentrada es atendida alcanzando a más de un millón y medio de habitantes.

viviendas que se encuentran muy distantes la una de la otra (Fundación Amulén, 2018).

Los objetivos del PAPR son, a nivel fin, “contribuir a mejorar las condiciones de salud y bienestar de la población rural”, y a nivel propósito, que la “población residente en localidades rurales concentradas y semiconcentradas acceda a un sistema de APR que provea un servicio en cantidad, calidad y continuidad en conformidad con la normativa vigente” (MOP-DOH, 2015).

La infraestructura¹² que provee el PAPR a localidades rurales concentradas y semiconcentradas, es entregada a los Comités de APR para su administración, operación y mantención. Estos Comités o Cooperativas de APR, son organismos comunitarios que son supervisados y asesorados en aspectos técnicos, administrativos, financieros y comunitarios, por una Unidad Técnica (UT). Las empresas concesionarias de servicios sanitarios, como por ejemplo, la empresa sanitaria Aguas del Valle en la región de Coquimbo, opera como UT regionales entregando asesoría técnica, administrativa, contable y legal a los comités APR (MOP-DOH, 2015). Al parecer esta asesoría técnica no es suficiente para atender la diversidad y cantidad de problemas que tienen los APRs frecuentemente. La nueva ley de Servicios Sanitarios Rurales traslada esta parte a la propia DOH, eliminando el rol que tenían antes las concesionarias.

Es importante notar que debido a que la población objetivo generalmente es de bajos recursos, los comités no siempre cuentan con los medios para ejecutar las tareas de mantención. Es por esto que el PAPR ejecuta anualmente obras de mejoramiento, ampliación y conservación de los sistemas existentes. En particular, en la provincia de Limarí, para el año 2022 se asignó presupuesto para las siguientes iniciativas/obras, relacionadas al Agua Potable Rural:

Tabla 2.5: Iniciativas presupuestadas por el MOP para el año 2022. Fuente: MOP, 2022.

Servicio	Región	Provincia	Comuna	Nombre Iniciativa	Etapas	Programa
Agua Potable Rural	Coquimbo	Limarí	Monte Patria	Mejoramiento Sistema APR Tulahuén	Ejecución	APR Semi Concentrado
Agua Potable Rural	Coquimbo	Limarí	Intercomunal	Construcción Plantas Desalinizadoras APR	Factibilidad	APR Semi Concentrado
Agua Potable Rural	Coquimbo	Limarí	Ovale	Construcción APR El Olivo	Ejecución	APR Semi Concentrado
Agua Potable Rural	Coquimbo	Limarí	Río Hurtado	Mejoramiento Sistema APR Las Breas	Ejecución	APR Semi Concentrado

Los principales desafíos, según el Informe Infraestructura Hidráulica APR (MOP-DOH, 2015), a la hora de proveer de agua potable a zonas rurales en calidad, continuidad y cobertura son los siguientes:

- Dispersión de las viviendas.
- Limitaciones geográficas para el acceso a la población.
- Bajo nivel socioeconómico de habitantes.
- Utilización de tecnologías no convencionales para la provisión de los servicios.
- Dificultades para ofrecer asistencia técnica y capacitación a los prestadores de los servicios que generalmente cuentan con una reducida capacidad financiera, administrativa y técnica.

¹²Incluye obras de captación, conducción, almacenamiento, desinfección y distribución.

En la Figura 2.7 se tiene la cantidad de instalaciones de sistemas APR desde 1964 hasta 2013, donde se aprecia la gran cantidad de sistemas APR instalados desde el inicio del programa. Según un tríptico informativo sobre la historia del PAPR publicado por la DOH el 2019, existen cerca de 1.897 sistemas APR en Chile. Una información más actualizada dice que a junio de 2020 existen 1.962 sistemas APR en Chile (Chacón, 2021). Vale decir que hay diversa información sobre este número, pero toda coincide en que son muchos APR, y se considera necesario tener datos oficiales, actualizados año a año por las entidades responsables.

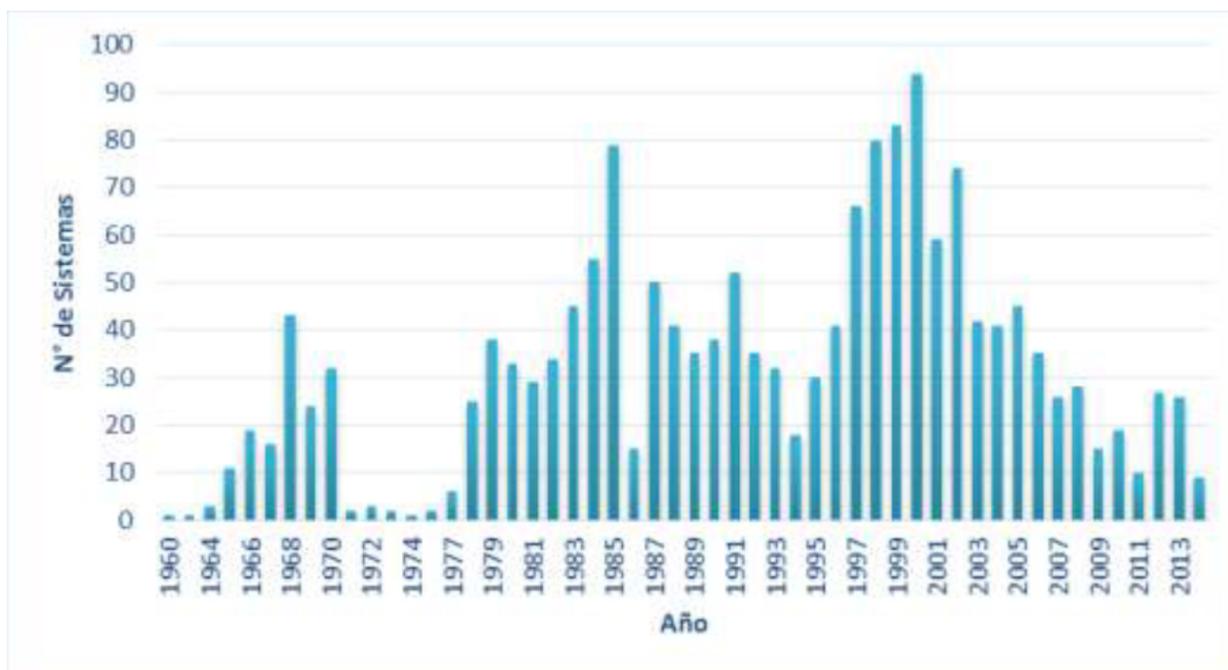
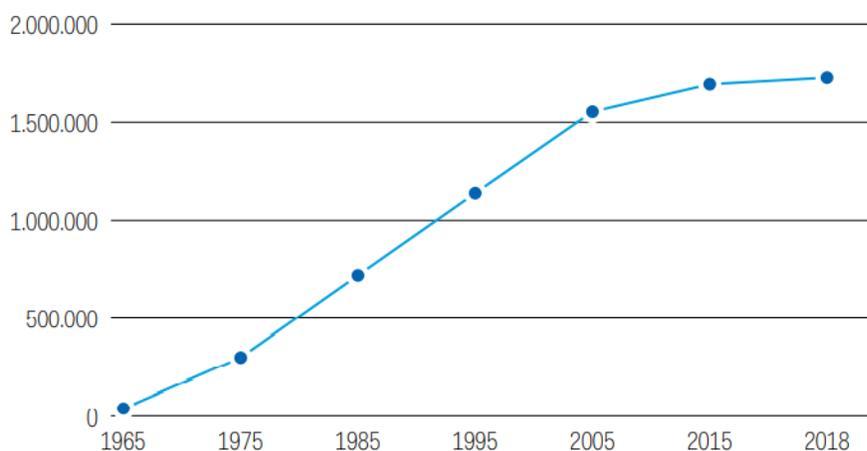


Figura 2.7: Instalaciones de Sistemas de APR 1964-2013. Fuente: MOP-DOH, 2015.

En la Figura 2.8 se puede apreciar la población atendida por el PAPR desde sus inicios hasta 2018, periodo en el cual se ha atendido a 1.787.916 beneficiarios, aumentando la cobertura de agua potable rural desde 6 % en 1960 a 52,3 % en el año 2018 (Fundación Amulén, 2018). Esto tuvo un efecto directo en la disminución de la tasa de mortalidad infantil, entre 1974 y 2012 esta tasa se reduce en un 88 % (MOP-DOH, 2015), por lo que se considera que el Programa ha aportado al objetivo de contribuir a mejorar las condiciones de salud y bienestar de la población rural. Aún así, falta mucho por mejorar, pues según la estimación realizada en la sección anterior, existe un déficit de más de un millón de personas sin acceso a redes, y si el ritmo de inversión no aumenta, ese déficit irá en aumento y costará más resolverlo.

Evolución de población rural atendida por el programa APR



Fuente: Base datos del Programa APR hasta agosto 2018.

Figura 2.8: Evolución de población atendida por el PAPER desde sus inicios hasta 2018. Fuente: Fundación Amulén, 2018.

Resulta interesante estudiar con los datos graficados de la Figura 2.8, cual ha sido el aporte de cada gobierno en términos de población atendida por el programa APR desde el año 1.990 hasta el año 2018. Para esto se estima visualmente¹³ la evolución de población atendida en cada década y se hacen regresiones lineales para obtener un número aproximado para cada año de estudio. Los resultados se muestran en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6: Estimación de Población rural atendida por el programa APR en los diferentes gobiernos de Chile desde 1990 hasta 2018. Elaboración propia en base a Figura 2.8.

Presidente/a	Periodo		Población atendida acumulada	Población atendida por gobierno
	Año inicio	Año fin		
Aylwin	1990		935.000	172.000
	1994		1.107.000	
Frei Ruiz Tagle	1994		1.107.000	323.000
	2000		1.430.000	
Lagos	2000		1.430.000	134.000
	2006		1.564.000	
Bachelet	2006		1.564.000	56.000
	2010		1.620.000	
Piñera	2010		1.620.000	56.000
	2014		1.676.000	
Bachelet	2014		1.676.000	111.916
	2018		1.787.916	

¹³ Esta estimación es solo con fines comparativos, y se realiza así dado que no se cuenta con la base de datos original con la que fue elaborada la Figura 2.8. El error de la estimación obtenido es de 14.000 personas con respecto al total de personas atendidas hasta el 2018 (1.787.916).

De la Tabla 2.6 se observa que el gobierno que más avanzó en términos de población rural atendida por el PAPER fue el de Eduardo Frei Ruiz Tagle, le siguen en orden, el gobierno de Patricio Aylwin, Ricardo Lagos, Michelle Bachelet (segundo periodo), y Sebastián Piñera (primer periodo) y Bachelet (primer periodo) empatados con la misma cifra de 56.000 personas. Como la Figura 2.8 tiene datos hasta el 2018, no se tiene información sobre el segundo periodo de Sebastián Piñera. Cabe destacar que los tres primeros gobernaron por periodos de 6 años, a diferencia de Bachelet y Piñera con periodos de 4 años.

Sobre fallas en los sistemas APR, el Informe Infraestructura Hidráulica APR (MOP-DOH, 2015) dice que las deficiencias en estos se producen en las redes de distribución y en los estanques, debido a que las tarifas no siempre alcanzan a cubrir costos operacionales, incluyendo mantenimiento. Solo un 75 % de los APR logra cubrir sus gastos de operación, mantenimiento y reparaciones menores.

Dado lo anterior, se considera que las deficiencias pueden darse no solo en las redes de distribución y estanques, sino que en cualquier instalación pues todas están afectas a fallas. Por ejemplo, la fuente de captación, puede darse que esta corresponda a un pozo y este se seque. Más aún, además de las fallas en instalaciones pueden existir también deficiencias a nivel administrativo y organizacional. Testimonio de esto, lo dan compañeras y compañeros del Departamento de Ingeniería Civil (DIC) de la Universidad de Chile, quienes en febrero de 2022, desarrollaron su práctica profesional en distintos APR de las provincias de Limarí y Choapa en la región de Coquimbo, donde detectaron problemas en estos sistemas. A continuación, en las Figuras 2.9 y 2.10, se presenta un catastro de los problemas detectados por los alumnos en los APR de la provincia de Limarí, en base a sus informes de práctica, donde se constata que las deficiencias son más complejas que únicamente las asociadas a instalaciones.

Alumna/o	APR	Provincia	Comuna	Problemas detectados
Francisca Rosales	Cerrillos de Tamaya	Limarí	Ovalle	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo excesivo de agua. - Derechos de agua insuficientes. - No existe sistema de inventarios. - Falta de personal. - Roturas de matriz. - Falta un plano general de toda la red AP. - Pasarelas PTAS en mal estado. - Dosificación de productos químicos para tratamiento AP. - Falta completar instalación para telemetría.
Alison Napuri	Limarí	Limarí	Ovalle	<ul style="list-style-type: none"> - Rotura de tuberías genera 28% pérdidas promedio de m3 mensual. - El agua no llega a población Esperanza Nueva por dos motivos; se vacía el estanque antes debido a que la población es relativamente nueva y abastece primero al sector Los Llanos (zona más antigua), o por falta de presión en las casas más alejadas. - Falta de cuarteles, si se cierra la válvula de corte del sector Limarí, deja sin agua no solo a este sector sino también a Las Vegas y Los Llanos. - Como la directiva del APR no recibe sueldo, no mucha gente esta dispuesta a postularse, y quien lo hace no necesariamente está capacitado. Periodo 2015-2018 hubo mal manejo del APR, entregando a la nueva directiva un APR con fondos negativos.
Daniela Maldonado	Cogotí 18	Limarí	Combarbalá	<ul style="list-style-type: none"> - Medidores antiguos en arranques que cada cierto tiempo fallan y ameritan la instalación de uno nuevo. - Información insuficiente sobre: morosidades, medición caudal diario, aspectos legales y derechos de agua. - Caudalímetros de los pozos 2 y 3 están malos, se requiere cambio para calcular las pérdida de agua efectiva del sistema. - Nunca se realizó control de inventario de oficina y bodega a pesar de que se invirtió en un software que lo facilita. - APR tiene solo 1 válvula de corte, por lo cuando ocurre una rotura grave se corta el suministro a todos los sectores. - Pérdidas de agua: En registro histórico del APR se observa que la producción supera al consumo en creces.

Figura 2.9: Problemas detectados por los alumnos en práctica en los APRs de Limarí, parte 1. Fuente: Informes de Práctica Profesional Alumnos DIC, febrero 2022.

Alumna/o	APR	Provincia	Comuna	Problemas detectados
Sebastián del Pino	San Marcos	Limarí	Combarbalá	<ul style="list-style-type: none"> - Desorden administrativo (inventarios, factibilidades, subsidios, consumos, planillas de cloro, etc). - Notebook que se utiliza en el APR no tiene las condiciones idóneas para el trabajo. - Software utilizado para administración y gestión de consumos presenta errores constantes en la emisión de recibos. - Falta de personal. - Los dirigentes proyectan que las fuentes actuales no serán suficientes para poder satisfacer demandas futuras.
Franco Alarcón	Huatulame	Limarí	Monte Patria	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad de registro de producción de AP debido a que los caudalímetros están detenidos (operadores no están capacitados para cambiarlos). - No se ha realizado mantención a los filtros en más de 20 años. - Pozo profundo se seca constantemente debido a la falta de agua del acuífero. - Falta de documentos de pruebas de bombeo de pozos. - Los operadores no tienen experiencia en el manejo de paneles eléctricos en caso de fallas. Dependen de terceros para arreglarlas. - No hay digitalización de datos correspondientes a la operación en planta del APR. - No existe un manual de operación del APR. - Ciertos medidores de agua de casas se encuentran inundados o anticuados, lo que dificulta la lectura de consumo de agua.

Figura 2.10: Problemas detectados por los alumnos en práctica en los APRs de Limarí, parte 2. Fuente: Informes de Práctica Profesional Alumnos DIC, febrero 2022.

En el Informe Infraestructura Hidráulica APR se estima al año 2015, que unas 200 mil personas del sector rural reciben cantidades de agua variable e insuficiente de acuerdo a los estándares mínimos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) que recomienda una dotación de 100 litros por habitante al día (CNN Chile, 2020). De hecho, en algunos APR afectados el suministro de agua se realiza mediante camiones aljibe, solución bastante ineficiente como ya se mencionó en la sección de antecedentes. En la Figura 2.11 se ve que en las regiones de Coquimbo y Valparaíso, es donde más se da el suministro de APR mediante camiones aljibe.

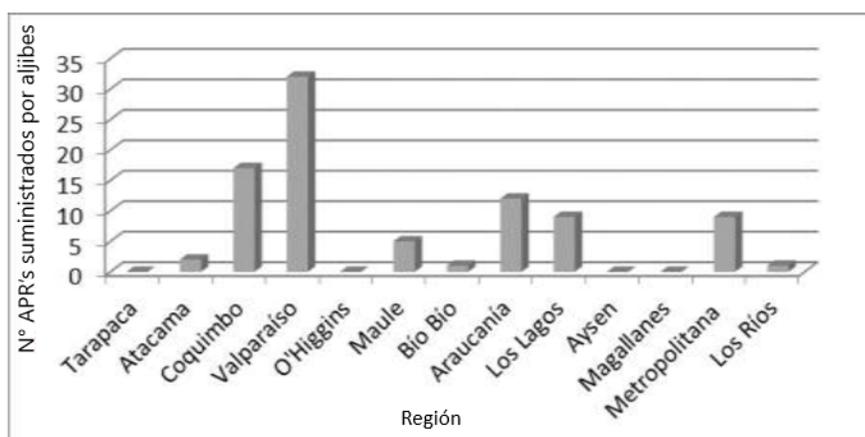


Figura 2.11: N° APR suministrado con camión aljibe producto de la falta de agua por la sequía (Feb 2015). Fuente: MOP-DOH, 2015.

De acuerdo con las cifras regionales de la DOH de agosto de 2019, la región de Coquimbo tiene 193 Sistemas de APR en total, pertenecientes al Programa Nacional de Agua Potable Rural, y benefician a un total de 43.947 arranques o familias (Gobierno Regional de Coquimbo, 2019)¹⁴. De estos 193, se tienen:

- 47 APR en la provincia del Elqui (14.274 arranques).
- 51 APR en la provincia del Choapa (11.044 arranques)¹⁵.
- 95 APR en la provincia del Limarí (21.492 arranques)¹⁶.

La mayor cantidad de sistemas APR y de conexiones domiciliarias se encuentra en la comuna de Ovalle, seguida de Monte Patria y Combarbalá en la Provincia de Limarí. Hasta octubre 2019, los APR que presentan problemas en su funcionamiento, se encuentran en las comunas de Combarbalá con 5 APR (Sistemas Media Luna, Manquehua, Pama Arriba, El Sauce y Quilitapia), Punitaqui (El Hinojo), y Ovalle (Barraza Alto-Socos) con problemas de abastecimiento de agua, que son apoyados con distinta frecuencia por camiones aljibe (Gobierno Regional de Coquimbo, 2019).

En el Plan Emergencia Hídrica 2019-2021 Región de Coquimbo, se menciona un estudio FIC de la Universidad de la Serena (2015), donde se desarrolla un censo de datos de la distribución de agua por camión aljibe. En dicho estudio se calcula en 14.808 km la extensión terrestre de camiones, para recorridos en caminos interiores, huellas, senderos y rutas principales. Siendo las comunas de la provincia de Limarí y Choapa las que presentan una mayor y compleja demanda de agua potable por camiones aljibe y mayor concentración de la distribución en zonas rurales.

Para el año 2019, las cifras del primer trimestre (meses más secos), se indica un número de 22.525 personas que son abastecidas a través de camiones aljibe en la región de Coquimbo. La provincia de Limarí presenta el mayor número con 11.011 personas, el 48,9 % de la región. La comuna de Punitaqui es la que presenta mayor demanda (4.118), seguida por Combarbalá (3.770), Monte Patria (1.692), Ovalle (1.292) y Río Hurtado (139) (Gobierno Regional de Coquimbo, 2019).

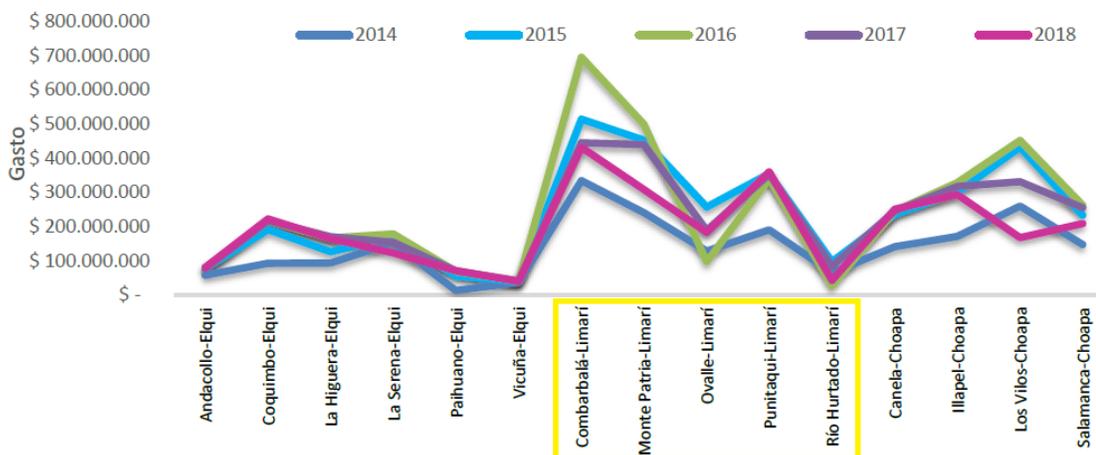
La provincia de Limarí presenta el mayor gasto en la distribución de agua potable por camiones aljibe en el periodo 2014-2018, liderando las comunas de Combarbalá y Monte Patria, luego Punitaqui, Ovalle, y finalmente Río Hurtado. En la Figura 2.12 se puede observar el detalle por comuna:

¹⁴ Plan Emergencia Hídrica 2019-2021 Región de Coquimbo (2019).

¹⁵ Datos de número de arranques de Elqui y Choapa se obtienen del Plan Emergencia Hídrica 2019-2021 Región de Coquimbo, 2019.

¹⁶ Datos de arranques de Limarí 2021 proporcionados por Presidente Asociación Gremial de APR Provincia de Limarí.

Gasto en camiones aljibe (\$) por comuna en la Región de Coquimbo, periodo 2014-2018.



Fuente: Intendencia Región de Coquimbo (2019).

Figura 2.12: Gasto en camiones aljibe (\$) por comuna en la Región de Coquimbo, periodo 2014-2018. Fuente: Plan Emergencia Hídrica 2019-2021 Región de Coquimbo, 2019.

En la Tabla 2.7 se muestra una estimación de los gastos en camiones aljibe en la provincia de Limarí entre 2014 y 2018, realizada en base a la Figura 2.12. De esta Tabla se desprende que existe una gran inversión de más de siete mil millones de pesos en camiones aljibe para Limarí, durante el periodo antes mencionado. Sin duda se trata de una cantidad considerable de dinero para una solución que no cumple con su objetivo.

Tabla 2.7: Gasto aproximado en camiones aljibe (\$) en la provincia de Limarí, estimados en base a Figura 2.12, por comuna. Elaboración propia.

Comuna	2014	2015	2016	2017	2018	Total (2014-2018)
Combarbalá	\$350.000.000	\$520.000.000	\$700.000.000	\$450.000.000	\$440.000.000	\$ 2.460.000.000
Monte Patria	\$250.000.000	\$470.000.000	\$500.000.000	\$440.000.000	\$320.000.000	\$ 1.980.000.000
Ovalle	\$120.000.000	\$250.000.000	\$100.000.000	\$190.000.000	\$180.000.000	\$ 840.000.000
Punitaqui	\$220.000.000	\$380.000.000	\$340.000.000	\$370.000.000	\$390.000.000	\$ 1.700.000.000
Río Hurtado	\$60.000.000	\$80.000.000	\$10.000.000	\$90.000.000	\$30.000.000	\$ 270.000.000
					Total Limarí	\$ 7.250.000.000

Sobre la cantidad de litros entregados por los camiones aljibe a las localidades de la región de Coquimbo, se tiene la información mostrada en la Figura 2.13.

Comunas	Litros Entregados 2013	Litros Entregados 2018	Variación %	Localidades 2013	Localidades 2018	Variabilidad %
Salamanca	445.085	598.500	34%	34	37	8,80%
Illapel	660.870	648.000	-2%	57	117	105%
Los Vilos	400.390	462.300	13%	40	43	7%
Monte Patria	805.290	553.000	-31,30%	65	89	37%
Punitaqui	723.250	708.050	-2,10%	55	63	15%
Ovalle	324.814	455.700	40%	216	216	0%
Combarbalá	702.610	1.291.900	84%	83	116	40%
Coquimbo	151.800	711.200	369%	33	38	15%
Totales	4.214.109	5.428.650		583	719	

Fuente: FIC-R 2014-2019, Optimización Distribución Agua Potable por Camiones Aljibe en Zonas Rurales, Región de Coquimbo, ULS.

Figura 2.13: Cifras de Litros Entregados y Cobertura territorial en Localidades Coquimbo (2013 y 2018). Fuente: Plan Emergencia Hídrica 2019-2021 Región de Coquimbo, 2019.

En la Figura 2.13 se puede ver una comparación entre los litros entregados por camiones en 2013 y 2018 a las comunas de la región de Coquimbo. Sobre Limarí, se tiene que para las comunas de Monte Patria y Punitaqui los litros entregados de 2013 disminuyeron respecto a los de 2018. Por otro lado, para las comunas de Ovalle y Combarbalá los litros entregados de 2013 a 2018 aumentaron drásticamente en un 40% y 84% respectivamente.

Capítulo 3

Experiencias de usos de embalses para abastecimiento de agua potable

A pesar de que a lo largo del territorio chileno existen numerosos embalses, son pocos los que tienen como uso principal el abastecimiento de agua potable, ya que la mayoría está destinado a usos tales como riego y/o generación de energía. Es por esto que en el presente trabajo se hace necesario estudiar las características de los embalses que sí cumplen la función de proveer agua potable.

En la actualidad son 3 los embalses nacionales que suministran agua para consumo humano, los embalses Los Aromos y Peñuelas en la Región de Valparaíso, y el embalse El Yeso en la Región Metropolitana.

3.1. Embalse Los Aromos

Este embalse se ubica sobre una angostura del estero Limache, situado 12 km aguas abajo y al occidente de la ciudad de Limache, en la Región de Valparaíso. La obra se encuentra a 68 m.s.n.m y tiene una capacidad de 35 millones de metros cúbicos.

La presa consiste en un muro de tierra con núcleo impermeable arcilloso compactado, protegido hacia ambos lados por dos corazas de material permeable, una de granulometría pobre y otra de enrocado. La longitud del muro es de 220 metros y su altura máxima es de 42 metros. El ancho de coronamiento, en tanto, es de 10 metros y los taludes de 3,75:1 aguas arriba y de 2,75:1 aguas abajo (H:V). El volumen total del muro es de 960.000 m³ de material compactado (Sandoval, 2003)¹⁷.

El vertedero excavado en roca está situado en el extremo derecho del muro. Consiste en un canal de acceso y un umbral o cresta de 21,60 metros de ancho y 2,90 metros de altura. Su capacidad de diseño es de 630 m³/s (Sandoval, 2003).

El agua del embalse Los Aromos es agua cruda, pues viene directamente de fuentes superficiales y es conducida para la recarga del embalse. Esta se portea a la planta de producción de ESVAL en Concón, donde es tratada y potabilizada para su posterior distribución y consumo seguro, cumpliendo todas las exigencias de la normativa sanitaria (Eskal Contigo, 2021).

¹⁷ El Riego en Chile, Sandoval, J (2003).

Sobre la obra de captación no se ha podido encontrar información reciente. En El Riego en Chile (2003) Sandoval habla de las obras de toma y entrega como *obras proyectadas*, lo que da entender que a la fecha que escribe la publicación, tales obras no estaban materializadas. En relación a ellas, Sandoval menciona “Las obras de entrega proyectadas aprovecharán el túnel de desviación, cuya sección es de medio punto de 4,60 metros básicas y tiene 300 metros de longitud, abierto por la ladera derecha de la angostura. Las obras de toma y entrega proyectadas consisten en una torre situada en la boca de entrada del túnel, seguida de un codo de enlace que va empotrado en el tapón de cierre del túnel, lugar donde se instaló una válvula de compuerta de cierre total. A continuación se instalará una tubería de 1,50 metros de diámetro, la que terminará en el extremo de aguas abajo en dos válvulas de mariposa, dispuestas en serie. La última de ellas entregará a las obras matrices del agua potable”.

En el año 2021, se inaugura la tubería reversible entre la planta de tratamiento de agua potable de ESVAL en Concón y el embalse Los Aromos, una obra inédita en Chile, y una de las mayores inversiones sanitarias del país, con 28 mil millones de pesos de inversión, destinados a asegurar el agua de más de 1 millón de personas hasta 2040 (SISS, 2021).

En 2018 se construye la primera fase, una tubería de acero de 4 km, que permite transportar y producir agua potable ante escenarios de turbiedad, la cual va desde Colmo hasta la PTAP de ESVAL en Concón. En 2020, comienza a construirse la fase 2, una extensión de tubería de acero de 8 km que permite enlazar la planta con el embalse Los Aromos. Esta extensión parte en la captación de Colmo y termina en el embalse (Esvál Contigo, 2021). Lo descrito en este párrafo se observa en la Figura 3.1.

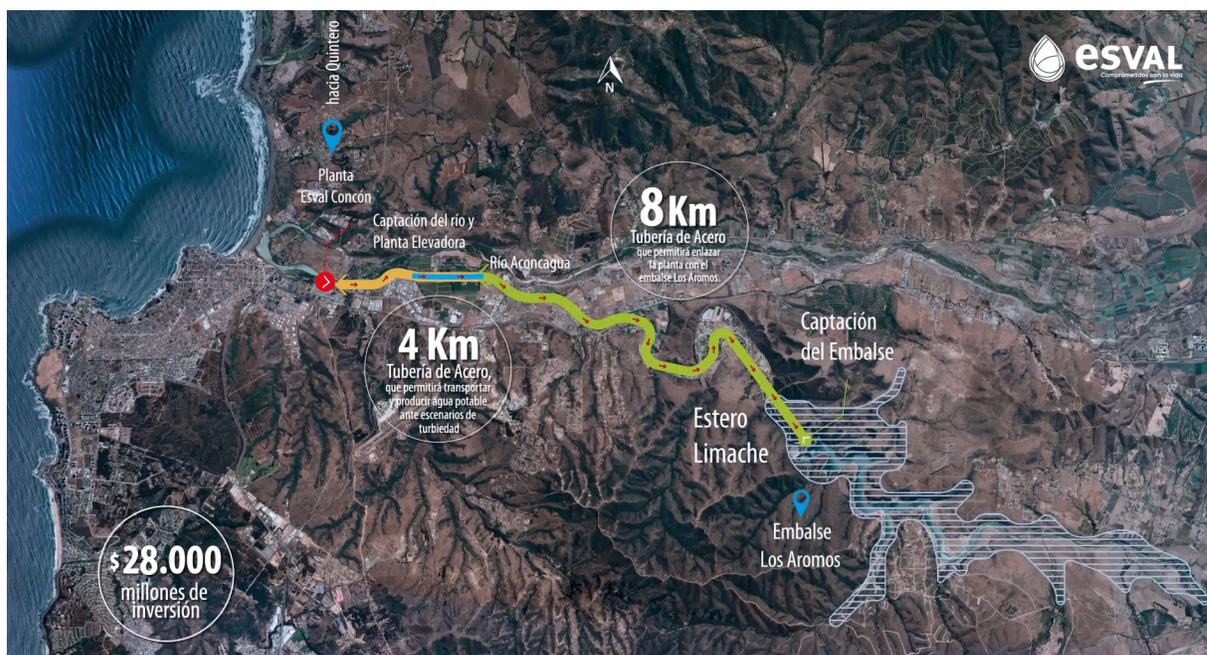


Figura 3.1: Tubería Reversible Aromos-Concón. Fuente: ESVAL, 2021.

Según el Catastro e Inspección Preliminar de Embalses Ubicados en las Regiones de Valparaíso, Metropolitana, Del Maule y de la Araucanía, realizado por Aquatierra Ingenieros Limitada en 2011, se tiene que la presa se encuentra formada por un muro de ladrillos pegados entre ellos con arcilla. Sobre toda la superficie expuesta de los ladrillos se colocó una capa de trozos de roca unidos con arcilla. Este enrocado se observa en toda la superficie de la presa. Posteriormente sobre la presa se colocó un parapeto en base a enrocado consolidado de 1,9 m de altura.

El muro del embalse Peñuelas tiene una altura máxima de 12 m y una longitud de aproximadamente 400 m. El ancho del coronamiento varía entre 7 metros en el estribo izquierdo llegando a 9 metros en el estribo derecho. La inclinación del talud de aguas arriba fue de 23° para el sector del estribo izquierdo, 24° para el sector central y 22° para el estribo derecho. Por su parte la inclinación del talud de aguas abajo fue de 24° para el sector central e izquierdo y de 25° para el sector derecho (Aquatierra Ingenieros, 2011).

El evacuador de crecidas corresponde a un vertedero lateral sin control, revestido con enrocado consolidado en el fondo y en las paredes laterales (Aquatierra Ingenieros, 2011).

La obra de captación para agua potable corresponde a una torre de fierro fundido circular de 21 m de altura y 2,5 m de diámetro. La torre dispone de compuertas y las aguas son transportadas mediante una tubería hacia una planta de tratamiento. Cuando el nivel del embalse es demasiado bajo, se debe bombear el agua. En la Figura 3.3 se muestra un esquema de la obra de toma, y en la Figura 3.4 se observa la torre de captación en terreno.

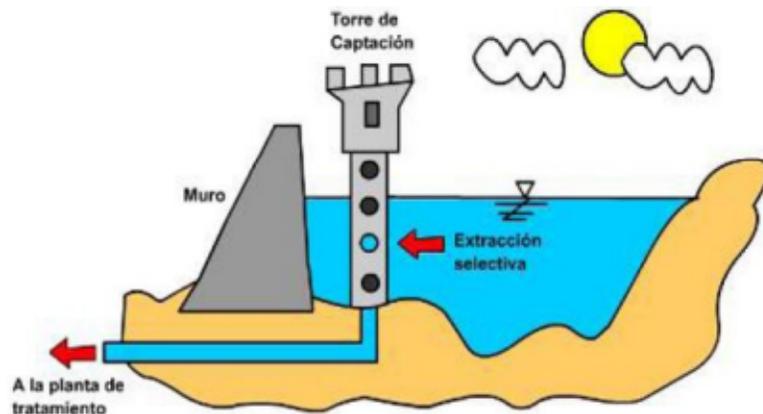


Figura 3.3: Esquema de la obra de captación de embalse Peñuelas. Fuente: Aquatierra Ingenieros, 2011.



Figura 3.4: Vista Torre de Captación. Fuente: Berrios, 2008.

El sistema de tratamiento de agua consiste en una planta original de filtros lentos y una planta de filtros rápidos, con 200 l/s y 450 l/s de capacidad respectivamente, posteriormente se agrega cloro (gas cloro) y fluoruro (silicofluoruro de sodio), para lo cual se cuenta con un cono de saturación y finalmente se ubica un macromedidor a la salida de la planta (SISS, 2010). En la Figura 3.5 se muestra la ubicación de la planta de tratamiento, y en la Figura 3.6 los filtros de la misma.



Figura 3.5: Vista satelital de embalse peñuelas y planta de tratamiento.
Fuente: Berrios, 2008.



Figura 3.6: Filtros de tratamiento. Fuente: Berrios, 2008.

Se tomó contacto con la empresa ESVAL S.A, encargada del tema de potabilización y red de distribución del agua en el embalse, con el objetivo de realizar una visita a terreno y conocer dichas obras. Sin embargo, la respuesta de la empresa fue que dada la sequía que afecta al embalse Peñuelas, la planta se encuentra sin operación y sin personal desde enero 2021, por lo que no es posible realizar visitas externas.

3.3. Embalse El Yeso

Este embalse ubicado en el sector Boca del Valle, en la localidad de San José de Maipo, Región Metropolitana, fue inaugurado en el año 1964, y está a una altura de 2.558 m.s.n.m aproximadamente. Embalsa las aguas del río Yeso regulando así el río Maipo, proporcionando seguridad tanto para riego como para abastecimiento de agua potable. El embalse cuenta con una capacidad de 250 hectómetros cúbicos.



Figura 3.7: Ubicación embalse El Yeso. Fuente: Google Earth.

Sus características técnicas las menciona Julio Sandoval Jeria en su publicación, *El Riego en Chile* (2003)¹⁹, las cuales se encuentran en la Figura 3.8

¹⁹ La información sobre la obra de entrega se obtuvo del catastro de Aquatierra Ingenieros, 2011.

Características Embalse El Yeso	
Presa	
Altura muro	62 m
Longitud muro	350 m
Volumen muro	1.560.000 m ³
Ancho coronamiento	6 m
Tipo	Tierra compactada con núcleo de arcilla inclinado
Talud	El talud de aguas arriba está protegido por una capa de enrocado de espesor variable entre 0,4 m y 1 m, y aguas abajo se protege con enrocado de 1 m de espesor.
Obra de toma	
Túnel de 440 m de longitud con una válvula mariposa de 2,2 m de diámetro y otra de sector para regulación, comunicadas entre si por tuberías metálicas de 200 m de longitud.	
Capacidad máxima de desagüe por el túnel de toma	50 m ³ /s
Evacuador de crecidas	
Corresponde a un vertedero frontal de capacidad de evacuación de 250 m ³ /s y dos compuertas de control automáticas de 8,2 m x 3,7 m. El rápido de descarga que sigue al umbral del vertedero mide 320 m de longitud y presenta un desnivel de 66,2 m. A continuación del rápido existe un colchón amortiguador de 70 m de longitud.	
Obra de entrega	
La entrega es a través de una válvula de regulación tipo setor rectangular, y las dimensiones de las compuertas son de 1,5 m x 2 m.	
Capacidad máxima de entrega	40 m ³ /s

Figura 3.8: Características técnicas embalse El Yeso. Fuente: Sandoval, 2003.

Las principales obras del embalse se muestran en las Figuras 3.9 y 3.10, presentes en el Catastro realizado por Aquatierra Ingenieros en 2011. Se puede observar el muro, el evacuador de crecidas y la obra de toma, entre otros.

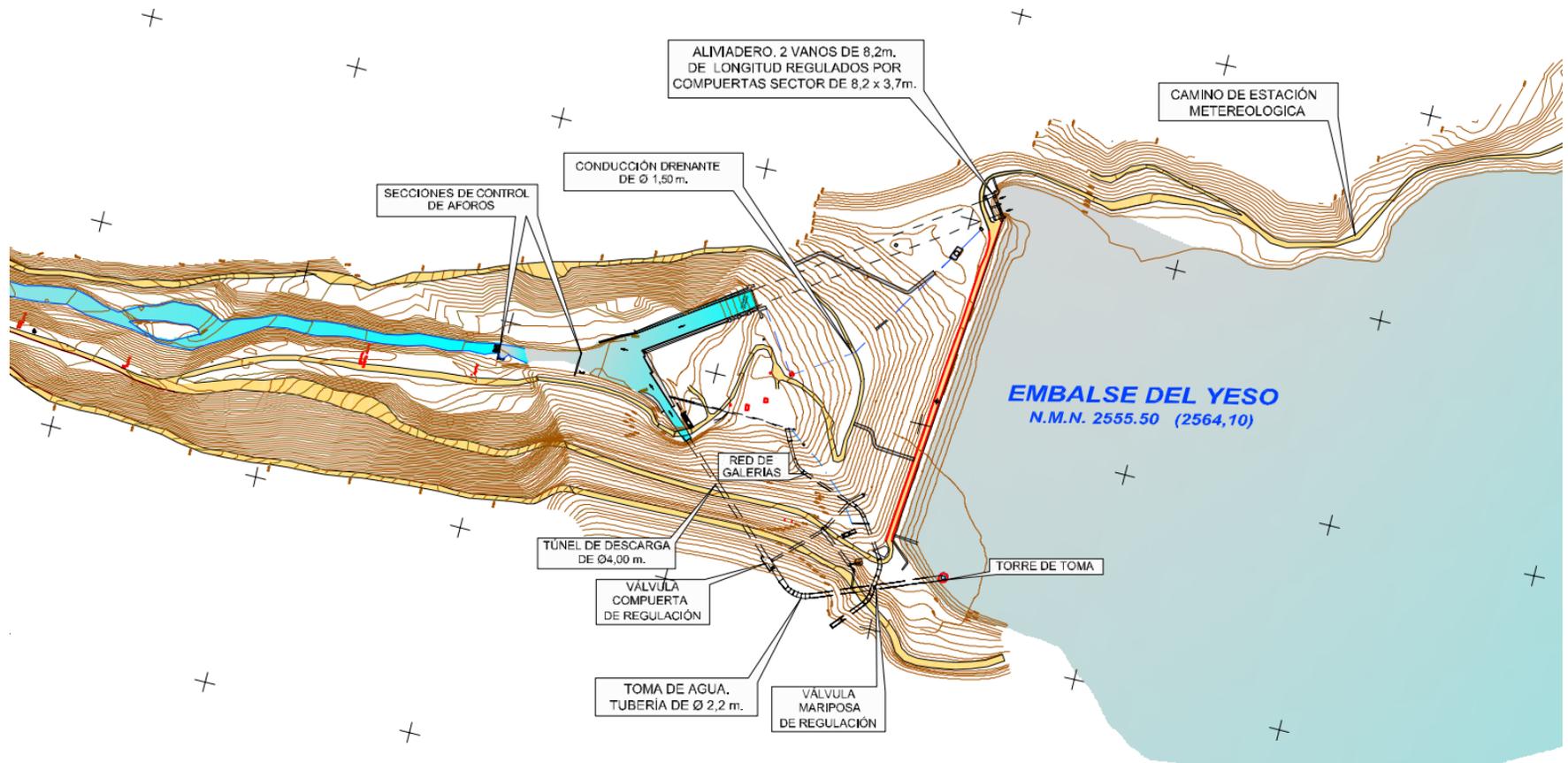


Figura 3.9: Principales obras embalse El Yeso, parte 1. Fuente: Aquatierra Ingenieros, 2011.

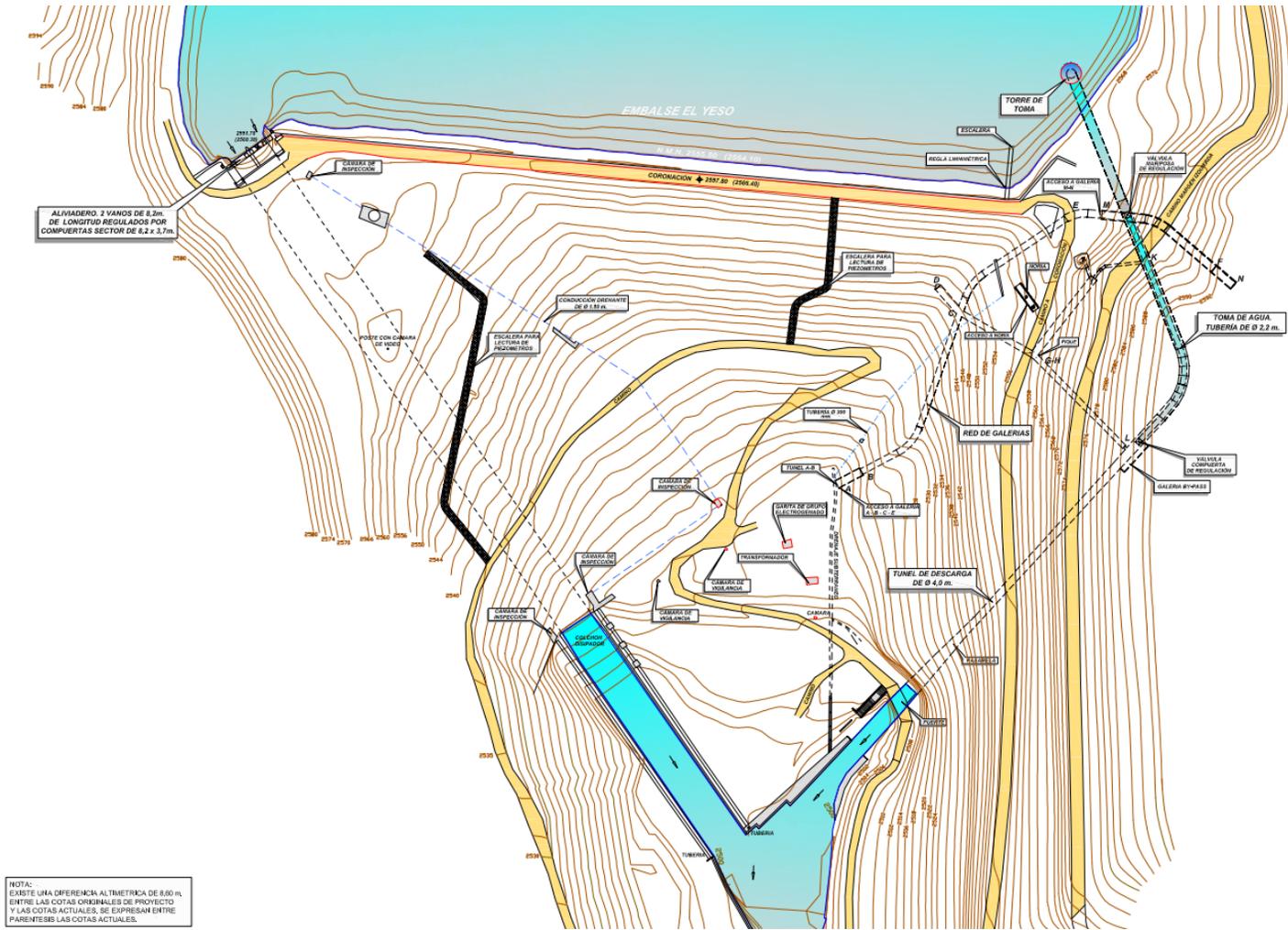


Figura 3.10: Principales obras embalse El Yeso, parte 2. Fuente: Aquatierra Ingenieros, 2011.

Capítulo 4

Embalses construidos y/o proyectados en la provincia de Limarí

En este capítulo se describen las obras de embalse que se ubican en la provincia de Limarí, tanto las que ya se encuentran construidas como las que se han proyectado por la DOH.

Es destacable mencionar que tres de estos embalses figuran en el Plan Nacional de Embalses, lanzado en 2014, considerando la construcción de 20 obras entre los años 2015 y 2025. El Plan fue ampliado en 2019, aumentando el número de proyectos a 26. Este pretende enfrentar la sequía y aumentar la productividad agraria. El resumen de las obras se presenta en la Figura 4.1.

Nº	Embalse	Región/Cuenca	Volumen (Hm3)	Superficie (ha)	Inversión Total (con IVA) MMUS\$
1	Valle Hermoso	Coquimbo / Río Pama	20	1.500	81
2	La Punilla	Bio Bio / Ñuble	625	65.000	465
3	Chironta	Arica y Parinacota / Lluta	17	2.384	139
4	Las Palmas	Valparaíso / Petorca	55	2.859	212
5	Zapallar	Biobío / Itata	80	10.000	349
6	La Jaula	Maule / Teno	160	53.405	377
7	Cautín	Araucanía / Cautín	142	32.274	420
8	Ampliación Aromos	Valparaíso / Aconcagua	60	1.500	61
9	Canelillo	Coquimbo / Choapa	200	11.000	270
10	Catemu	Valparaíso / Aconcagua	180	26.577	632
11	Pocuro	Valparaíso / Aconcagua	100	40.000	768
12	Longaví	Maule / Longaví	279	41.600	395
13	Livilcar	Arica y Parinacota / San José	10	Control de crecidas	103
14	Ancoa Sitio Original	Maule / Linares	102	60.000	171
15	Bollenar	O'Higgins / Rengo	33	6.070	103
16	La Tranca	Coquimbo / Río Cogotí	46	3.500	184
17	Murallas Viejas	Coquimbo / Río Combarbalá	50	3.250	196
18	Los Ángeles	Valparaíso / Los Ángeles	30	2.603	195
19	La Chupalla	Valparaíso / Aicahue-Ligua	56	2.186	175
20	Lautaro	Atacama / Copiapó	12	9.900	37
21	Rapel	Coquimbo / Limarí	14	1.973	145
22	El Parrón	Maule / El Parrón	64	2.130	175
23	Umirpa	Arica y Parinacota / Camarones	18,1	550	83
24	Codegua	O'Higgins / Estero Codegua	17,5	3.407	58
25	Juncal	Valparaíso / Aconcagua	100 (máx)	-	-
26	Chillán	Ñuble / Chillán	210	20.650	269-290
TOTAL			2.681	404.318	6.084

Figura 4.1: Obras proyectadas en el Plan Nacional de Embalses. Fuente: DOH, 2019.

Con respecto al fin que tienen estos embalses, la gran mayoría está destinado a riego. Sin embargo, como se ha expuesto en la motivación del trabajo, la DOH ha incorporado en los estudios de factibilidad de algunos embalses de riego, la posibilidad de usar las aguas para dotar del recurso a los APR. Esto se ha previsto en los estudios de factibilidad de los embalses Valle Hermoso, La Tranca y Murallas Viejas, destacados en color amarillo en la Figura 4.1.

Se aprecia y valora la intención de la DOH de usar los embalses también para abastecimiento de agua potable, aunque aún no se haya materializado esto; por lo cual se insta a continuar con esta política de embalses multipropósito, porque pueden ser reservas para agua potable.

4.1. Embalses construidos

Dentro de los embalses construidos se pueden encontrar cuatro, estos son: La Paloma, Cogotí, Recoleta y Valle Hermoso. En la Figura 4.2 se puede observar la ubicación de estas obras en la provincia de Limarí.

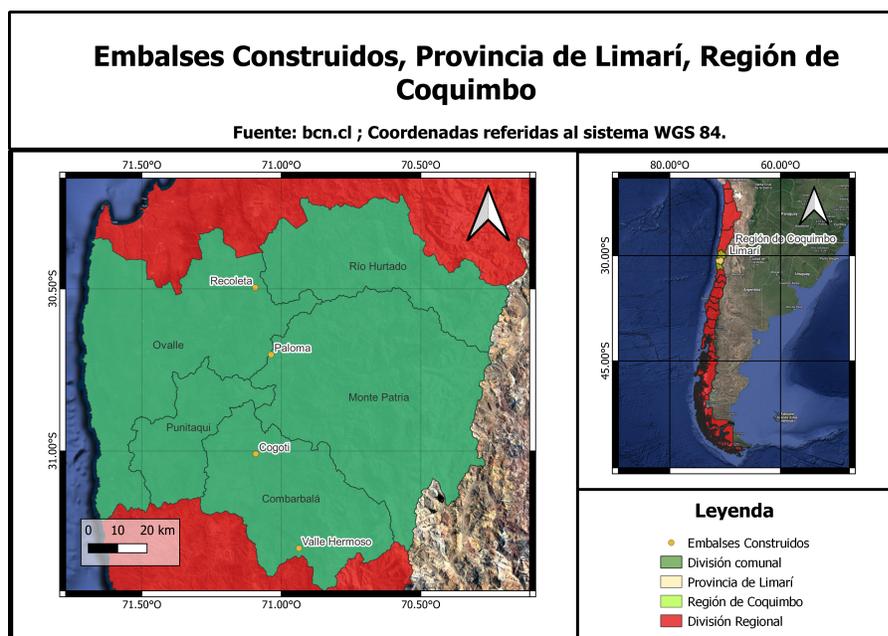


Figura 4.2: Embalses construidos en Limarí. Elaboración propia.

4.1.1. Embalse La Paloma

El embalse La Paloma corresponde a un embalse para riego que se ubica en la comuna de Monte Patria (ver Figura 4.3), a 25 km aproximadamente de la ciudad de Ovalle, fue construido entre los años 1959 y 1966, siendo inaugurado en 1968. Se emplaza en la junta del río Grande con el río Huatulame, y presenta una capacidad máxima de 750 millones de metros cúbicos, cubriendo una superficie de 3.000 hectáreas, características que lo convierten en el embalse de riego más grande de Chile, y el segundo más grande de Sudamérica (Comisión Fílmica Región de Coquimbo, 2021).

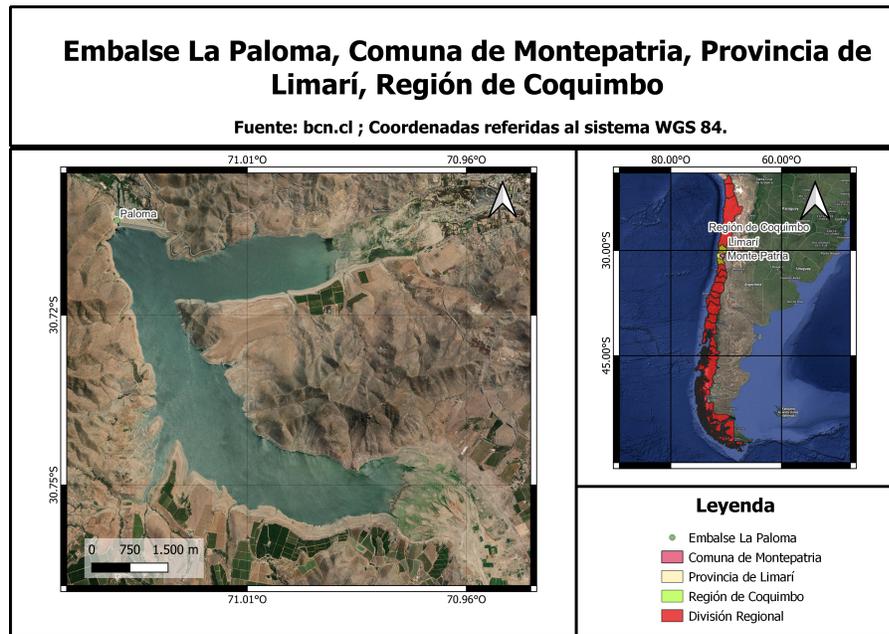


Figura 4.3: Embalse La Paloma. Elaboración propia.

Sobre el muro, este corresponde al tipo de presa con materiales clasificados. En el centro se encuentra un núcleo de arcilla impermeable, y a ambos costados van colocadas zonas de material permeable de grava arenosa. Las zonas exteriores del perfil del muro llevan enrocado de gran tamaño, el que tiene como fin aportar peso a la estructura para protegerla de agentes exteriores. El muro presenta un volumen de $7.500.000 \text{ m}^3$, una altura de 82 m, longitud de 1.000 m, y ancho de coronamiento de 10 m (Sandoval, 2003). En la Figura 4.4 se observa el muro del embalse La Paloma.

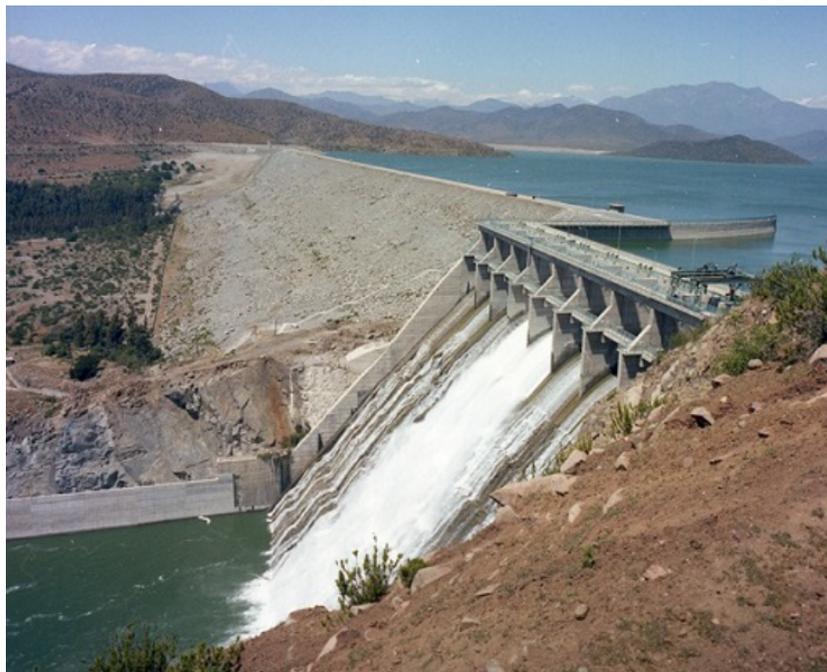


Figura 4.4: Presa y vertedero embalse La Paloma. Fuente: Ovalle Hoy, 2017.

El embalse cuenta con un vertedero frontal de hormigón armado de 107 metros de largo y un sistema montado de 8 compuertas metálicas, cada una de 6 m de altura, 12,5 m de ancho y peso aproximado de 45 toneladas (ver Figura 4.5). Por otro lado, las obras de toma consisten en una torre de toma de 11 m de altura y un túnel de 650 m de largo, el cual está revestido en concreto y acero, y resiste una presión de $60 \text{ ton}/\text{m}^2$ (Sandoval, 2003).



Figura 4.5: Compuertas embalse La Paloma. Fuente: El Ovallino, 2017.

Este embalse se encarga de asegurar el riego en la región, y junto a los embalses Cogotí y Recoleta forman el Sistema de Riego Paloma, los cuales en conjunto embalsan más de un millón de metros cúbicos, y al mismo tiempo cuenta con una gran capacidad (466 canales), los que potencian la distribución del recurso (MOP-DGA, 2008).

A continuación, se presenta en la Tabla 4.1 un resumen con las características del embalse La Paloma.

Tabla 4.1: Resumen características embalse la paloma. Fuente: Sandoval, 2003.

Características embalse La Paloma	
Capacidad del embalse	750 hm^3
Superficie inundada	3.000 ha
Caudal medio anual	9,89 m^3/s
Cota máxima aguas	411,4 m.s.n.m
Altura muro	82 m
Longitud muro	1.000 m
Volumen muro	7.500.000 m^3
Volumen núcleo	1.500.000 m^3
Ancho basal muro	500 m
Ancho coronamiento	10 m
Cota coronamiento	415,5 m.s.n.m
Talud aguas abajo	2,5:1 ^a
Talud aguas arriba	3:1

^a Cada vez que se represente un talud será de la forma horizontal:vertical.

4.1.2. Embalse Cogotí

Este embalse se ubica a 19 km al norte de la ciudad de Combarbalá en la comuna del mismo nombre, en la junta de los ríos Pama y Cogotí. Fue construido en la década de 1930, mientras que su fase de operación comenzó en 1940. La ubicación se indica en la Figura 4.6.

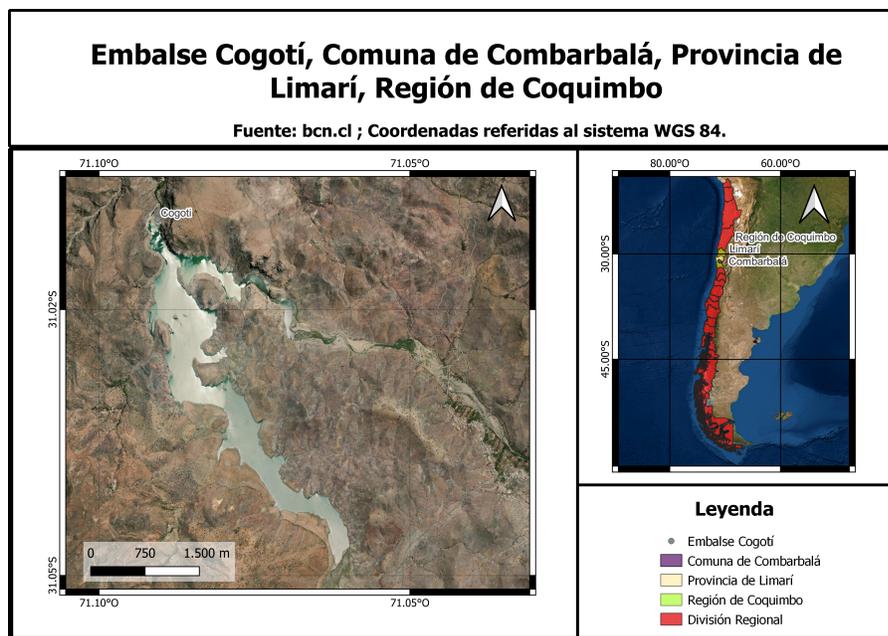


Figura 4.6: Embalse Cogotí. Elaboración propia.

Se construyó con una capacidad de 150 millones de metros cúbicos destinados a riego, aunque actualmente cuenta con una capacidad para almacenar 156 millones de metros cúbicos debido a que en 2003 se implementó un sistema de cortina inflable *Rubber Dum* (Morales y Rojas, 2010).

La presa del embalse es del tipo CFRD²⁰, construida de enrocado andesítico con pantalla impermeable de hormigón armado en el talud de aguas arriba, la altura del muro es de 82,7 m y su longitud es de 160 m. El talud de aguas arriba es variable entre 1,42 y 1,67 y el de aguas abajo variable entre 1,47 a 1,50 (Edic Ingenieros Ltda. 2000).

Sobre el vertedero del embalse, este es del tipo lateral, de umbral libre, con un canal colector de 155 metros de longitud, de gasto variable que descarga a su vez en un rápido excavado en roca de 185 m de longitud en planta, el que descarga el agua al río Huatulame directamente, es decir, sin obras de disipación. Esta obra es capaz de evacuar crecidas de gran magnitud, según Morales y Rojas (2010), su capacidad de descarga es de $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

A continuación, se presenta en la Tabla 4.2 un resumen con las características del embalse Cogotí.

²⁰ Concrete Face Rockfill Dam: Muro de roca con pantalla de hormigón.

Tabla 4.2: Resumen características embalse cogotí. Fuente: Edic Ingenieros Ltda. 2000.

Características embalse Cogotí	
Capacidad del embalse	156 hm^3
Altura muro	82,7 m
Longitud muro	160 m
Volumen muro	774.500 m^3
Ancho basal muro	300 m
Ancho coronamiento	8 m
Cota coronamiento	655,9 $m.s.n.m$
Talud aguas abajo	1,47:1,0 a 1,50:1,0
Talud aguas arriba	1,42:1,0 a 1,67:1,0

4.1.3. Embalse Recoleta

El embalse Recoleta se ubica en la comuna de Ovalle, a 25 km al noreste de la ciudad del mismo nombre, y se encuentra emplazado en el río Hurtado, donde se abastece de este último y de la quebrada de Higerillas. Es el cuarto embalse de mayor capacidad en la región de Coquimbo, por detrás de la Paloma, Puclaro y Cogotí. Fue construido entre los años 1929 y 1934, con el objetivo de regar 15.000 hectáreas agrícolas. Su capacidad es de 100 millones de metros cúbicos, cubriendo 555 hectáreas. La ubicación se indica en la Figura 4.7.

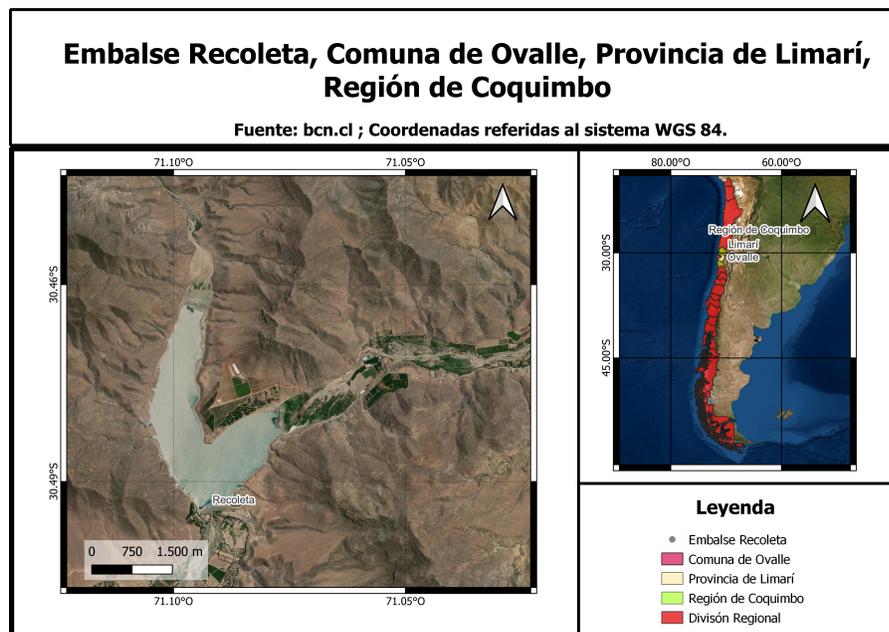


Figura 4.7: Embalse Recoleta. Elaboración propia.

Sobre la presa, esta consiste en un muro de tierra compactada con taludes protegidos por rocas, además de una cortina de hormigón armado en su interior, ubicada al centro del núcleo. El muro tiene una altura de 60 metros y un ancho de base de 246 metros, longitud de 825 metros, y 10 metros de ancho de coronamiento, por donde pasa la ruta D-595 (Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), 2018)²¹.

El evacuador de crecidas consiste en un muro de vertedero y un canal colector. El vertedero de evacuación es de cresta libre tipo lateral, sin compuertas. Mide 232 m de longitud y es capaz de evacuar una crecida máxima instantánea de periodo de retorno de 10.000 años, equivalente a $2.290 \text{ m}^3/\text{s}$. Por otro lado, el muro del vertedero conforma el costado de un canal colector labrado en roca, de 550 m de longitud y 30 m de ancho. Las aguas que vierten sobre el muro, se descargan al canal colector, el que las conduce hacia un rápido de descarga que termina en la cota natural histórica del río Hurtado (SEA, 2018).

A continuación, se presenta en la Tabla 4.3 un resumen con las características del embalse Recoleta.

Tabla 4.3: Resumen características embalse recoleta. Fuente: SEA, 2018.

Características embalse Recoleta	
Capacidad del embalse	100 hm^3
Superficie inundada	555 ha
Cota máxima aguas	410,5 $m.s.n.m$
Altura muro	60 m
Longitud muro	825 m ^a
Volumen muro	1.450.000 m^3 ^b
Ancho basal muro	246 m
Ancho coronamiento	10 m
Cota coronamiento	412,5 $m.s.n.m$
Talud aguas abajo	2,0/1 ^c
Talud aguas arriba	3,0/1 ^d

^a Asociación de Canalistas Embalse Recoleta, 2018.

^b Asociación de Canalistas Embalse Recoleta, 2018.

^c Morales y Rojas, 2010.

^d Morales y Rojas, 2010.

²¹ Consulta de pertinencia proyecto “Restitución muro vertedero embalse recoleta”, realizada por Asociación de Canalistas Embalse Recoleta.

4.1.4. Embalse Valle Hermoso

El embalse Valle Hermoso, inaugurado recientemente en 2019, se ubica en la comuna de Combarbalá, a 35 km al suroriente de la ciudad, en el sector de Paso del Buey. Su objetivo es acumular y regular el escaso caudal del río Pama, y mejorar las condiciones de riego de la zona. Además, se tiene contemplado apoyar a los comités de APR con las aguas del embalse. La obra tiene una capacidad de 20,3 millones de metros cúbicos, inundando 117 hectáreas. La ubicación se indica en la Figura 4.8.



Figura 4.8: Ubicación y características embalse Valle Hermoso. Fuente: MOP, 2019.

La presa del embalse es del tipo CFRD, es decir, muro de roca con pantalla de hormigón, tiene 117 metros de altura, una longitud de 455 metros, un ancho de coronamiento de 8 metros, y cota de coronamiento de 1.671 m.s.n.m. El volumen del muro es de 2.597.004 metros cúbicos y el talud de aguas arriba está revestido con una pantalla impermeable de hormigón armado (SEA, 2012).

Las obras complementarias consisten en un túnel de desvío y evacuador de crecidas. El túnel está diseñado para un caudal de 32 m³/s (periodo de retorno de 20 años). El caudal de diseño para el evacuador de crecidas es de 346 m³/s, para una crecida de 1.000 años de periodo de retorno, pero con una capacidad máxima superior a la crecida correspondiente a un periodo de retorno de 10.000 años (SEA, 2012).

A continuación, se presenta en la Tabla 4.4 un resumen con las características del embalse Valle Hermoso.

Tabla 4.4: Resumen características embalse Valle Hermoso. Fuente: SEA, 2012.

Características embalse Valle Hermoso	
Capacidad del embalse	20,3 hm^3
Superficie inundada	117 ha
Altura muro	117 m
Longitud muro	455 m
Volumen muro	2.597.004 m^3
Ancho coronamiento	8 m
Cota coronamiento	1.671 $m.s.n.m$
Talud aguas abajo	1,6:1
Talud aguas arriba	1,5:1

Actualmente, el embalse se encuentra en fase de llenado, proceso que depende de las precipitaciones y acumulación de nieve en la zona de emplazamiento, se estima que una cota máxima se podría alcanzar al cuarto año desde su inicio de llenado (Ortiz, 2019). El estado del embalse al año 2019 se indica en la Figura 4.9.



Figura 4.9: Presa del embalse Valle Hermoso. Fuente: Conpax, 2019.

Sobre la posibilidad de utilizar las aguas embalsadas para apoyar a los comités de APR, se tiene que estas obras no fueron construidas en paralelo con el embalse Valle Hermoso, ni fueron estipuladas como obras anexas del mismo. De hecho, Arellano (2021) menciona en su memoria de título una entrevista realizada el 25 de noviembre de 2019²² al SEREMI de Coquimbo, quien explica: “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 Ovalle que son los sectores que hoy están más complicados en cuanto a fuentes de abastecimiento de agua”. Según Arellano, a septiembre de 2020 esta situación no estaba resuelta.

En 2011, la empresa MN Ingenieros realizó el estudio de factibilidad del embalse La Tranca, el cual incluía en el capítulo 5 de su tomo II, el “Estudio de viabilidad Sistemas APR Abastecidos por Embalses de Comuna de Combarbalá”, donde se analiza la idea de utilizar el agua de los embalses Valle Hermoso, La Tranca y Murallas Viejas para consumo humano en los APR.

A continuación, se hace un repaso de los aspectos relevantes que contiene este estudio para el presente trabajo.

4.1.4.1. Estudio de Viabilidad Sistemas APR Abastecidos por Embalses de Comuna de Combarbalá

La finalidad de este estudio es entregar un respaldo técnico para el desarrollo de matrices de abastecimiento de APR conectadas a los tres embalses (La Tranca, Murallas Viejas y Valle Hermoso), para así cubrir una cantidad importante de población de la comuna de Combarbalá. Para esto se determina la viabilidad hidráulica y costo involucrado para abastecer al mayor número de localidades con sistemas de APR en la comuna, las que cuentan con un servicio poco seguro. Lo más relevante de este estudio se detalla a continuación:

- Para utilizar el agua de los embalses de modo de abastecer los APR, la DOH debió establecer convenios con las organizaciones de agua involucradas representadas por las juntas de vigilancia de los ríos Pama, Combarbalá y Cogotí. Por lo tanto, esta ayuda a los APR depende finalmente de la voluntad de los propietarios de los derechos de agua.
- Las localidades beneficiadas con el sistema deben cumplir con algunos criterios de selección. De las 85 localidades²³ se excluyen las que presentan:
 - Ubicación geográfica poco exacta.
 - Ubicación aguas arriba de los embalses abastecedores.
 - Ubicación geográfica aguas abajo del embalse Cogotí.
 - Cota altimétrica muy alta (imposibilita suministro por gravedad).
 - Casas aisladas o caseríos de baja densidad poblacional (menos de 40 habitantes, a menos que el caserío se encuentre aledaño a la matriz).

²² Fuente de la entrevista: Consejo Políticas de Infraestructura, 2019.

²³ Las localidades en cuestión se muestran en las Figuras A.1, A.2 y A.3 del anexo.

- Pertenecer a la zona urbana de Combarbalá (abastecida por Aguas del Valle). Para estas localidades se prevé que el servicio sea abastecido en el futuro por Aguas del Valle.

Se tiene que 32 localidades son seleccionadas para ser beneficiados con el apoyo a los sistemas APR, sumando un total de 5.600 habitantes. Las localidades beneficiadas por La Tranca son: Cogotí 18, El Chineo, La Colorada, La Cuadra La Isla, La Ligua, Las Barrancas, Los Llanos de Cogotí, La Fragüita, y Tinajas. Por Murallas Viejas: El Molino, La Cantera, La Capilla, Pueblo Hundido, y Ramadilla. Por Valle Hermoso ramal 1 (APR1): Agua Amarilla, Chingay, Chipel, El Huacho, El Peral, El Sauce, El Soruco, Manquehua, Matancilla, Media Luna, Pama Abajo, Pama Arriba, Quilitapia, y Valle Hermoso. Por Valle Hermoso ramal 2 (APR2): El Espino, Lagarrigue, y Llahuín.

Para las localidades excluidas con estos criterios se deben estudiar otras alternativas de suministro de agua potable como sistema de impulsión, transporte en camiones aljibe, exploración de pozos profundos, etc.

- El estudio contempla el desarrollo de sistemas APR, incluyendo matrices por cada Valle beneficiado con la construcción de los embalses.

Los trazados se realizaron como sistemas de escurrimiento a presión por gravedad, aprovechando al máximo la carga hidráulica dada por las cotas de los embalses. El material de las tuberías es de PVC y se utilizan al máximo las huellas o servidumbres existentes para minimizar costos. El trazado del embalse La Tranca tiene una longitud de 27,4 km, el de Murallas Viejas 15,4 km y el de Valle Hermoso 110 km de tubería.

Sobre el párrafo anterior es criticable el material de tubería que usan en este estudio, ¿será el PVC realmente el mejor material o se sigue empleando porque es más barato?. Se considera que es ampliamente usado dado que presenta un mayor rendimiento de instalación metros/hora, es decir, es más fácil y rápido de instalar que otras alternativas como el HDPE que requiere termofusión²⁴ para instalarlo. Sin embargo, también hay que considerar que es más fácil que las uniones del PVC se suelten, debido por ejemplo a vibraciones del suelo. Para una conducción de este tipo que recorre largas distancias se sugiere utilizar HDPE, aunque salga más cara la instalación, debido a que probablemente tendrá una durabilidad mayor al PVC y no tendrá que ser reparada frecuentemente.

²⁴El proceso de termofusión es más lento y requiere tanto de operadores capacitados como de equipos especializados.

A continuación, en la Figura 4.10 se muestran los trazados:



Figura 4.10: Trazados de sistemas APR comuna de Combarbalá. Fuente: MN Ingenieros, 2011.

- Ahora se describen las características del sistema de conducción.
 - Sistema de escurrimiento por gravedad, donde el agua sería conducida aprovechando al máximo la presión generada por la diferencia de cota altimétrica entre la obra de captación a la salida de los embalses y el destino final del sistema.
 - El sistema contempla las obras necesarias para la captación y conducción del agua proveniente de los embalses, hasta las cámaras de válvulas de entrega en cada localidad beneficiada.
 - Se considera la presión necesaria en los puntos de entrega, de modo de permitir la posterior conducción hacia reservorios de acumulación en altura.
 - Los sistemas de conducción, acumulación, tratamiento y distribución de cada localidad corresponden a un sistema diferente, que debe ser evaluado para cada localidad, por lo que no forman parte del estudio.
 - La obra de captación es de tipo superficial, corresponde a una captación lateral de los canales de salida de las minicentrales hidroeléctricas proyectadas para cada embalse. Estará compuesta por:
 - Una rejilla que limite la entrada de materiales sólidos.
 - Una compuerta deslizante que controlará el flujo de entrada a la obra de captación.

- Un vertedero triangular que permita la medición manual de la cantidad de flujo que se suministre al sistema.
- Una compuerta que permita la limpieza y desalojo del caudal excedente para su posterior retorno al canal alimentador.
- Una cámara sumidero de 1,5 m de profundidad, donde estará sumergida la tubería de salida, que además estará provista de un filtro que minimice la entrada de material que pueda sedimentar dentro de la tubería.
- Una cámara de control de flujo, provista de válvulas y flujómetro, en donde se medirá y controlará el caudal suministrado al sistema.

En la Figura 4.11 se puede observar un esquema semejante de esta obra.

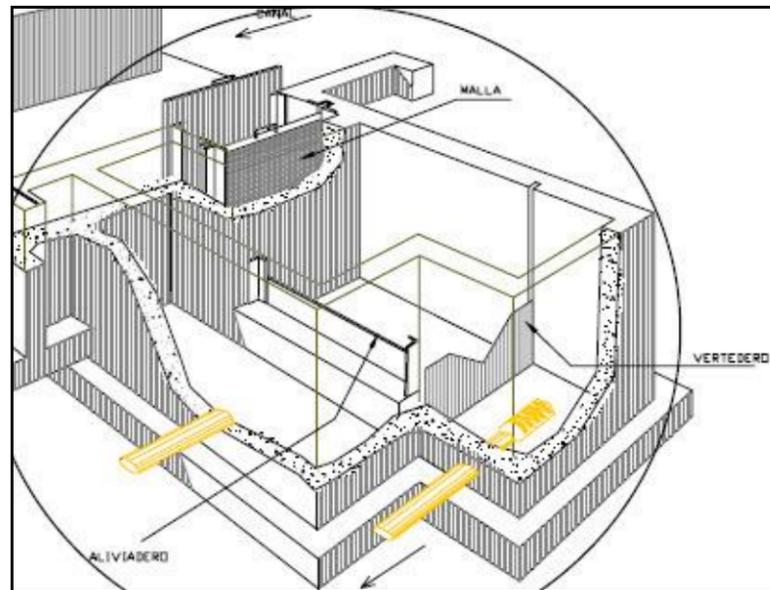


Figura 4.11: Esquema de captación lateral. Fuente: MN Ingenieros, 2011.

- La línea de conducción tiene las siguientes características:
 - Tuberías de PVC (Clases 16, 10 y 6, según presión requerida).
 - Ventosas en puntos altos o a una distancia máxima de 1000 m.
 - Válvulas de purga en punto más bajo para limpieza de sedimentos y mantención general de la línea.
 - Las entregas de caudal en cada poblado se harán mediante una válvula de compuerta para el control, un flujómetro para medir el caudal, y otra válvula de compuerta para la mantención de este sistema.

- Se consideraron los siguientes criterios hidráulicos:
 - En este estudio de viabilidad se utiliza como caudal de diseño el caudal máximo diario, definido por la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{P \cdot D \cdot F}{86400} (l/s)$$

Donde:

Q_{md}: Caudal máximo diario.

P: Población (Nº de habitantes).

D: Dotación (l/hab/día), se considera D=150 (l/hab/día).

F: Factor de caudal máximo diario (F=1.5).

- Velocidades del agua en las tuberías: Velocidad mínima 0,4 m/s, velocidad máxima 3 m/s.
- Dotación: 150 l/hab/día.
- Pendientes máximas de diseño son de 30 %.
- Caudales mínimos: Escurrirá un caudal un poco mayor al requerido por temas de viabilidad hidráulica (localidades muy alejadas o alta cota altimétrica), pero esto no implica que se entregue un caudal mayor al demandado, ya que esto se regula con un flujómetro.
- Pérdidas friccionales: Hazen williams.

$$Q = 0,2785 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot S^{0,54}$$

Donde:

Q: Caudal (m^3/s).

C: Coeficiente de rugosidad para PVC (C=150).

D: Diámetro interior de la tubería (m).

S: Pérdida de carga unitaria, $S=H_f / L$.

H_f: Pérdida de carga total en el tramo (m).

L: Longitud del tramo de tubería (m).

- Pérdidas singulares: Por piezas y accesorios correspondiente a un 15 % de la pérdida friccional total.
- Los volúmenes anuales de agua de los tres embalses destinados a APR son:
 - La Tranca: 184.700 m^3 (Con un caudal de entrega de 5,86 l/s)
 - Murallas Viejas: 55.517 m^3 (Con un caudal de entrega de 1,76 l/s)
 - Valle Hermoso (APR1)²⁵: 216.022 m^3 (Con un caudal de entrega de 6,85 l/s)
 - Valle Hermoso (APR2): 16.083 m^3 (Con un caudal de entrega de 0,51 l/s)

²⁵ El embalse Valle Hermoso abastece a dos ramales, ver Figura 4.10

- El presupuesto (año 2011) para cada embalse tiene 3 ítems: Instalación de faenas, obra de captación y línea de conducción. Además, se considera un 40 % del costo directo por concepto de gastos generales y utilidades.

En la Figura 4.12 se tiene el presupuesto total de las obras:

RESUMEN GENERAL DE PRESUPUESTO SISTEMAS APR COMBARBALÁ

APR	INVERSIÓN (\$)
APR Embalse La Tranca	526,388,408
APR Embalse Murallas Viejas	362,704,435
APR Embalse Valle Hermoso	2,638,768,587
TOTAL PRESUPUESTO	3,527,861,430

Figura 4.12: Presupuesto Total Año 2011 Sistemas APR Combarbalá. Fuente: MN Ingenieros, 2011.

Este total transformado al año 2022 resulta en \$5.533.522.265²⁶

- En el estudio se concluye que:
 - Es posible apoyar a 32 localidades de la comuna de Combarbalá (5.600 habitantes en total):
 - El embalse La Tranca apoya a 10 localidades, lo que se traduce en 2.249 habitantes y 27,4 km de tubería.
 - El embalse Murallas Viejas apoya a 5 localidades, lo que se traduce en 676 habitantes y 18,3 km de tubería.
 - El embalse Valle Hermoso apoya a 17 localidades, lo que se traduce en 2.675 habitantes y 110 km de tubería.
 - El sistema APR2 Valle Hermoso resulta poco atractivo porque beneficia solo a 130 personas (3 localidades: Lagarrigue, Llahuín, El Espino) con un alto costo de \$688.144.046 pudiendo descartarse dado que además su trazado involucra dificultades (gran longitud, construcción de túnel, etc). Con esto se tendría un presupuesto total para los sistemas APR restantes de \$2.839.717.384 y que a su vez presentan mejores perspectivas de viabilidad técnica para su diseño.

²⁶ Se utiliza la página web dineroeneltiempo.com que realiza el cálculo mediante la siguiente fórmula:

$$Valor_{2022} = Valor_{2011} \cdot \frac{IPC_{2022}}{IPC_{2011}}$$

4.1.4.2. Estado de avance de las obras de apoyo a APRs por parte del embalse Valle Hermoso

El 4 de junio de 2021, el Subdirector de Servicios Sanitarios Rurales de la Región de Coquimbo, ante una solicitud vía Ley de Transparencia realizada por María José Arellano (ver solicitud en Figuras B.1 y B.2 del anexo), informó lo siguiente acerca del proyecto “Construcción sistema APR colectivo varias localidades, Combarbalá”:

La iniciativa “Construcción Sistema APR Colectivo APR varias localidades, Combarbala”, cuenta con una Factibilidad Terminada, la que fue ejecutada entre los años 2012 al 2014, por la Empresa Consultora Arrau Ingeniería SPA. y está postulando a la Etapa de Diseño al Ministerio de Desarrollo Social y Familia, para el año presupuestario 2021. El Diseño contempla diseñar a nivel de ingeniería la alternativa seleccionada en Etapa de Factibilidad, la cual proyecta una matriz principal proveniente del embalse Valle Hermoso, incorporando en su trazado 3 ramales, con el objetivo de otorgar abastecimiento hídrico a varias localidades de la comuna de Combarbalá.

Se desarrollará en las siguientes etapas:

- Etapa 1: Diagnóstico, Optimización, Balance, Análisis de Alternativa y Participación Ciudadana (PAC).
- Etapa 2: Estudios básicos y Participación Ciudadana (PAC).
- Etapa 3: Definición del Sistema y sus Obras y Participación Ciudadana (PAC).
- Etapa 4: Diseño del Proyecto (Ingeniería de detalle) y Participación Ciudadana (PAC).
- Etapa 5: Cubicación, Presupuesto, Especificaciones, Evaluación Económica, Autorizaciones y Participación Ciudadana (PAC).
- Etapa 6: Informe Final y entrega del estudio.

El plazo contemplado para el Diseño es de 13 meses y el Monto aproximado es de 1.219 millones de pesos.

Además, el Subdirector adjuntó una minuta con los siguientes antecedentes técnicos de la iniciativa.

- Etapa a la que postula: Diseño.
- Justificación del proyecto: La materialización de este estudio surge de la necesidad de abastecer a varias localidades de la comuna de Combarbalá que presentan problemas de disponibilidad de agua potable debido a la escasez hídrica que afecta a la región de Coquimbo. De esta manera, la iniciativa busca cumplir con los objetivos del Programa Nacional de Agua Potable Rural.

- Descripción de la propuesta:

- Según lo concluido en Estudio Factibilidad Construcción Sistema Colectivo de Agua Potable Rural, Varias Localidades, Comuna de Combarbalá Provincia de Limarí, Región de Coquimbo, la mejor alternativa de proyecto corresponde a la que incluye alimentar directamente a las ocho localidades que ya tienen sistema de APR y la inclusión de tres localidades que cumplen con los criterios del programa nacional de agua potable rural de la Dirección de Obras Hidráulicas.
- Adicionalmente se consideran llaves o estaciones de carguío para alimentar al resto de las localidades con camión Aljibe (18 localidades).
- Las localidades consideradas con alimentación directa se muestran la Tabla 4.5.

Tabla 4.5: Trazado de tuberías. Fuente: Subdirector SSR Región de Coquimbo vía Ley de Transparencia, 4 de junio 2021.

Localidad		Modo de Abastecimiento Actual de Agua
1	El Huacho	APR
2	El Sauce	APR y Camión Aljibe
3	Manquehua	APR
4	Quilitapia	APR
5	El Soruco	APR y Camión Aljibe
6	Valle Hermoso	APR y Camión Aljibe
7	Media Luna	APR
8	Agua Amarilla	APR y Norias
9	Pama Arriba	Camión Aljibe y Pozos
10	Matancilla	Camión Aljibe
11	Chipel	Camión Aljibe y Norias

- Definición del trazado de la tubería: El trazado de las tuberías se indica en la Figura 4.13.



Figura 4.13: Trazado de tuberías. Fuente: Subdirector SSR Región de Coquimbo vía Ley de Transparencia, 4 de junio 2021.

En la Tabla 4.6 se muestra el detalle de la longitud del trazado.

Tabla 4.6: Trazado de tuberías. Fuente: Subdirector SSR Región de Coquimbo vía Ley de Transparencia, 4 de junio 2021.

Tramo de tubería	Longitud (km)
Matriz 1 - Central	62,3
Ramal 1.1 - Quilatapia - Chipel	12,9
Ramal 1.2 - El Sauce	1,2
Ramal 1.3 - Agua Amarilla	1,34
Longitud Total	77,74

Luego, el 29 de junio de 2021 el mismo Subdirector informó lo siguiente (ver solicitud en Figura B.3 del anexo):

- La iniciativa “Construcción Sistema APR Colectivo APR varias localidades, Combarbalá”, está postulando a la etapa de Diseño y a la fecha no cuenta con Recomendación Favorable del Ministerio del Desarrollo Social y Familia (MIDESOYF), por lo que asociado a esta aprobación, la iniciativa podría sufrir modificaciones y por tanto no es definitiva.
- Actualmente se están subsanando las observaciones remitidas por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia a través de RATE OT²⁷ de fecha 13/11/2020.
- Se presentará nuevamente a revisión al MIDESOYF, durante el mes de Agosto de 2021.

A septiembre de 2022, no se tiene conocimiento de cual es el estado de esta iniciativa, ni cuando se construirán las obras para abastecer con agua del embalse Valle Hermoso a estas 11 localidades.

4.2. Embalses proyectados

Los embalses proyectados por la DOH en la provincia de Limarí son dos, Murallas Viejas y La Tranca. En la Figura 4.14 se puede apreciar donde se ubican estas dos obras dentro de la comuna de Combarbalá. En conjunto con el embalse Valle Hermoso, los tres quedarán integrados en el sistema de embalses Paloma-Cogotí.

Estos dos embalses, junto al embalse Valle Hermoso, suplirán el déficit de agua potable rural, para una proyección de población en un horizonte de 35 años, de la totalidad de los sistemas de APRs de la comuna de Combarbalá (MOP-DOH, 2017).

²⁷ Resultado de Análisis Técnico Económico Objetado Técnicamente (se concluye que no es conveniente llevar a cabo la inversión).



Figura 4.14: Ubicación embalses Murallas Viejas y La Tranca en comuna de Combarbalá. Fuente: MOP-DOH, 2017.

4.2.1. Embalse Murallas Viejas

El embalse Murallas Viejas se emplazará en el río Combarbalá, en la comuna del mismo nombre, y se encargará de regular los recursos hídricos de este río. Tendrá una capacidad de 50 millones de metros cúbicos y su finalidad principal será la de mejorar las condiciones de riego, beneficiando 3.250 hectáreas con 85 % de seguridad de riego. En el valle del río Combarbalá existen 1.160 hectáreas bajo cota de canal, de las cuales normalmente se riegan sólo unas 440 hectáreas, con deficiente seguridad (42 %). El riego seguro abarca solamente unas 150 hectáreas (Diario Región de Coquimbo, 2007).

Además, también tendrá como objetivos secundarios, generar energía hidroeléctrica mediante una minicentral, y suplir demandas de agua potable a los sistemas APR de la comuna.

Como se expone en el Estudio de viabilidad Sistemas APR Abastecidos por Embalses de Comuna de Combarbalá mencionado anteriormente, se planea apoyar a 5 localidades rurales, las cuales son: Ramadilla, La Capilla, La Cantera, El Molino y Pueblo Hundido, lo que se traduce en 676 habitantes. Este sistema colectivo se muestra en la Figura 4.15.



Figura 4.15: Sistema colectivo embalse Murallas Viejas. Fuente: MN Ingenieros, 2011.

La obra contempla la construcción de una presa del tipo CFRD de 109 metros de altura, 594 metros de longitud y 8 metros de ancho en su coronamiento. Más aún, contará con evacuador de crecidas, túnel de desvío, entrega y desagüe de fondo, y obras complementarias (BIP DATA Explorador de iniciativas de inversión pública en Chile, Ministerio de Desarrollo Social, 2022).

Según un artículo presente en la página web del Consejo de Políticas de Infraestructura (Fuente: El Día, Domingo 15 de Marzo de 2020), se ha pedido acelerar el proceso administrativo de este embalse, de hecho el año 2020 se realizó una reunión en Santiago entre regantes de Combarbalá, el alcalde de esa comuna y el ministro de Desarrollo Social para agilizar los trámites que permitan que el proyecto del embalse Murallas Viejas pueda ser una respuesta a la sequía en los próximos años. Como se comenta en el artículo, el alcalde de Combarbalá aclara que los estudios que faltan son el de impacto ambiental y el de ingeniería complementaria, por lo tanto si el Ministerio de Desarrollo Social recomienda satisfactoriamente la realización de dichos estudios, ya se cuentan con los recursos para poder iniciarlos y llevarlos a cabo, lo que significaría, en el mejor de los casos, que la licitación se podría desarrollar durante el segundo semestre del año 2020, los estudios se podrían realizar durante el año 2021, y en el año 2022 ya se podría aspirar a tener la recomendación satisfactoria para pasar a la ejecución de la obra.

A septiembre de 2022, se desconoce si los eventos señalados para las fechas mencionadas en el párrafo anterior se han cumplido, aunque se ha comprobado que al menos en la página del SEA no hay registro de algún EIA²⁸ o DIA²⁹ para el embalse Murallas Viejas, por lo que se concluye que aún no se ha realizado el estudio de impacto ambiental.

²⁸ Estudio de Impacto Ambiental.

²⁹ Declaración de Impacto Ambiental.

4.2.2. Embalse La Tranca

El embalse La Tranca se proyecta en el río Cogotí, 22 km aguas arriba del embalse Cogotí, en la Comuna de Combarbalá. Corresponde a una obra de regulación, cuyo objetivo principal será mejorar y ampliar el riego existente en la zona.

Actualmente la superficie regada en la zona alcanza a unas 1.600 hectáreas, que son abastecidas con deficiente seguridad, pues el riego seguro abarca sólo unas 800 hectáreas. Una vez construido el embalse La Tranca, los recursos hídricos utilizables aumentarán, lo que permitirá mejorar la seguridad de riego para alcanzar un mínimo de 85 % en todos los sectores (MN Ingenieros, 2011).

La presa es del tipo CFRD, con una altura de 110 metros y un volumen de muro de 3.000.000 de metros cúbicos, inunda 145 hectáreas, lo que se traduce en una capacidad útil de 46 millones de metros cúbicos, que beneficiará a 432 predios (MOP-DOH, 2017). Las principales obras de este embalse se indican en la Figura 4.16.

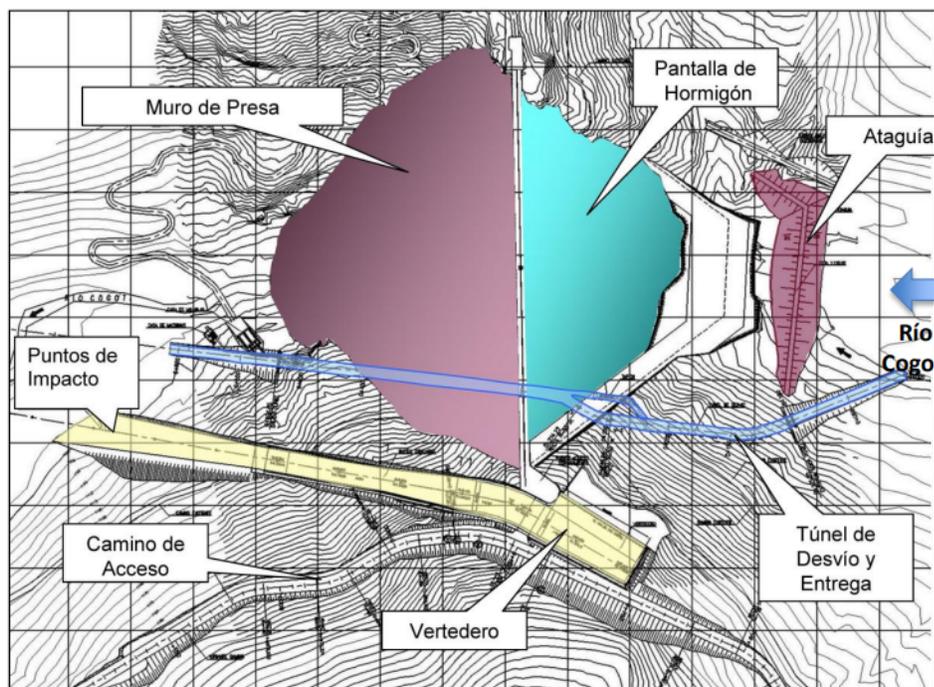


Figura 4.16: Disposición general de las obras del embalse La Tranca. Fuente: MOP-DOH, 2017.

Como objetivos secundarios del proyecto están los de generar energía hidroeléctrica en una minicentral asociada al embalse y dar respaldo a los servicios APR en su área de influencia (MN Ingenieros, 2011). Sobre este último objetivo y así como se muestra en la anterior sección en el Estudio de viabilidad Sistemas APR Abastecidos por Embalses de Comuna de Combarbalá, el embalse La Tranca apoyará a 10 localidades, lo que equivale a 2.249 habitantes. Las localidades son: La Fraguüita, Las Barrancas, El Chineo, Tinajas, Cogotí 18, Llanos de Cogotí, La Cuadra, La Isla, La Ligua y La Colorada. Este sistema colectivo se muestra en la Figura 4.17.

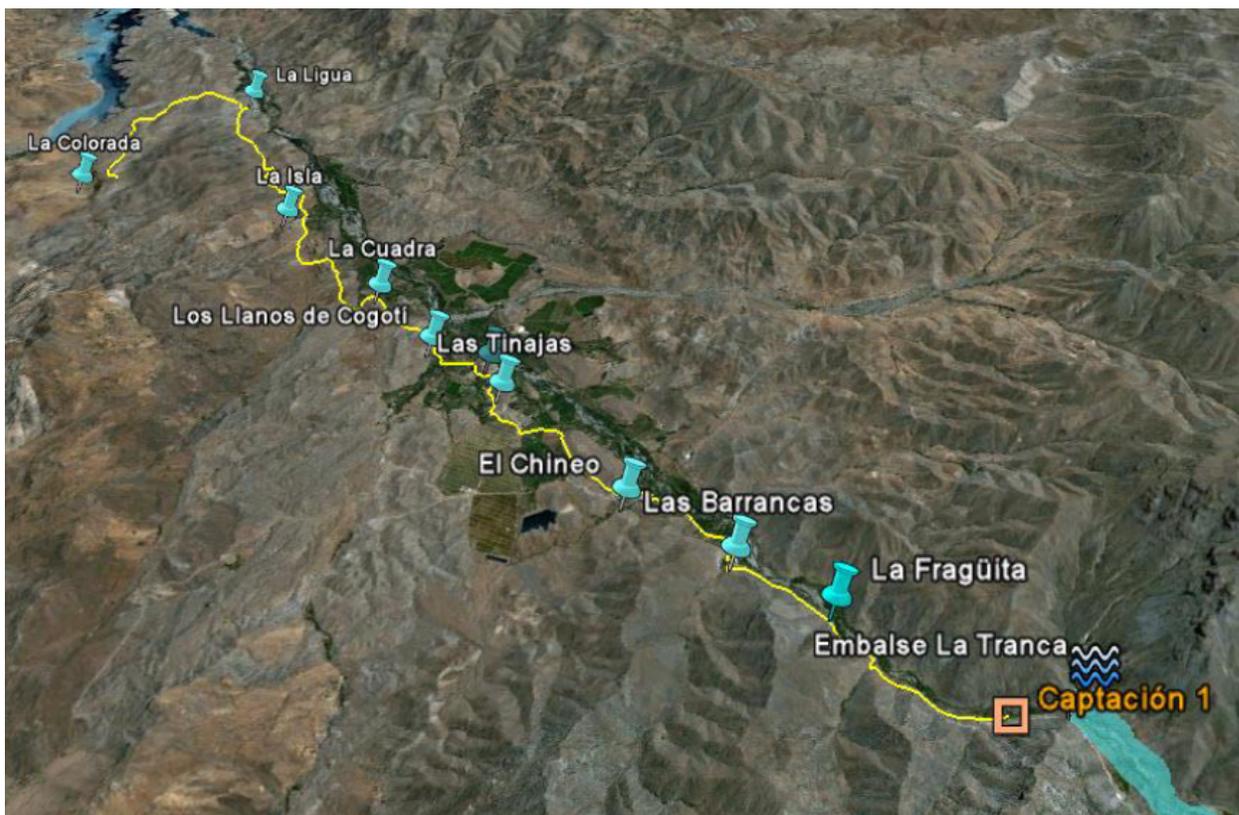


Figura 4.17: Sistema colectivo embalse La Tranca. Fuente: MN Ingenieros, 2011.

Cabe destacar que la construcción de este embalse ha generado algunas aprensiones de los habitantes de la localidad de El Durazno, aledaña a donde se emplaza la obra, quienes han manifestado que no están de acuerdo con el sitio ya que existe patrimonio arqueológico y porque implicaría la inundación del poblado (ENERNEWS/El Día, 2016).

El Diseño de Ingeniería Básica del embalse, inició el 30 de mayo de 2016, a cargo de la empresa consultora Técnica y Proyectos S.A. (TYPESA). El Estudio de Impacto Ambiental (EIA), inició el 18 de agosto de 2016, a cargo de la empresa consultora Amec Foster Wheeler Internacional Ingeniería y Construcción Ltda (ENERNEWS/El Día, 2016). Sin embargo, en 2018 la DOH puso término al contrato con TYPESA 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). Es por esto, que actualmente la construcción de este embalse está lejos de ser realidad.

Capítulo 5

Determinación de la demanda de agua potable en comunidades rurales y zonas de influencia de los embalses elegidos

En este capítulo se detalla el proceso de selección de embalses a estudiar, sus zonas de influencia, y las demandas de agua potable de comunidades rurales.

5.1. Selección de embalses para abastecimiento de agua potable a comunidades rurales

La selección de los embalses se realiza analizando distintos factores de las cinco comunas de la provincia de Limarí. Esta selección se hace únicamente con el objetivo de dimensionar los alcances del presente estudio, ya que se considera que todas las comunas necesitan soluciones urgentes en torno a agua potable en comunidades rurales, pero el tiempo es insuficiente para abarcar a todas en el presente trabajo.

Se elabora una matriz de decisión en base a 6 criterios para conocer las características de las comunas de la provincia de Limarí. Los criterios en orden de importancia son:

5.1.1. Porcentaje de viviendas sin agua de la red pública

Se refiere a las viviendas que se abastecen por pozo o noria, camiones aljibes, o de fuentes naturales (esteros, ríos o canales). Este se considera un indicador importante, ya que el principal eje que mueve este estudio es la escasez de agua potable en comunidades rurales.

Los datos de porcentaje de viviendas sin agua en cada comuna son extraídos de la ficha regional de Coquimbo elaborada el 2017 por la ODEPA, basado en el Censo 2017.

5.1.2. Embalses ubicados dentro de la comuna

Se considera importante que las comunas que cuenten con algún embalse en su territorio, para así abastecer con mayor facilidad técnica a los APR que se encuentren en la misma. Por temas de tiempo queda fuera de los alcances del estudio abastecer con los embalses seleccionados a APRs que no se ubiquen en la misma comuna que los embalses.

5.1.3. Porcentaje de habitantes en situación de pobreza multidimensional

La Pobreza Multidimensional ha sido entendida por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y localmente por la encuesta CASEN, como un concepto más allá de la falta de ingresos para la satisfacción de necesidades, sino más bien como personas que sufren carencias en las dimensiones: educación, salud, trabajo, seguridad social, vivienda y nivel de vida en general (Fundación trascender, 2018).

Este criterio se elige porque es interesante conocer y comparar el nivel de pobreza, en varias dimensiones, que existe en las distintas comunas de Limarí, y no solo considerando el factor ingresos.

Los datos se obtienen igualmente de la ficha regional de Coquimbo elaborada con datos del último Censo (ODEPA, 2017).

5.1.4. Porcentaje de habitantes en situación de pobreza por ingresos

Según el Observatorio Social del Ministerio de Desarrollo Social y Familia, un hogar en situación de pobreza por ingresos es aquel cuyo ingreso mensual es inferior a la “línea de pobreza por persona equivalente”, o ingreso mínimo establecido para satisfacer las necesidades básicas alimentarias y no alimentarias en ese mismo período, de acuerdo al número de integrantes del hogar.

Se escoge como criterio este indicador para conocer y comparar el nivel de pobreza, en cuanto a ingresos se refiere, de las cinco comunas.

Los datos se obtienen igualmente de la ficha regional de Coquimbo elaborada con datos del último Censo (ODEPA, 2017).

5.1.5. N° APRs y arranques en la comuna

Se considera interesante conocer la cantidad de sistemas APR de cada comuna y sus respectivos arranques, para así aprovechar de atender a la mayor cantidad de APRs con los embalses seleccionados.

La fuente de estos datos proviene del Presidente de la Asociación Gremial de APR Provincia de Limarí, quien proporcionó, el 27 de agosto de 2021, un listado de los APRs de Limarí, incluyendo las cinco comunas y los respectivos arranques.

5.1.6. N° decretos de escasez hídrica emitidos por comuna

Según el Director General de Aguas, Cristian Núñez, los decretos de escasez hídrica permiten la aplicación de instrumentos que buscan disminuir el impacto de la sequía en la vida de las personas. Estos decretos permiten que se puedan tomar una serie de medidas. Por ejemplo, da facultades a la DGA para autorizar extracciones de aguas superficiales o subterráneas cuando los titulares no pueden ejercer sus derechos de aprovechamiento de aguas y también atribuciones para intervenir en el reparto y suspender las potestades de las Juntas de Vigilancia de los ríos y en el seccionamiento de las corrientes naturales ubicadas en el territorio de escasez hídrica, siempre y cuando exista desacuerdo en la distribución de las aguas por parte de los usuarios (DGA, 2022).

Esta medida comenzó a aplicarse desde el 2008, pero para este estudio se consideran el N° de decretos que se han emitido en las cinco comunas desde el año 2014 al 2022 para tener una estadística más reciente. Los datos se extraen desde la página web de la DGA, donde existe una planilla con los datos históricos de estos decretos desde 2008 hasta la actualidad.

5.1.7. Matriz de selección de comunas

En la Tabla 5.1 se presenta la matriz con los seis criterios y las cinco comunas:

Tabla 5.1: Matriz de selección de comunas. Elaboración propia.

Comuna	Punitaqui	Combarbalá	Río Hurtado	Monte Patria	Ovalle
% Viviendas sin agua de la red pública	33,2 %	24,3 %	13,4 %	10,6 %	8,2 %
Embalse dentro de la comuna	-	Cogotí, Valle hermoso	-	La Paloma	Recoleta
% Pobreza multidimensional	36,0 %	33,5 %	40,0 %	33,5 %	26,1 %
% Pobreza por ingreso	25,2 %	16,2 %	17,2 %	21,4 %	5,7 %
N° APR ; Arranques	6 ; 1.114	18 ; 3.252	9 ; 2.164	26 ; 6.339	36 ; 8.623
N° Decretos escasez hídrica ^a	17	17	15	16	17

^a 2014-2022.

En relación a viviendas sin agua de la red pública, se tiene que la comuna de Punitaqui presenta el mayor porcentaje con un 33,2 %, seguido de Combarbalá (24,3 %), Río Hurtado (13,4 %), Monte Patria (10,6 %) y Ovalle (8,2 %).

Respecto a los embalses ubicados dentro de cada comuna, se nota que las comunas de Punitaqui y Río Hurtado no cuentan con embalse, a diferencia de las comunas de Combarbalá, Monte Patria y Ovalle, donde se encuentran los embalses Cogotí/Valle Hermoso, La Paloma y Recoleta, respectivamente.

Sobre la pobreza dimensional se tiene que el mayor porcentaje de gente en situación de pobreza multidimensional lo tiene la comuna de Río Hurtado con un 40 %, le siguen Punitaqui (36 %), Combarbalá y Monte Patria con un 33,5 %, y Ovalle (26,1 %).

En la pobreza por ingreso, el mayor porcentaje de gente en esta situación lo tiene la comuna de Punitaqui con un 25,2 %, luego viene Monte Patria con un 21,4 %, Río Hurtado con un 17,2 %, Combarbalá con un 16,2 %, y Ovalle con un 5,7 %.

El mayor número de APRs y arranques lo tiene la comuna de Ovalle con 36 APR (8.623 arranques), le sigue Monte Patria con 26 (6.339), Combarbalá con 18 (3.252), Río Hurtado con 9 (2.164), y Punitaqui con 6 (1.114).

Sobre el número de decretos de escasez hídrica emitidos para cada comuna se tiene que lideran Punitaqui, Combarbalá y Ovalle con 17, luego Monte Patria con 16, y Río Hurtado con 15. Se puede ver que dada la crisis hídrica en la zona en los últimos años, este criterio arroja resultados similares para las cinco comunas.

Con toda esta información se corrobora que efectivamente las cinco comunas son candidatas para el estudio, y que todas necesitan apoyo con soluciones que ayuden a combatir la escasez de agua potable rural. Sin embargo, como ya se indicó, este trabajo abarcará dos.

Se escogen las comunas de Combarbalá y Monte Patria para el estudio, esto principalmente debido a que en estas comunas existen embalses, no así en Punitaqui, quien se considera sería la principal competidora debido a que presenta el mayor nivel de pobreza por ingresos y multidimensional, y mayor porcentaje de viviendas sin agua de la red pública. Igualmente, las comunas seleccionadas presentan un porcentaje no despreciable de viviendas sin agua de red pública, pobreza multidimensional y por ingresos. Por otro lado, aunque Ovalle también tiene un embalse (Recoleta), presenta los menores niveles de pobreza, y es la comuna con menor porcentaje de viviendas sin agua de red pública.

Por lo tanto, los embalses seleccionados son La Paloma de capacidad 750 hm^3 y Valle hermoso de $20,3 \text{ hm}^3$. Se privilegia Valle Hermoso por sobre el embalse Cogotí dado que para el primero ya ha sido previsto la posibilidad de utilizar sus aguas para consumo humano.

5.2. Localidades en las áreas de influencia de los embalses elegidos

En esta sección se especifican los sistemas APR que se ubican en las áreas de influencia de los embalses Valle Hermoso y La Paloma, es decir, en Combarbalá y Monte Patria respectivamente. Como se ha mencionado en los criterios de selección, este estudio se centra en apoyar a los APR de las 2 comunas seleccionadas, debido más que nada a temas de plazos del presente estudio. Sin embargo, en un estudio futuro bien podría incluirse la posibilidad de abastecer a APRs que estén en una comuna distinta a la del embalse.

5.2.1. Comuna de Combarbalá

A 27 de agosto de 2021, se tiene que existen 18 APRs en la comuna de Combarbalá, sumando un total de 3.252 arranques. El detalle se muestra en la Tabla 5.2:

Tabla 5.2: APRs y Arranques de la Comuna de Combarbalá. Fuente: Presidente Asociación Gremial de APR Provincia de Limarí, 27-08-2021.

APRs Comuna de Combarbalá	
APR	Arranques
Cogotí 18	522
El Durazno	73
El Huacho	110
El Sauce	144
El Soruco	103
La Cantera	53
La Capilla	36
La Colorada	75
La Isla	171
La Ligua de Cogotí	353
Las Barrancas- El Chineo -La Fragueta	273
Manquehua	185
Medialuna	45
Qulitapia	365
Ramadilla	119
San Marcos	450
Pama Arriba	60
Valle Hermoso	115
Total arranques	3.252

En la Figura 5.1 se pueden apreciar las localidades rurales con APR en el área de influencia del embalse Valle Hermoso.

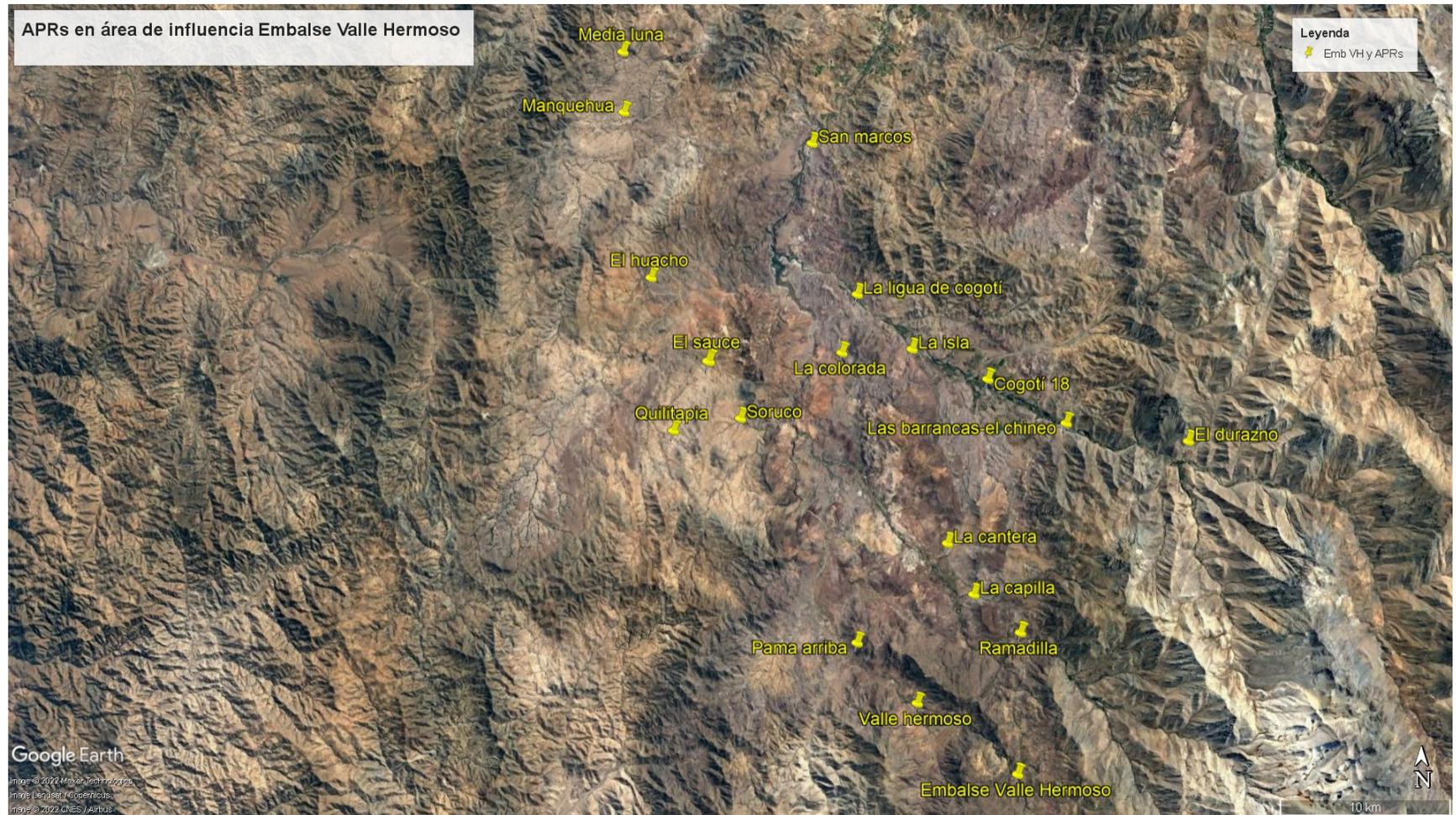


Figura 5.1: Sistemas APR en el área de influencia del embalse Valle Hermoso en Combarbalá. Elaboración propia.

5.2.2. Comuna de Monte Patria

A 27 de agosto de 2021, se tiene que existen 26 APRs en la comuna de Monte Patria, sumando un total de 6.339 arranques. El detalle se muestra en la Tabla 5.3:

Tabla 5.3: APRs y Arranques de la Comuna de Monte Patria. Fuente: Presidente Asociación Gremial de APR Provincia de Limarí, 27-08-2021.

APRs Comuna de Monte Patria	
APR	Arranques
Bellavista de Carén	34
Carén	278
Cerrillos de Rapel	268
Colliguay	291
Chañaral de Carén	301
Chilecito-Mialqui	517
El Coipo	149
El Maitén	82
El Maqui-Pampa Grande	250
El Tome Alto	247
Flor del Valle-Agua Chica	401
Huatulame	541
Juntas-Dos Ríos	194
Las Mollacas	161
Las Ramadas-Pejerreyes	178
Los Clonquis	156
Los Morales	168
Los Tapias	124
Panguesillo	50
Pedregal	179
Rapel	481
Semita	111
Sol de las Praderas	145
Tome Bajo-Palos Quemados	97
Tulahuén	861
Vado Hondo-Barranco	75
Total arranques	6.339

En la Figura 5.2 se pueden apreciar las localidades rurales con APR en el área de influencia del embalse La Paloma.

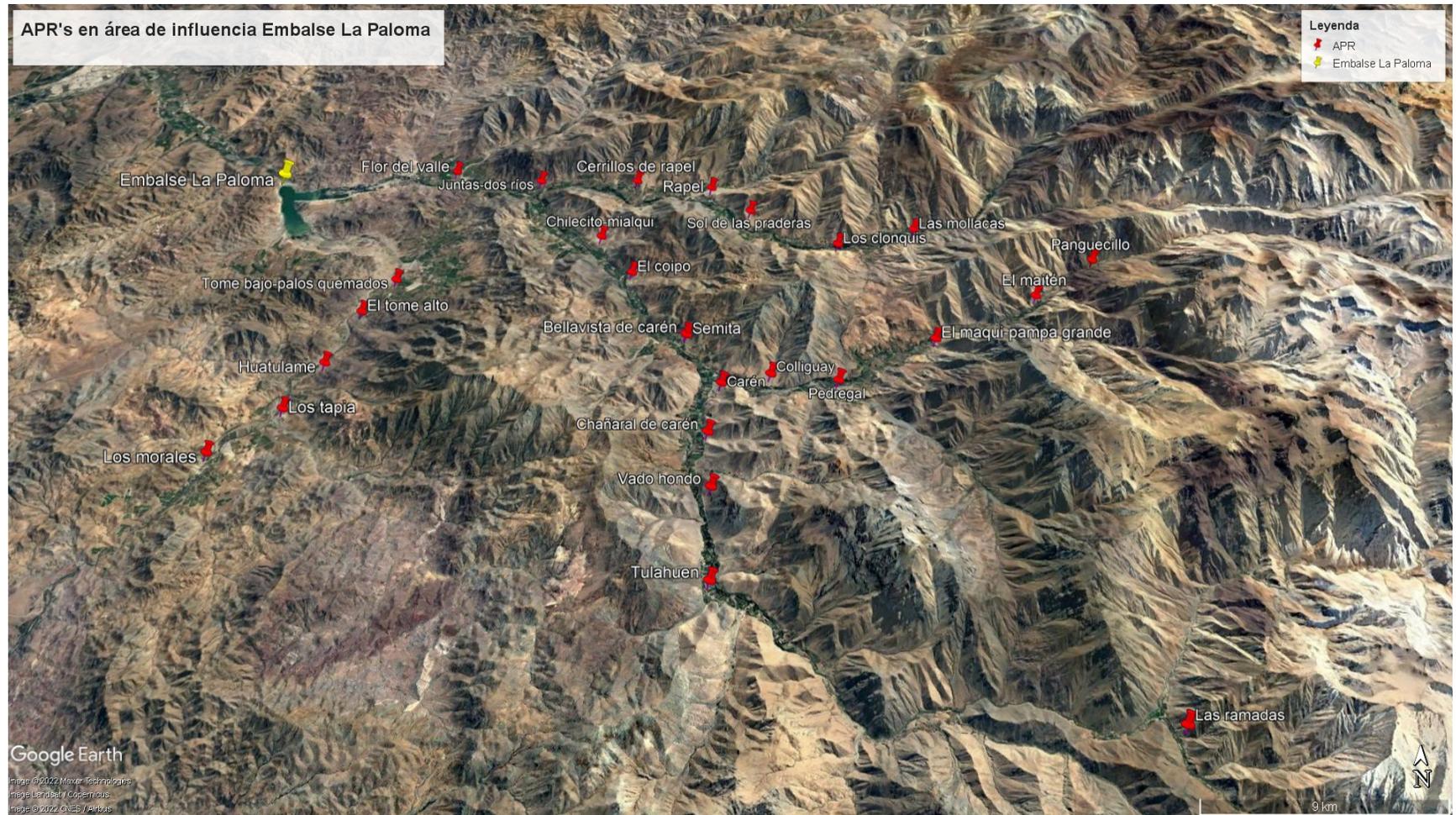


Figura 5.2: Sistemas APR en el área de influencia del embalse La Paloma en Monte Patria. Elaboración propia.

5.3. Determinación de las demandas de agua para cada embalse

Primero, es importante notar que queda fuera de los alcances de este trabajo analizar los derechos de agua existentes en la zona y estudiar cuantos podrían destinarse para apoyar a los APRs con agua para consumo humano.

Para determinar la demanda de agua para consumo humano de los embalses se toma en consideración lo siguiente:

- La OMS señala que 100 litros de agua es el mínimo a lo que una persona debe acceder diariamente, tanto para su consumo como para su higiene (CNN Chile, 2020). Mientras que, según información de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) del año 2017 (ver Tabla 5.4), los promedios de las empresas concesionarias de servicios sanitarios en Chile desde 2011 hasta 2017 van de dotaciones de 167 a 216 l/hab/día. En particular, Aguas del Valle, empresa que opera en la zona de estudio, presenta dotaciones que varían entre los 124,6 y 164,7 l/hab/día.

Dados estos antecedentes, para este trabajo se adopta una dotación de 170 l/hab/día, la misma que utiliza Arellano (2021) en su estudio, donde explica que “esta cifra permite generar una fuente de abastecimiento que logre compensar la escasez que han tenido algunas comunas del país”, por lo que se considera adecuada esta dotación.

Tabla 5.4: Dotaciones de agua potable promedio de empresas concesionarias de servicios sanitarios nacionales desde 2011 hasta 2017. Fuente: SISS, 2017.

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	166,9	172,7	174,9	174,5	172,9	168,0	215,9

- Se consideran 4 personas por arranque, el cual es el promedio regional de Coquimbo (Cazalac, 2016).

- Para efectos del dimensionamiento de la demanda de agua potable, se debe estimar previamente la población futura para diseñar las obras. Se realiza una proyección con un horizonte de 20 años³⁰, o sea, hasta el 2044, ya que la base de cálculo (número de arranques de ambas comunas) corresponde a información del año 2021, y de ese año se estima una población base a 3 años (2024), esto se explica a continuación. El procedimiento a seguir aparece en el Manual de Proyectos de Agua Potable Rural (2019) del MOP.

Lo primero es determinar la población actual de cada localidad, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$Poblacion_{actual} = N^{\circ}viviendas \cdot Densidad \quad (5.1)$$

Donde en este caso, el número de viviendas corresponde al número de arranques, y la densidad corresponde al número de personas por arranque.

Luego se debe determinar la tasa de crecimiento r . En este caso, y tal como se explica en el Manual de Proyectos de Agua Potable Rural, dado que no se posee información catastrada de periodos anteriores en las localidades, se deberá adoptar la tasa de crecimiento de acuerdo a la zona, la que se presenta a continuación en la Figura 5.3.

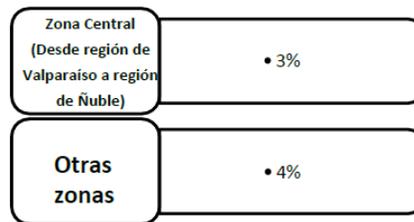


Figura 5.3: Tasa de crecimiento anual. Fuente: MOP, 2019

Por lo tanto, se adopta una tasa de crecimiento anual $r = 4\%$.

Ahora, para determinar la población a proyectar en el estudio, primero se debe calcular la población base de cada localidad. La que se determina proyectando la población actual a 3 años (tiempo estimado que ocurre entre que se termina el diseño y se realiza la ejecución del sistema). Las proyecciones de crecimiento se adoptarán de acuerdo al modelo de crecimiento geométrico de la población:

$$Poblacion_{base} = Poblacion_{actual} \cdot (1 + r)^n \quad (5.2)$$

Donde:

$Poblacion_{base}$ [hab] = Población inicial a proyectar

r [-] = Tasa de crecimiento anual (4%)

n [-] = 3 años, equivalente a los años estimados entre termino de diseño y ejecución de las obras.

³⁰ Esto es lo estipulado en el Manual de Proyectos de Agua Potable Rural (2019) del MOP.

Finalmente, la población futura se calcula de la siguiente manera:

$$Poblacion_{futura} = Poblacion_{base} \cdot (1 + r)^n \quad (5.3)$$

Donde:

$Poblacion_{futura}$ [hab] = Población determinada al año n

r [-] = Tasa de crecimiento anual (4%)

n [-] = Número de años (20)

Para los APR de la comuna de Combarbalá se determina la población futura, la que se indica en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5: Proyección de población en APRs de la comuna de Combarbalá para determinar demanda del embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.

Nombre APR	Arranques (2021)	Población actual (2021)	Población base (a 3 años, 2024)	Población futura (a 20 años, 2044)	Arranques (2044)
LA LIGUA DE COGOTÍ	353	1412	1588	3480	870
MANQUEHUA	185	740	832	1824	456
QUILITAPIA	365	1460	1642	3598	900
EL SAUCE	144	576	648	1420	355
COGOTÍ 18	522	2088	2349	5146	1287
LA ISLA	171	684	769	1686	421
LAS BARRANCAS-EL CHINEO	273	1092	1228	2691	673
SAN MARCOS	450	1800	2025	4436	1109
EL HUACHO	110	440	495	1084	271
LA CAPILLA	36	144	162	355	89
RAMADILLA	119	476	535	1173	293
VALLE HERMOSO	115	460	517	1134	283
SORUCO	103	412	463	1015	254
LA CANTERA	53	212	238	523	131
MEDIA LUNA	45	180	202	444	111
EL DURAZNO	73	292	328	720	180
LA COLORADA	75	300	337	739	185
PAMA ARRIBA	60	240	270	592	148
Total	3252	13008	14632	32061	8015

Para los APR de la comuna de Monte Patria se determina la población futura, indicada en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6: Proyección de población en APRs de la comuna de Monte Patria para determinar demanda del embalse La Paloma. Elaboración propia.

Nombre APR	Arranques (2021)	Población actual (2021)	Población base (a 3 años, 2024)	Población futura (a 20 años, 2044)	Arranques (2044)
LAS RAMADAS	178	712	801	1755	439
CARÉN	278	1112	1251	2741	685
BELLAVISTA DE CARÉN	34	136	153	335	84
CERRILLOS DE RAPEL	268	1072	1206	2642	661
CHANARAL DE CARÉN	301	1204	1354	2968	742
CHILECITO-MIALQUI	517	2068	2326	5097	1274
COLLIGUAY	291	1164	1309	2869	717
EL COIPO	149	596	670	1469	367
EL MAITÉN	82	328	369	808	202
EL MAQUI-PAMPA GRANDE	250	1000	1125	2465	616
EL TOME ALTO	247	988	1111	2435	609
FLOR DEL VALLE	401	1604	1804	3953	988
HUATULAME	541	2164	2434	5334	1333
JUNTAS-DOS RÍOS	194	776	873	1913	478
LAS MOLLACAS	161	644	724	1587	397
LOS CLONQUIS	156	624	702	1538	384
LOS MORALES	168	672	756	1656	414
LOS TAPIA	124	496	558	1222	306
PANGUECILLO	50	200	225	493	123
PEDREGAL	179	716	805	1765	441
RAPEL	481	1924	2164	4742	1186
SEMITA	111	444	499	1094	274
SOL DE LAS PRADERAS	145	580	652	1430	357
TOME BAJO-PALOS QUEMADOS	97	388	436	956	239
TULAHUÉN	861	3444	3874	8488	2122
VADO HONDO	75	300	337	739	185
Total	6339	25356	28522	62495	15624

- Para el cálculo de la demanda de cada APR, primero se debe obtener el caudal medio diario (Q_{md}) en l/s, cuya fórmula, dada por la norma NCh 691, es:

$$Q_{md} = \frac{Poblacion \cdot Dotacion}{86400} \quad (5.4)$$

Donde:

Poblacion [hab]: Se refiere a la población futura, proyectada a 20 años, determinada anteriormente.

Dotacion [l/hab/día]: 170.

Luego, se debe determinar el caudal máximo diario (Q_{maxd}) en l/s, cuya fórmula, dada por la norma NCh 691, es:

$$Q_{maxd} = Q_{md} \cdot F.D.M.C \quad (5.5)$$

Donde:

F.D.M.C [-]: Factor del día de máximo consumo, de valor 1,5.

Finalmente, se calcula el caudal máximo horario (Q_{maxh}), correspondiente al caudal de diseño. Su fórmula, dada por la norma NCh 691, es:

$$Q_{maxh} = Q_{maxd} \cdot F.H.M.C \quad (5.6)$$

Donde:

F.H.M.C [-]: Factor de la hora de máximo consumo, de valor 1,5.

Según el Manual de Proyectos de Agua Potable Rural (MOP-DOH, 2019), para sistemas existentes a los cuales se está realizando estudio se deben emplear las estadísticas de consumo de los últimos 12 meses que maneja el sistema. En base a la información obtenida se debe calcular el F.D.M.C. y F.H.M.C. real que será el que se adoptará para el estudio. En caso de no disponer de información se debe establecer valores referenciales, por lo que se adoptará 1,5 para el F.D.M.C y 1,5 para el F.H.M.C. Como este es el caso se adopta este valor para ambos factores.

En la Tabla 5.7 se presenta el detalle del cálculo de la demanda de agua potable rural para el embalse Valle Hermoso.

Tabla 5.7: Demanda de agua potable rural para embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.

Nombre APR	Población (20 años)	Qmd l/s	Qmaxd l/s	Qmaxh l/s
LA LIGUA DE CO-GOTÍ	3480	6,85	10,27	15,41
MANQUEHUA	1824	3,59	5,38	8,07
QUILITAPIA	3598	7,08	10,62	15,93
EL SAUCE	1420	2,79	4,19	6,29
COGOTÍ 18	5146	10,13	15,19	22,78
LA ISLA	1686	3,32	4,98	7,46
LAS BARRANCAS-EL CHINEO	2691	5,30	7,94	11,92
SAN MARCOS	4436	8,73	13,09	19,64
EL HUACHO	1084	2,13	3,20	4,80
LA CAPILLA	355	0,70	1,05	1,57
RAMADILLA	1173	2,31	3,46	5,19
VALLE HERMOSO	1134	2,23	3,35	5,02
SORUCO	1015	2,00	3,00	4,50
LA CANTERA	523	1,03	1,54	2,31
MEDIA LUNA	444	0,87	1,31	1,96
EL DURAZNO	720	1,42	2,12	3,19
LA COLORADA	739	1,45	2,18	3,27
PAMA ARRIBA	592	1,16	1,75	2,62
			Total l/s	141,94
			Volumen anual (m^3)	4.476.119

Se tiene que la demanda total para el embalse Valle Hermoso es de 141,94 l/s, esto equivale a 4.476.119 m^3 /año, lo cual es factible en términos de capacidad del embalse, ya que este puede almacenar poco más de veinte millones de m^3 .

En la Tabla 5.8 se presenta el detalle del cálculo de la demanda de agua potable rural para el embalse La Paloma.

Tabla 5.8: Demanda de agua potable rural para embalse La Paloma. Elaboración propia.

Nombre APR	Población (20 años)	Qmd l/s	Qmaxd l/s	Qmaxh l/s
LAS RAMADAS	1755	3,45	5,18	7,77
CARÉN	2741	5,39	8,09	12,13
BELLAVISTA DE CARÉN	335	0,66	0,99	1,48
CERRILLOS DE RAPEL	2642	5,20	7,80	11,70
CHAÑARAL DE CARÉN	2968	5,84	8,76	13,14
CHILECITO-MIALQUI	5097	10,03	15,04	22,56
COLLIGUAY	2869	5,64	8,47	12,70
EL COIPO	1469	2,89	4,34	6,50
EL MAITÉN	808	1,59	2,39	3,58
EL MAQUI-PAMPA GRANDE	2465	4,85	7,27	10,91
EL TOME ALTO	2435	4,79	7,19	10,78
FLOR DEL VALLE	3953	7,78	11,67	17,50
HUATULAME	5334	10,49	15,74	23,61
JUNTAS-DOS RÍOS	1913	3,76	5,64	8,47
LAS MOLLACAS	1587	3,12	4,68	7,03
LOS CLONQUIS	1538	3,03	4,54	6,81
LOS MORALES	1656	3,26	4,89	7,33
LOS TAPIA	1222	2,41	3,61	5,41
PANGUECILLO	493	0,97	1,45	2,18
PEDREGAL	1765	3,47	5,21	7,81
RAPEL	4742	9,33	14,00	20,99
SEMITA	1094	2,15	3,23	4,84
SOL DE LAS PRAEDRAS	1430	2,81	4,22	6,33
TOME BAJO-PALOS QUEMADOS	956	1,88	2,82	4,23
TULAHUÉN	8488	16,70	25,05	37,58
VADO HONDO	739	1,45	2,18	3,27
			Total l/s	276,67
			Volumen anual (m³)	8.725.129

La demanda total para el embalse La Paloma es de 276,67 l/s, esto equivale a 8.725.129 m³/año, lo cual es factible en términos de capacidad del embalse, ya que este puede almacenar 750 millones de m³.

Recapitulando, a continuación se resumen los resultados de los cálculos de demanda para cada embalse.

Para el embalse Valle Hermoso y la comuna de Combarbalá:

- Se utiliza una dotación de agua de 170 l/hab/día.
- Se realiza una proyección de demanda a 20 años con una tasa de crecimiento anual de 4 %.
- La proyección fue aplicada para 18 APRs con un total de 3.252 arranques actuales (2021) que resultan en 8.015 arranques al año 2044.
- El caudal de diseño corresponde al caudal máximo horario.
- La demanda que requieren los APR de la comuna de Combarbalá de parte del embalse Valle Hermoso es de un caudal total de 141,94 l/s, lo que se traduce en 4.476.119 m^3 /año.

Para el embalse La Paloma y la comuna de Monte Patria:

- Se utiliza una dotación de agua de 170 l/hab/día.
- Se realiza una proyección de demanda a 20 años con una tasa de crecimiento anual de 4 %.
- La proyección fue aplicada para 26 APRs con un total de 6.339 arranques actuales (2021) que resultan en 15.624 arranques al año 2044.
- El caudal de diseño corresponde al caudal máximo horario.
- La demanda que requieren los APR de la comuna de Monte Patria de parte del embalse La Paloma es de un caudal total de 276,67 l/s, lo que se traduce en 8.725.1299 m^3 /año.

Capítulo 6

Diseño conceptual de los sistemas colectivos de agua potable

En este capítulo se presenta el diseño, a nivel conceptual, de los sistemas colectivos de agua potable para los embalses Valle Hermoso y La Paloma. Además, se estiman los costos de construcciones de las soluciones definidas.

6.1. Sistemas colectivos de agua potable desde embalses hasta APRs

Esta solución conlleva el desarrollo a nivel de ingeniería conceptual, de las obras asociadas a un sistema colectivo tipo, tales como la obra de toma de agua desde los embalses, el diseño de la matriz que transporta el agua, los estanques de acumulación que almacenarán el agua para luego distribuirla hacia las redes³¹, y las plantas elevadoras de agua potable (PEAP) según corresponda.

El principal fin del diseño es verificar la factibilidad técnica de estos sistemas colectivos que buscan apoyar a los sistemas APR en la zona de estudio, vale decir, en las comunas de Combarbalá y Monte Patria.

6.1.1. Toma de agua

También llamada captación, esta obra corresponde a la que se encarga de captar o extraer el agua del embalse para luego conducirla hacia los APR. Puede por ejemplo ser una torre de toma como la vista en el embalse Peñuelas (ver Figura 3.3).

³¹ Solo se dimensionan los estanques, el sistema de distribución desde estos a las redes no forma parte de este estudio.

En el caso de los embalses Valle Hermoso y La Paloma, se tiene que para el primero no se ha construido la obra de toma que genere un canal o una tubería a través de la cual se inyecte agua a los APR desde el embalse³², mientras que el segundo si bien cuenta con una torre de toma y un túnel que se podría utilizar a la vez para conectar la toma con la matriz que lleva el agua hasta los APR, se desconoce la ubicación exacta de estas obras. Es por estas razones que para ambos embalses se ha preferido utilizar una planta elevadora de agua potable capaz de elevar el agua desde algún punto sin importar el nivel de agua del embalse, es decir, que se pueda captar el agua aunque el nivel de agua del embalse eventualmente esté bajo. Dado que no se tiene mayor información de terreno sobre en que punto ubicar la captación ni la altura necesaria a elevar, el diseño a realizar consistirá en definir un equipo de bombeo capaz de elevar el caudal determinado anteriormente para cada embalse, y la altura máxima de elevación se definirá como la altura del muro más las pérdidas de carga que serán bajas debido que la longitud de la tubería considerada será solo un poco mayor a la altura del muro. Entonces, la altura geométrica será la diferencia entre la cota de coronamiento³³ y la cota dada por la diferencia entre la cota de coronamiento y la altura del muro en cada embalse, lo que corresponde al caso más desfavorable, donde los embalses presenten un nivel de agua bajo. Se realiza de esta manera dado que a este nivel de ingeniería conceptual, no se cuenta con información precisa de terreno.

En el caso de Valle Hermoso, el caudal que debe salir desde el embalse es 141,94 l/s (511 m³/h) y debe ser elevado a una altura manométrica de 117,40 m considerando pérdidas de carga. Por otro lado para La Paloma, el caudal que sale desde el embalse es 276,67 l/s (996 m³/h) y debe ser elevado a una altura manométrica de 82,20 m. Estos cálculos se detallan en la Tabla D.1 de la sección de anexos.

Para ambos escenarios se seleccionan bombas en balsa Vogt de eje vertical serie VCB (ver Figura 6.1), con campos de trabajo de hasta 1.400 m³/h de caudal y 170 metros columna de agua (m.c.a) de altura. Dentro de sus aplicaciones se encuentran bombeo de agua dulce y captación de aguas desde ríos, lagunas, embalses, etc. En particular, para el embalse Valle Hermoso se utiliza el modelo 668DV 2P y para el embalse La Paloma el modelo 847 4P, el catálogo se encuentra en la Figura C.3 del anexo. En la Figura 6.1 se muestra información base de las bombas de balsa y un ejemplo en la Figura 6.2.

³² Esto se menciona en el capítulo 4 de este informe, fue dicho por el SEREMI de Coquimbo el 2019.

³³ Para el embalse La Paloma se utiliza la cota de coronamiento que se obtiene de Google Earth (400 m.s.n.m.) para el embalse Valle Hermoso se usa la mencionada en el capítulo 4 dado que el embalse no aparece en Google Earth.



Descripción:

Bomba Vertical Cantiléver en Balsa Modelo patentado de bomba centrífuga unicelular de eje vertical, diseño cantiléver VS5, con carcasa tipo voluta simple o doble. La aspiración es de tipo axial y la impulsión es radial. El montaje de la bomba es sobre una balsa HDPE tipo octogonal, monolítica o Bi-partida, patín y pontones (docks).

Diseño de eje totalmente en voladizo sin ningún tipo de buje de apoyo, posee una gran robustez, gracias a un eje y rodamientos ampliamente dimensionados, que disminuyen la flexión del eje y la vibración, asegurando larga vida útil, funcionamiento libre de fallas en el bombeo de fluidos que contengan partículas sólidas y abrasivas.

La ausencia de sello mecánico en su diseño permite el funcionamiento en seco, estos equipos se caracterizan por ser bombas desmontables, su nivel de succión cercano a la superficie evita la aspiración de sólidos que permanecen en zonas profundas.

Beneficios



- Diseño 100% Cantiléver.
- Tiene menos puntos de falla ya que no utiliza sello mecánico.
- Bajo nivel de mantención, hasta 18.000 horas sin servicio.
- Nula transmisión de fuerza axial al motor.
- Autocebada al flotar.
- No requiere obras civiles ni piping.
- Gran robustez y estabilidad.
- Eje macizo y robusto, evitando flexión y vibración.
- Motores estándar Normas NEMA o IEC.
- Solución del Problema de la cavitación en altura (n.p.s.h).



- Menor costo de inversión (equipo-instalación).
- La mejor opción para maximizar la recuperación de aguas en cualquier tipo de reservorio (Tranques de Relave, Embalses, Piscinas con fluidos de proceso)
- Operación comprobada por más de 10 años en diferentes procesos mineros.
- Mejor performance en la aplicación, ya que puede trabajar con piscinas de menor cota entre el fondo y la superficie libre de fluido, también conocido como espejo de agua.



Figura 6.1: Información Bombas en balsa de eje vertical serie VCB marca Vogt. Fuente: vogt.cl



Figura 6.2: Ejemplo de captación en un embalse mediante bombas en balsa de eje vertical. Fuente: vogt.cl

6.1.2. Tratamiento del agua

Sobre el tratamiento del agua, se considera que cada embalse es una fuente de agua dulce, como lo es un pozo o vertiente. Se transporta el agua cruda y esta se incorpora al tratamiento existente en cada APR. No se evalúa el diseño de una planta de tratamiento a la salida de los embalses como sucede por ejemplo en el embalse Peñuelas, dado que cada sistema APR cuenta con su propio sistema de tratamiento.

6.1.3. Trazados de tuberías desde embalses hasta APRs

Corresponde a la matriz que se encarga de conducir el agua desde los embalses hacia las distintas localidades. A continuación se detallan las condiciones de diseño de estos trazados.

6.1.3.1. Condiciones de diseño

A este nivel de análisis (ingeniería conceptual), los trazados desde los embalses hasta los sistemas APR se definen mediante el programa Google Earth. En eventuales estudios posteriores, como nivel de ingeniería básica o de detalles, se deberá realizar levantamientos topográficos con el fin de ubicar los trazados de manera de minimizar movimientos de tierras y la longitud de los mismos. Teniendo en cuenta lo anterior, es importante mencionar que los trazados definidos sirven para dimensionar las longitudes de las matrices de los sistemas colectivos, y que son referenciales, pudiendo estar sujetos a cambios en niveles de análisis más avanzados.

Los trazados se definen de tal manera que las tuberías pasen por los valles siguiendo los principales caminos y rutas existentes, con el objetivo de facilitar la posible construcción, instalación y mantenimiento de las obras.

Cabe destacar que en este estudio los trazados de tuberías van desde los embalses hasta las localidades consideradas que cuentan con APR³⁴, sin embargo, el transporte del agua hasta el estanque del APR existente no está contemplado debido a que no se tiene la ubicación exacta de estos dentro de las localidades, sino que en la solución, la matriz llega a cada localidad donde se almacena el caudal requerido en un nuevo estanque de acumulación dimensionado según la demanda de agua de cada localidad determinada en las Tablas 5.7 y 5.8.

Los sistemas de distribución desde los estanques dimensionados en cada localidad hasta el estanque existente del APR no forman parte de este estudio a nivel conceptual.

6.1.3.2. Criterios de diseño de los trazados

1. Caudal de diseño: El caudal de diseño corresponde al caudal máximo horario en l/s, calculado en base a la Norma NCh 691 y el Manual de Diseño de APR del MOP en el capítulo 5, donde se encuentran todos los detalles considerados en el cálculo.
2. Instalación de las conducciones: Dado que los trazados de ambos embalses se extienden por largas distancias se considera que es mejor que las tuberías se instalen de manera subterránea, evitando así posibles roturas. Las conducciones irán enterradas a 1,1 m de

³⁴ 18 en Combarbalá y 26 en Monte Patria.

profundidad desde la clave de la tubería (distancia entre terreno y parte superior de la tubería).

3. Material de las conducciones: Dado que las conducciones irán enterradas es preferible utilizar polietileno de alta densidad (HDPE) cuando la presión sea menor a 200 m.c.a, y acero en caso contrario. Se descarta el PVC dado que a pesar de ser más barato y ser más fácil de instalar, este tiende a romperse más fácil que el HDPE o el acero.
4. Velocidad de diseño, y selección de diámetros: En este estudio se define un rango de velocidades entre 0,6-1,5 m/s, esto con el fin de lograr transportar el caudal requerido sin dañar las tuberías y reducir las pérdidas. Pueden existir casos excepcionales donde se supere el límite superior, por ejemplo cuando hay altas presiones se puede aumentar la velocidad.

De la mano con las velocidades va la selección de diámetros para cada conducción, pues un mayor diámetro implica una menor velocidad y un menor diámetro más velocidad. Tanto para acero y HDPE existen catálogos donde se escoge un diámetro exterior y un espesor que resultarán en el diámetro interior de la tubería. Dependiendo del espesor que se escoja la tubería soportará más o menos presión de trabajo, lo cual también es un factor fundamental a considerar.

5. Presiones de diseño: Para tramos con presiones mayores a 200 m.c.a se utilizan alternativas de reducción de presión. La presión de trabajo mínima es de 20 m.c.a.
6. Pérdidas friccionales y singulares: Para el cálculo de pérdidas friccionales se opta por utilizar la ecuación de Hazen-Williams:

$$J = \left(\frac{Q}{0.28 \cdot C \cdot D^{2,63}} \right)^{1,85} \quad (6.1)$$

$$\Lambda_f = J \cdot L \quad (6.2)$$

Donde:

Q [m^3/s] = Caudal.

C [-] = Coeficiente de Hazen-Williams (depende del material de la tubería).

D [m] = Diámetro interior de la tubería.

L [m] = Longitud de la tubería.

J [m/m] = Pérdida de carga unitaria.

Λ_f [m] = Pérdida friccional.

El coeficiente de Hazen Williams considerado tanto para acero como para HDPE es de 140, valor usualmente utilizado para estos materiales.

Las pérdidas singulares se calculan como un 5 % de la pérdida friccional. Además, como otras pérdidas se considera un 0,5 % de las pérdidas friccionales.

7. Estanques de acumulación: Estos estanques se diseñan según lo expuesto en la norma NCh 691, donde se debe considerar volumen de incendio, regulación y de reserva.

El volumen mínimo de incendio para una área servida con población de hasta 6 mil habitantes corresponde a 115 metros cúbicos, que es lo que se adopta para este estudio.

El volumen mínimo de regulación se calcula como el 15 % del consumo máximo diario.

El volumen mínimo de reserva debe ser equivalente a 2 horas del caudal máximo diario previsto para localidades con hasta 200.000 habitantes abastecidos.

El volumen del estanque será el mayor valor resultante entre las relaciones siguientes:

- $V_{regulacion} + V_{incendio}$
- $V_{regulacion} + V_{reserva}$

El volumen del estanque resultante se adaptará a un tamaño comercial.

6.1.3.3. Trazado embalse Valle Hermoso

En la Figura 6.3 se observa el trazado desde el embalse Valle Hermoso hasta los 18 APRs de la comuna de Combarbalá, realizado mediante Google Earth. El largo total de este trazado es de 157,35 kilómetros de tubería.

En Google Earth las últimas imágenes de la zona donde se emplaza el embalse son del año 2016, por lo que este no aparece, sin embargo, se utilizan las coordenadas del emplazamiento del proyecto presentes en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del Embalse Valle Hermoso (2012), el cual se encuentra comprendido entre las coordenadas geográficas 31°17'01" y 31°19'26" de Latitud Sur, y 70°57'26" y 70°54'25" de Latitud Norte. Entre estas coordenadas es donde se encontraría la presa del embalse, la que se ocupa como referencia para el inicio del trazado, a una cota de 1.671 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m).

El trazado comienza desde el embalse por un camino sin nombre, al parecer de construcción, el que se extiende 15,29 km hasta juntarse con la ruta D-775. Sigue por esta ruta 9,91 km pasando por los APR de Valle Hermoso y Pama Arriba, hasta empalmar con la ruta D-705, por la cual recorre 600 m y pasa a la ruta D-71, donde continúa por 1,1 km hasta separarse en dos ramales, a una cota de 885 m.s.n.m. El primero se dirige hacia el noreste por la misma D-71, y el segundo hacia el noroeste por la ruta D-793.

El primer ramal avanza por la D-71 durante 3,85 km hasta llegar a la ciudad de Combarbalá, donde recorre 1,3 km por las calles de esta. Luego llega a la ruta D-715, por la cual sigue durante 1,75 km, pasando por el APR La Cantera, hasta empalmar con la ruta D-755, avanzando por esta por 9,43 km, hasta la cota 1206 m.s.n.m, pasando por los APR La Capilla y Ramadilla.

El segundo ramal consiste en un tramo de 5,97 km por la ruta D-793 hasta una cota de 816 m.s.n.m. Al final de este tramo, el trazado se vuelve a separar en dos ramales (ramal 3 y 4); el tercero toma la ruta D-605 hacia el este, mientras que el cuarto toma la misma ruta hacia el oeste.

El ramal 3 avanza por la D-605 por 3,49 km, hasta empalmar con la ruta D-55, siguiendo hacia el norte durante 15,31 km llegando a una cota de 712 m.s.n.m al final del tramo, pasando por el APR La Colorada. Aquí el trazado se divide en dos ramales nuevamente (ramales 5 y 6). El ramal 5 va hacia el sureste 11 km por la ruta D-697 pasando por los APR la Ligua de Cogotí y La Isla, luego continúa por la ruta D-699 2 km, para seguir por la ruta D-781 3,3 km, donde pasa por el APR Cogotí 18, finalmente se empalma a la ruta D-779, por la cual avanza hacia el este unos 13,9 km llegando a una cota final de 1.277 m.s.n.m, y pasando por los APR Las Barrancas-El Chineo, y El Durazno. Por otro lado, el ramal 6 continúa hacia el norte por la D-55 unos 13,3 km hasta llegar a la localidad del APR San Marcos, a una cota de 559 m.s.n.m.

El ramal 4 se extiende 4,44 km por la ruta D-605 hasta una cota de 933 m.s.n.m, donde nacen los ramales 7 y 8. El ramal 7 continúa por la D-605 hacia el norte, con una extensión de 30,2 km llegando a una cota de 647 m.s.n.m al final del tramo, y pasando por los APR Soruco, El Sauce, El Huacho, Manquehua y Media Luna. Del ramal 7 nace un ramal hacia el APR El Sauce en el km 9,35³⁵, el que tiene una longitud de 1,16 km y va por la ruta D-667 desde una cota de 821 m.s.n.m al inicio del tramo a una cota de 804 m.s.n.m al final. De la misma manera para el APR El Huacho llega un ramal desde el km 13,8 del ramal 7, de 2,1 km de longitud y que va por la ruta D-657 desde una cota inicial de 721 m.s.n.m a una final de 822 m.s.n.m.

El ramal 8 recorre la ruta D-707 durante 7,95 km hasta llegar a Quilitapia donde se encuentra el APR del mismo nombre. La cota al final del tramo es de 828 m.s.n.m.

³⁵ Del ramal 7.



Figura 6.3: Trazado embalse Valle Hermoso hasta APRs. Elaboración propia.

En la Tabla 6.1 se presenta un resumen de los kilómetros por ruta o camino del trazado del embalse Valle Hermoso, y el total de kilómetros.

Tabla 6.1: Resumen longitud trazado embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.

Ruta/camino	Longitud trazado km
Camino sin nombre desde embalse	15,29
D-775	9,91
D-705	0,60
D-71	4,95
Calles Combarbalá	1,30
D-715	1,75
D-755	9,43
D-793	5,97
D-605	38,13
D-55	28,61
D-697	11,00
D-699	2,00
D-781	3,30
D-779	13,90
D-667	1,16
D-657	2,10
D-707	7,95
Total	157,35

Dada la cota del embalse (1.671 m.s.n.m) en relación a las cotas de las localidades que son menores, en este caso el suministro es completamente gravitacional.

6.1.3.3.1. Cálculo del trazado embalse Valle Hermoso

El cálculo del trazado del embalse Valle Hermoso se realiza mediante el programa gratuito Epanet, el que permite modelar redes de agua potable, a través de nodos conectados mediante tuberías, donde los nodos pueden ser simplemente de conexión, o bien de consumo. En este caso, los nodos de consumo representan las localidades.

Los datos de entrada para las tuberías son el diámetro (mm), longitud (m), coeficiente de Hazen Williams según material de la tubería (adimensional), y coeficientes de pérdida singular (adimensional). Por otro lado, los nodos reciben como input la cota (m.s.n.m), y la demanda base (l/s). Finalmente los embalses reciben como input únicamente la cota (m.s.n.m).

Este programa permite realizar simulaciones, obteniendo la presión en los nodos y la velocidad en las tuberías, e ir modificando los valores de cotas, diámetros, longitudes, etcétera, de manera simple y rápida, hasta llegar a la solución requerida.

En la Figura 6.4 se muestra un ejemplo de una simulación, donde hay un embalse, que para efectos del ejemplo llamaremos estanque, tres nodos y tres tuberías. El estanque se encuentra a una cota de 200 m.s.n.m y los nodos 2, 3 y 4 a 150, 120 y 110 m.s.n.m respectivamente. El nodo 2 corresponde solamente a un nodo de conexión por lo que su demanda base es 0 l/s. Por otro lado, los nodos 3 y 4 representan localidades, por lo que son nodos de consumo, y presentan una demanda base de 10 y 20 l/s respectivamente. Las tres tuberías son de la misma longitud (1.000 m), y de diámetros 160 mm (T1), 110 (T2) mm y 140 mm (T3). Además, se considera un coeficiente de Hazen Williams de 140 para las pérdidas friccionales.

Con todos los datos de entrada mencionados anteriormente, se realiza una simulación, la cual arroja las velocidades en m/s en las tuberías y la presión en m.c.a en los nodos, se puede ver que son valores razonables en relación a la norma NCh 691³⁶. En el estanque y nodos se pueden ver ciertos colores asociados al cuadro de la izquierda superior de la imagen, donde el color azul representa una presión de 0 a 25 m.c.a, el celeste de 25 a 50 m.c.a, el verde de 50 a 75 m.c.a, el amarillo de 75 a 100 m.c.a, y rojo de 100 m.c.a para arriba. De la misma manera en las tuberías también se pueden ver colores asociados al cuadro de la izquierda inferior de la imagen, donde de 0 a 0,01 m/s la tubería será de color azul, de 0,01 a 0,1 m/s celeste, de 0,1 a 1 m/s verde, de 1 a 2 m/s verde oscuro, y de 2 m/s hacia arriba color rojo.

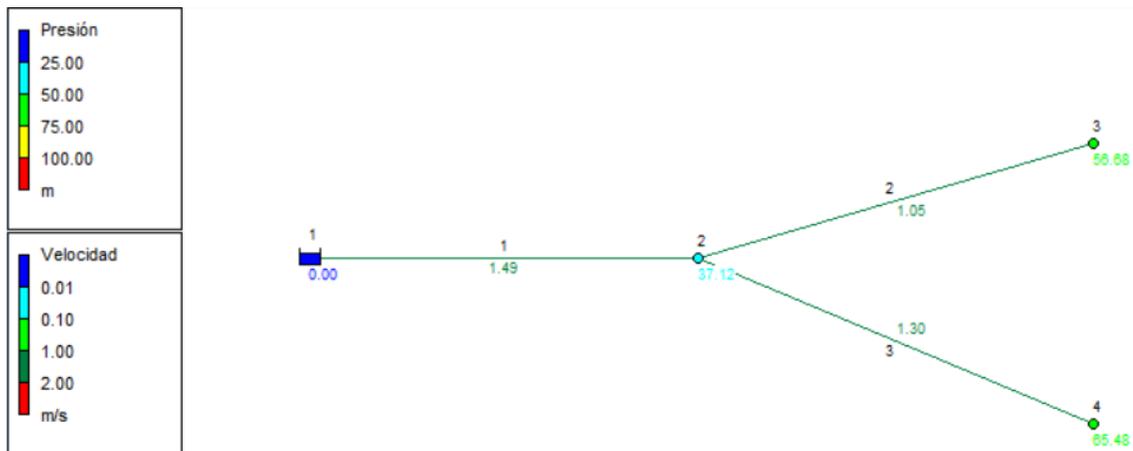


Figura 6.4: Ejemplo uso Epanet. Elaboración propia.

Tanto los colores como los intervalos y límites se pueden modificar según se requiera. Entonces, por ejemplo el nodo 2 es celeste pues ahí existe una presión de 37,12 m.c.a, es decir, está en el intervalo de 25 a 50 m.c.a. Análogamente, la tubería 1 es color verde oscuro pues marca una velocidad de 1,49 m/s, lo que corresponde al intervalo entre 1 y 2 m/s.

En este caso, los nodos están reflejando la presión en el sistema y las tuberías la velocidad, sin embargo, también es posible que muestren otros datos relevantes. El programa permite que las tuberías muestren datos de longitud de tubería, diámetro de tubería, rugosidad, caudal y velocidad. Y en los nodos se puede mostrar datos de demanda base, calidad, cota, cota piezométrica y presión.

³⁶ Para redes de agua potable velocidad máxima es de 3 m/s y las presiones deben ir entre 15 y 70 m.c.a.

Si se requiere cambiar algún parámetro de entrada, se hace click sobre el nodo, estanque o tubería, se cambia, y luego se simula nuevamente. Además, el programa permite exportar los datos según se muestra en las Tablas 6.2 y 6.3.

Tabla 6.2: Datos tuberías ejemplo Epanet. Elaboración propia.

ID Línea	Longitud	Diámetro	Caudal	Velocidad
	m	mm	LPS	m/s
Tubería 1	1000	160	30	1,49
Tubería 2	1000	110	10	1,05
Tubería 3	1000	140	20	1,30

Tabla 6.3: Datos nodos ejemplo Epanet. Elaboración propia.

ID Nudo	Cota	Demanda	Altura	Presión
	m	LPS	m	m
Nodo 2	150	0	187,12	37,12
Nodo 3	120	10	176,68	56,68
Nodo 4	110	20	175,48	65,48
Estanque 1	200	-30	200,00	0,00

El trazado del embalse Valle Hermoso presente en la Figura 6.3 modelado en Epanet se puede observar en la Figura 6.5, donde se incluyen las cotas de cada nodo (rojo) y la longitud de las tuberías (azul).

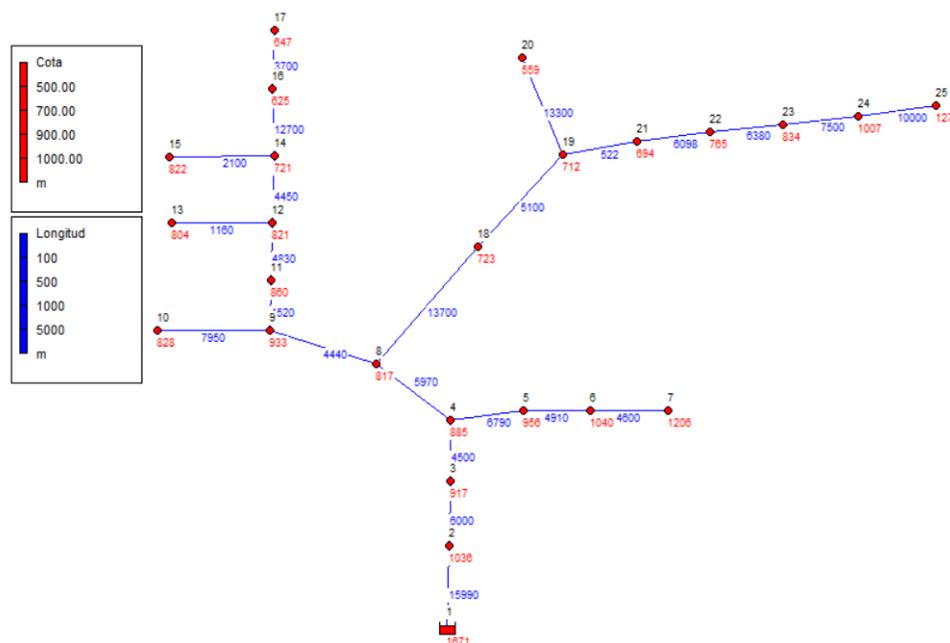


Figura 6.5: Modelo Epanet trazado embalse Valle Hermoso, con cotas de nodos y longitud de tuberías. Elaboración propia.

En la Figura 6.6 se muestran las demandas de caudal en l/s de cada nodo (rojo), correspondientes a las calculadas en la Tabla 5.7, y los caudales que circulan por las tuberías (azul).

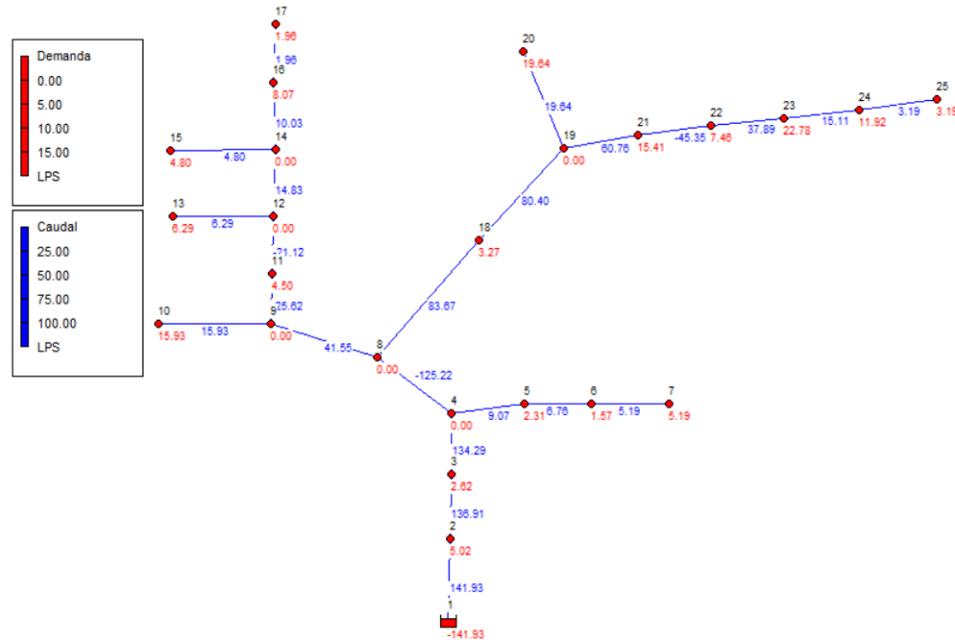


Figura 6.6: Modelo Epanet trazado embalse Valle Hermoso, con demandas de caudal de nodos y caudal circulante en tuberías. Elaboración propia.

El Embalse 1 representa al embalse Valle Hermoso, y los nodos representan nodos de conexión y APRs. El detalle se muestra en la Tabla 6.4, junto a las respectivas cotas y demandas de caudal.

Tabla 6.4: Representación nodos en Modelo Epanet, junto a sus respectivas cotas y demandas de agua. Elaboración propia.

Nodo	Representación	Cota m.s.n.m	Demanda l/s
Embalse 1	Embalse Valle Hermoso	1671	-141.93
Nodo 2	Valle Hermoso	1036	5.02
Nodo 3	Pama Arriba	917	2.62
Nodo 4	Nodo de conexión	885	0.00
Nodo 5	La Cantera	956	2.31
Nodo 6	La Capilla	1040	1.57
Nodo 7	Ramadilla	1206	5.19
Nodo 8	Nodo de conexión	817	0.00
Nodo 9	Nodo de conexión	933	0.00
Nodo 10	Quilitapia	828	15.93
Nodo 11	Soruco	860	4.50
Nodo 12	Nodo de conexión	821	0.00
Nodo 13	El Sauce	804	6.29
Nodo 14	Nodo de conexión	721	0.00
Nodo 15	El Huacho	822	4.80
Nodo 16	Manquehua	625	8.07
Nodo 17	Medialuna	647	1.96
Nodo 18	La Colorada	723	3.27
Nodo 19	Nodo de conexión	712	0.00
Nodo 20	San Marcos	559	19.64
Nodo 21	Ligua de Cogotí	694	15.41
Nodo 22	La Isla	765	7.46
Nodo 23	Cogotí 18	834	22.78
Nodo 24	Las Barrancas-El Chineo	1007	11.92
Nodo 25	El Durazno	1277	3.19

Luego se definen los diámetros de manera de ajustar las presiones y velocidades. Debido a las altas presiones que se verán en los resultados, se utilizan únicamente tuberías de acero. Cabe destacar que los diámetros se seleccionan para soportar la presión mínima y máxima, dada por los dos nodos que unen cada tubería. Estos diámetros fueron obtenidos del catálogo de la tienda Multiaceros (Figura C.1), es importante notar que el diámetro que se ingresa a Epanet es el diámetro exterior menos dos veces el espesor. El detalle se muestra en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5: Selección diámetros, longitud y caudal de los tramos del trazado embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.

Tubería	Ni	Nj	Tramo	Caudal l/s	Longitud m	Material	Diámetro ext mm	Espesor mm	Diámetro mm
1	Embalse VH	Valle Hermoso	N1-N2	141,93	15990	Acero	355,6	9,52	336,56
2	Valle Hermoso	Sueño Cumplido	N2-N3	136,91	6000	Acero	355,6	9,52	336,56
3	Sueño Cumplido	N4	N3-N4	134,29	4500	Acero	355,6	9,52	336,56
4	N4	La Cantera	N4-N5	9,07	6790	Acero	141,3	3,4	134,5
5	La Cantera	La Capilla	N5-N6	6,76	4910	Acero	114,3	3,05	108,2
6	La Capilla	Ramadilla	N6-N7	5,19	4600	Acero	88,9	3,2	82,5
7	N4	N8	N4-N8	125,22	5970	Acero	355,6	9,52	336,56
8	N8	N9	N8-N9	41,55	4440	Acero	219,1	4,78	209,54
9	N9	Quilitapia	N9-N10	15,93	7950	Acero	141,3	3,4	134,5
10	N9	Soruco	N9-N11	25,62	4520	Acero	168,3	6,35	155,6
11	Soruco	N12	N11-N12	21,12	4830	Acero	114,3	3,05	108,2
12	N12	El Sauce	N12-N13	6,29	1160	Acero	88,9	3,05	82,8
13	N12	N14	N12-N14	14,83	4450	Acero	114,3	3,05	108,2
14	N14	El Huacho	N14-N15	4,80	2100	Acero	88,9	3,05	82,8
15	N14	Manquehua	N14-N16	10,03	12700	Acero	88,9	3,05	82,8
16	Manquehua	Medialuna	N16-N17	1,96	3700	Acero	60,32	2,77	54,78
17	N8	La Colorada	N8-N18	83,67	13700	Acero	323,9	10,31	303,28
18	Derivación N23	N19	N18-N19	80,40	5100	Acero	323,9	10,31	303,28
19	N19	San Marcos	N19-N20	19,64	13300	Acero	141,3	3,4	134,5
20	N19	Ligua de Cogotí	N19-N21	60,76	522	Acero	273,1	9,27	254,56
21	Ligua de Cogotí	La Isla	N21-N22	45,35	6098	Acero	273,1	9,27	254,56
22	La Isla	Cogotí 18	N22-N23	37,89	6380	Acero	273,1	6,35	260,4
23	Cogotí 18	Las Barrancas-El Chineo	N23-N24	15,11	7500	Acero	168,3	6,35	155,6
24	Las Barrancas-El Chineo	El Durazno	N24-N25	3,19	10000	Acero	88,9	3,2	82,5

Ingresando los datos de entrada al modelo, es decir, las cotas y demandas de caudal de los nodos, y las longitudes, diámetros y coeficiente de Hazen Williams³⁷ para las tuberías, se procede a simular el modelo, con la presión en los nodos, y velocidad en las tuberías. Los resultados se muestran en la Figura 6.7 que se presenta a continuación:

³⁷ En este caso se utiliza un valor de 140 dado que se trata de tuberías de acero.

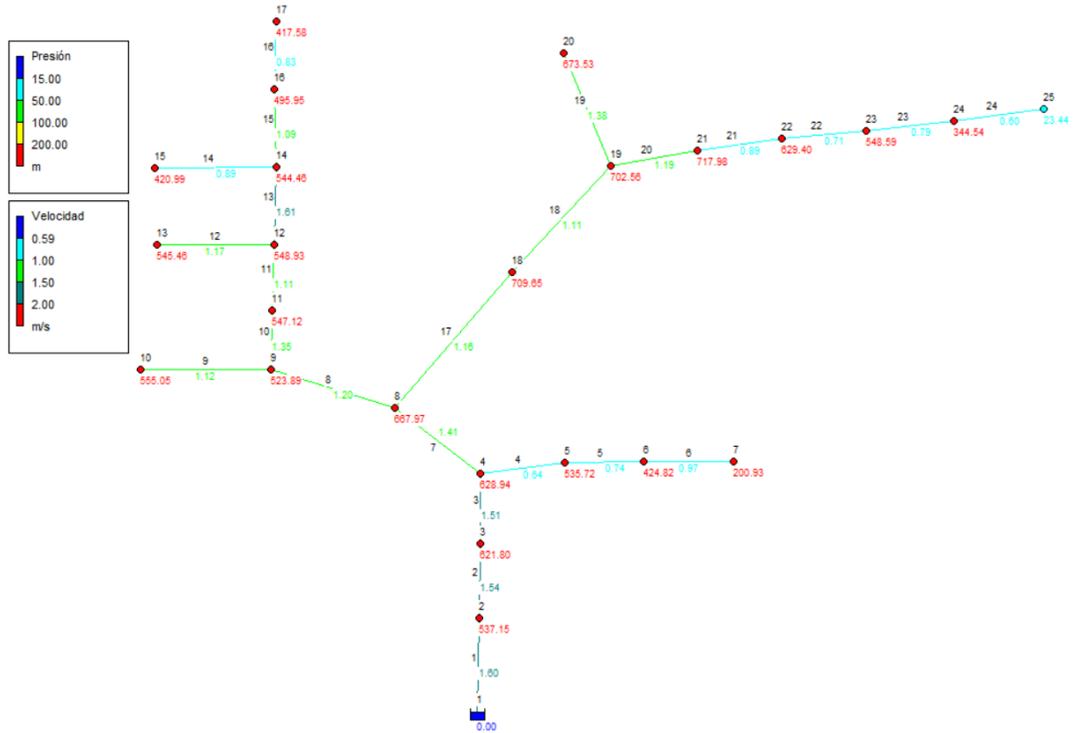


Figura 6.7: Modelo Epanet trazado embalse Valle Hermoso, simulado. Elaboración propia.

En la Tabla 6.6 se presentan los resultados de la simulación para la presión en los nodos y la velocidad en las tuberías:

Tabla 6.6: Resultados simulación Modelo Epanet embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.

Nodos	Presión m.c.a	Tuberías	Velocidad m/s
Embalse 1	0,00	Tubería 1	1,60
Nodo 2	537,15	Tubería 2	1,54
Nodo 3	621,80	Tubería 3	1,51
Nodo 4	628,94	Tubería 4	0,64
Nodo 5	535,72	Tubería 5	0,74
Nodo 6	424,82	Tubería 6	0,97
Nodo 7	200,93	Tubería 7	1,41
Nodo 8	667,97	Tubería 8	1,20
Nodo 9	523,89	Tubería 9	1,12
Nodo 10	555,05	Tubería 10	1,35
Nodo 11	547,12	Tubería 11	1,11
Nodo 12	548,93	Tubería 12	1,17
Nodo 13	545,46	Tubería 13	1,61
Nodo 14	544,46	Tubería 14	0,89
Nodo 15	420,99	Tubería 15	1,09
Nodo 16	495,95	Tubería 16	0,83
Nodo 17	417,58	Tubería 17	1,16
Nodo 18	709,65	Tubería 18	1,11
Nodo 19	702,56	Tubería 19	1,38
Nodo 20	673,53	Tubería 20	1,19
Nodo 21	717,98	Tubería 21	0,89
Nodo 22	629,40	Tubería 22	0,71
Nodo 23	548,59	Tubería 23	0,79
Nodo 24	344,54	Tubería 24	0,60
Nodo 25	23,44		

Se puede observar que en cuanto a velocidades no hay problema ya que van desde 0,6 a 1,61 m/s. Sin embargo, las presiones en los nodos color rojo están muy altas debido a la alta cota del embalse.

Estas presiones son elevadas para la entrega del agua en las localidades, por lo que se hace necesario reducirlas. Como solución a esto se tienen estanques Corta Presión, los que se construyen como cualquier estanque y son capaces de bajar la presión, mediante el corte de la línea piezométrica, reduciendo la presión con la que viene la tubería. Además, estos estanques funcionarán también para almacenar el caudal destinado a cada localidad para su posterior distribución hacia los estanques existentes de cada APR. Los estanques Corta Presión no se ubicarán en la matriz principal dado que se generarían presiones negativas en el resto de la red, sino que se añaden al modelo derivaciones de 5 metros a cada localidad con presión alta, donde se instalan estas obras. Un ejemplo de la disposición de los estanques Corta Presión en el sistema se muestra en la Figura 6.8.

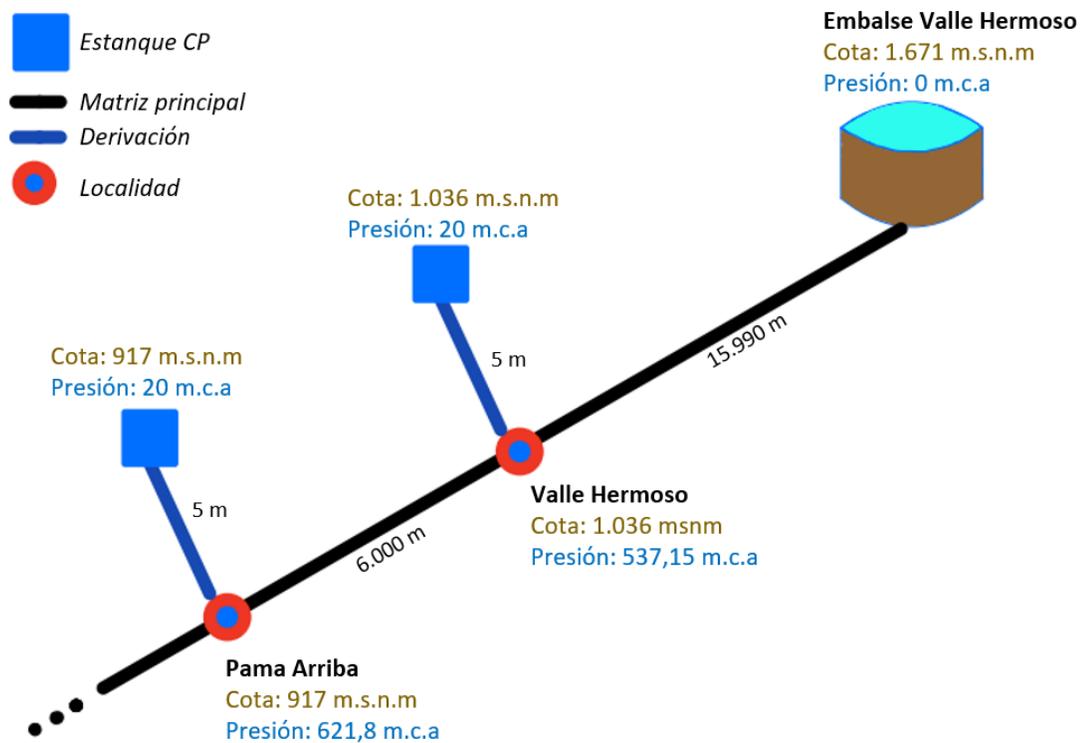


Figura 6.8: Disposición de estanques Corta Presión en derivaciones de cada localidad con presión alta. Elaboración propia.

En Epanet, no existen estos estanques como tal, por lo que se deben modelar con válvulas reductoras de presión, las cuales reciben como input el diámetro de la tubería y la consigna de la presión que se quiere obtener. En la Figura 6.9 se muestra un ejemplo de estas válvulas en Epanet.

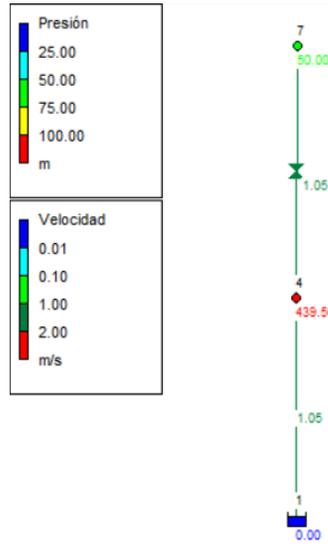


Figura 6.9: Ejemplo válvula reductora de presión en Epanet. Elaboración propia.

Aquí se tiene un estanque (cota 500 m.s.n.m) y un nodo 4 (cota 50 m.s.n.m) con alta presión de 439 m, conectados por una tubería de 1.000 m de longitud y diámetro 110 mm. Para bajar la presión se agrega una válvula reductora de diámetro 110 mm con consigna de 50 m y un nodo 7 final (cota 50 m.s.n.m) con una demanda base de 10 l/s. Al simular se tiene que la presión se reduce a 50 m después de la válvula.

Las derivaciones agregadas tienen una longitud de 5 m, y los diámetros seleccionados se muestran en la Tabla 6.7. Notar que los diámetros y espesores se escogen de tal manera de soportar la presión en el respectivo tramo.

Tabla 6.7: Selección de diámetros derivaciones para instalación de estanques Corta Presión. Elaboración propia.

Tubería	Tramo	Longitud m	Caudal l/s	Material	Diámetro ext mm	Espesor mm	Diámetro mm
25	Derivación N2	5	5,02	Acero	88,90	3,05	82,80
26	Derivación N3	5	2,62	Acero	73,02	3,05	66,92
27	Derivación N5	5	2,31	Acero	73,02	3,05	66,92
28	Derivación N6	5	1,57	Acero	60,32	2,90	54,52
29	Derivación N7	5	5,19	Acero	88,90	3,20	82,50
30	Derivación N10	5	15,93	Acero	141,30	3,40	134,50
31	Derivación N11	5	4,50	Acero	88,90	3,05	82,80
32	Derivación N13	5	6,29	Acero	88,90	3,05	82,80
33	Derivación N15	5	4,80	Acero	88,90	3,20	82,50
34	Derivación N16	5	8,07	Acero	88,90	3,05	82,80
35	Derivación N17	5	1,96	Acero	60,32	2,77	54,78
36	Derivación N18	5	3,27	Acero	88,90	5,49	77,92
37	Derivación N20	5	19,64	Acero	141,30	3,40	134,50
38	Derivación N21	5	15,41	Acero	141,30	3,40	134,50
39	Derivación N22	5	7,46	Acero	114,30	3,05	108,20
40	Derivación N23	5	22,78	Acero	219,10	6,35	206,40
41	Derivación N24	5	11,92	Acero	114,30	3,60	107,10

El modelo con esta modificación se muestra en la Figura 6.10.

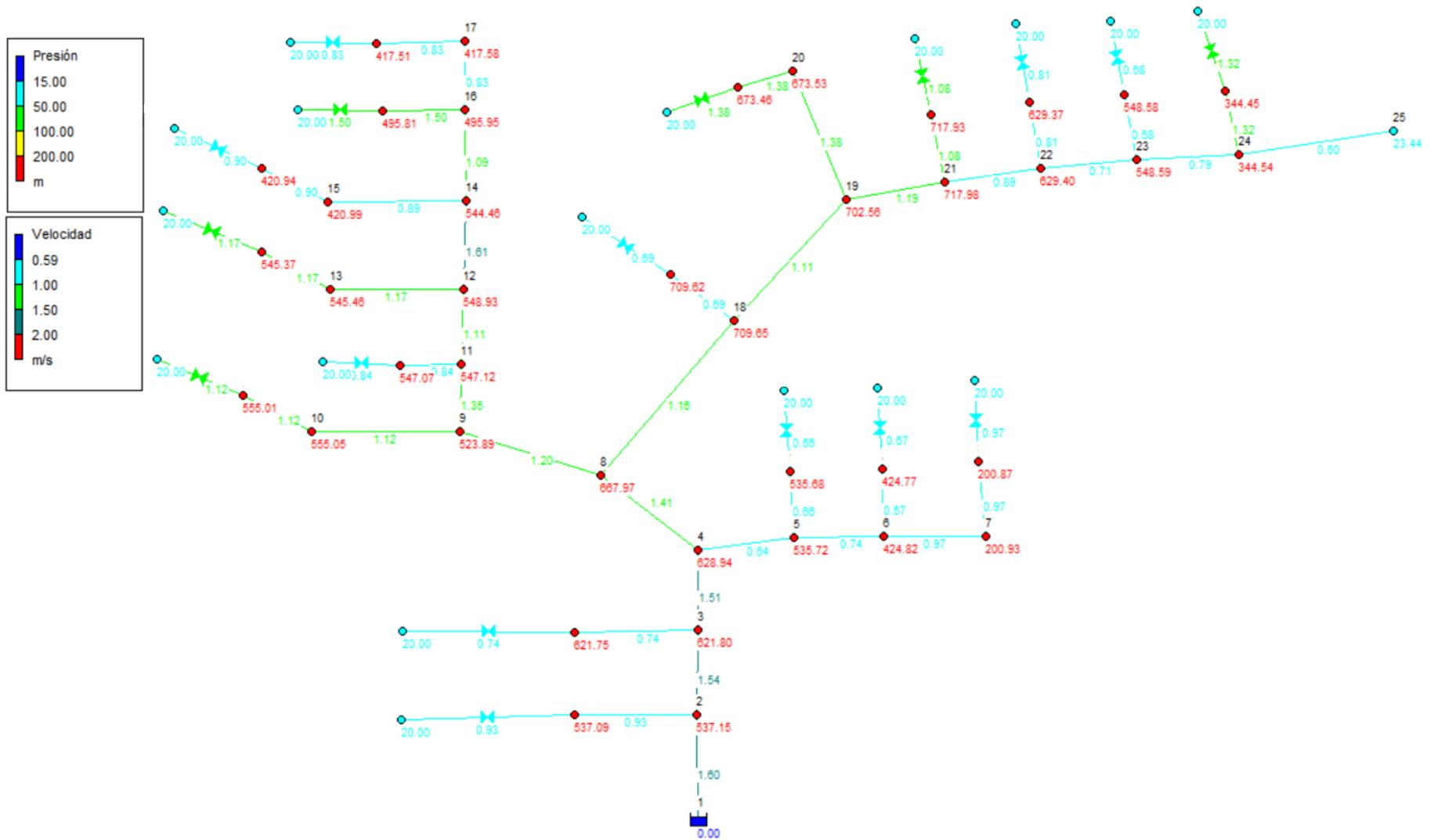


Figura 6.10: Modelo Epanet trazado embalse Valle Hermoso con reductores, simulado. Elaboración propia.

Para más claridad, en la Figura 6.11 se hace un zoom a una de estas derivaciones, específicamente a la del nodo 5.

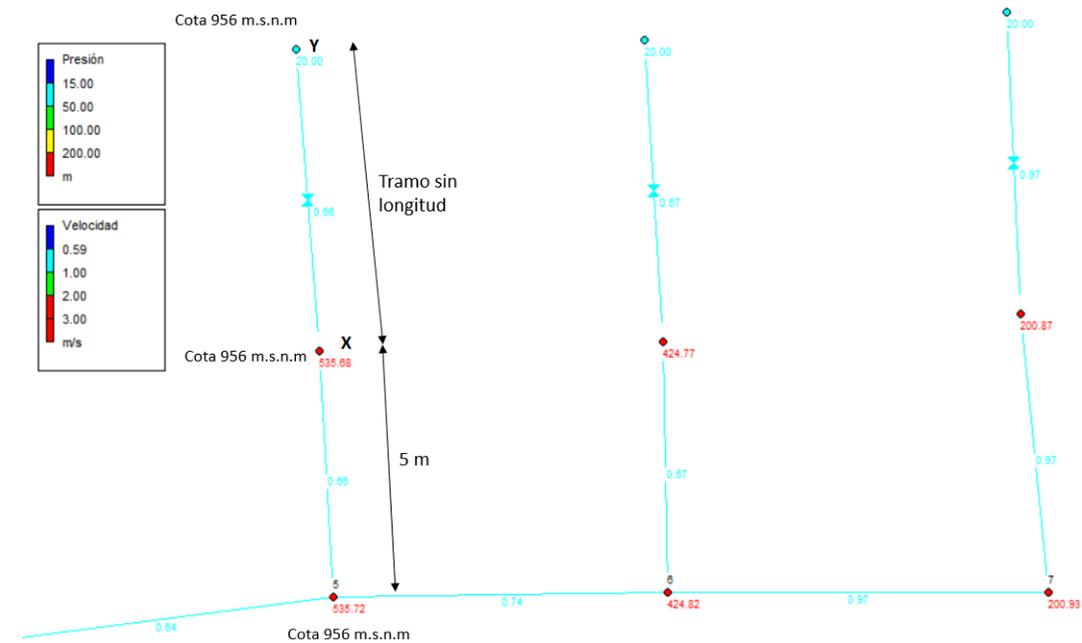


Figura 6.11: Zoom derivación N5. Elaboración propia.

Esta derivación tiene una longitud de 5 m, donde el nodo **X** es un nodo auxiliar para que se pueda distanciar a 5 m el nodo 5 del nodo final **Y** que representa al estanque Corta Presión, ya que el programa no permite asignar longitud a las tuberías que entran y salen de la válvula reductora, por eso dice “tramo sin longitud”. Entonces, en resumen, la presión entre los nodos 5 e **Y** se reduce de 535,72 a 20 m.c.a a los 5 m de distancia que hay entre ambos nodos. Además, como se puede notar, las cotas de los nodos 5, **X** e **Y** son iguales. El diámetro que la válvula pide como input corresponde al mismo de la tubería de 5 m, por eso la velocidad es igual tanto en la tubería como en la válvula. Lo anterior es análogo para todas las derivaciones.

Como se observa en la Figura 6.10, con la modificación de los estanques Corta Presión se puede reducir bastante la presión en los nodos donde esta era muy alta. Se deja en 20 m.c.a la presión en los nodos de consumo, ya que se considera una presión adecuada para que luego se pueda transportar el agua hacia los estanques existentes de los APR. Sobre las velocidades, se tiene que estas siguen en el rango entre 0,6 y 1,61 m/s.

Para el dimensionamiento de la capacidad de estos estanques se considera lo expuesto en la norma NCh 691, además, estos estanques almacenarán el agua suministrada a cada localidad. El detalle se muestra en la Tabla 6.8.

Tabla 6.8: Dimensionamiento estanques Corta Presión para sistema embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.

Nodo	APR	Qmd l/s	Qmaxd l/s	Población (20 años)	Volumen m3			Volumen estanque calculado m3	Volumen estanque m3
					Regulación	Incendio	Reserva		
2	Valle Hermoso	2,23	3,35	1134	43	115	24	158	200
3	Pama Arriba	1,16	1,75	592	23	115	13	138	200
5	La Cantera	1,03	1,54	523	20	115	11	135	200
6	La Capilla	0,70	1,05	355	14	115	8	129	200
7	Ramadilla	2,31	3,46	1173	45	115	25	160	200
10	Quilitapia	7,08	10,62	3598	138	115	76	253	300
11	Soruco	2,00	3,00	1015	39	115	22	154	200
13	El Sauce	2,79	4,19	1420	54	115	30	169	200
15	El Huacho	2,13	3,20	1084	41	115	23	156	200
16	Manquehua	3,59	5,38	1824	70	115	39	185	200
17	Medialuna	0,87	1,31	444	17	115	9	132	200
18	La Colorada	1,45	2,18	739	28	115	16	143	200
20	San Marcos	8,73	13,09	4436	170	115	94	285	300
21	Ligua de Cogotí	6,85	10,27	3480	133	115	74	248	300
22	La Isla	3,32	4,98	1686	64	115	36	179	200
23	Cogotí 18	10,13	15,19	5146	197	115	109	312	300
24	Las Barrancas-El Chineo	5,30	7,94	2691	103	115	57	218	200
25	El Durazno ^a	1,42	2,12	720	28	115	15	143	200

^a En esta localidad no se considera un estanque Corta Presión, solo de acumulación

6.1.3.4. Trazado embalse La Paloma

En la Figura 6.12 se observa el trazado desde el embalse La Paloma hasta los 26 APRs de la comuna de Monte Patria. El largo total de este trazado es de 157,7 kilómetros de tubería.

El trazado comienza desde el embalse a una cota de 400 m.s.n.m por la ruta D-55, extendiéndose hacia el este por 7,75 km hasta llegar a una rotonda a las afueras de la ciudad de Monte Patria a 411 m.s.n.m. Aquí el trazado se separa en dos ramales, el primero continúa por la D-55 hacia el sur durante 25,9 km pasando por los APR Tomé Bajo-Palos Quemados, El Tomé Alto, Huatulame y Los Tapia, hasta empalmar con la ruta D-515, por la que avanza durante 0,8 km hasta llegar un camino local de 0,3 km que conduce al APR Los Morales a una cota de 558 m.s.n.m.

El segundo ramal avanza hacia el este por la ruta D-597 durante 7,54 km hasta una cota de 505 m.s.n.m pasando por el APR Flor del Valle. El trazado se separa nuevamente en los ramales 3 y 4. El ramal 3 toma la ruta D-557 hacia el este avanzando 25,5 km y pasando por los APR Juntas-Dos Ríos, Cerrillos de Rapel, Sol de las Praderas y Los Clonquis, hasta empalmar con la ruta D-739 por la que avanza 0,8 km hasta llegar al APR Las Mollacas a una cota de 1.151 m.s.n.m.

El ramal 4 por su parte, continúa hacia el suroeste por la ruta D-597 durante 20,7 km hasta una cota de 719 m.s.n.m, tramo en el que abarca a los APR Chilecito-Mialqui, El Coipo, Bellavista de Carén y Semita. Al terminar este tramo, el trazado se separa en los ramales 5 y 6. El ramal 5 va hacia el noroeste por la ruta D-599, la que después de 5,35 km, luego de pasar por el APR Colliguay, se transforma en la ruta D-577, por la que continúa durante 19,85 km hasta el fin de esta ruta, habiendo pasado por los APR Pedregal, Maqui-Pampa Grande, y el Maitén. A partir de aquí no se distinguen caminos en Google Earth por lo que se continúa el trazado por el costado del río Mostazal durante 1,17 km hasta llegar al APR Panguecillo a una cota de 1.585 m.s.n.m.

Finalmente, el ramal 6 sigue por la ruta D-597 hacia el sur 10,2 km, pasando por los APR Carén, Chañaral de Carén y Vado Hondo, hasta empalmar con la ruta D-767 que sigue hacia el sur 4,6 km pasando por el APR Tulahuén, para luego retomar la ruta D-597 hacia el sureste 27,24 km hasta llegar al APR Las Ramadas a una cota de 1483 m.s.n.m.



Figura 6.12: Trazado embalse la Paloma hasta APRs. Elaboración propia.

En la Tabla 6.9 se presenta un resumen de los kilómetros por ruta o camino del trazado del embalse La Paloma, y el total de kilómetros.

Tabla 6.9: Resumen longitud trazado embalse La Paloma. Elaboración propia.

Ruta/camino	Longitud trazado km
D-55	33,65
D-515	0,80
Camino local Los Morales	0,30
D-597	65,68
D-557	25,50
D-739	0,80
D-599	5,35
D-577	19,85
Costado río Mostazal	1,17
D-767	4,60
Total	157,70

A diferencia de Valle Hermoso donde el suministro era gravitacional, en este caso existe la necesidad de bombear el agua desde el embalse La Paloma a las distintas localidades, ya que se encuentra a una cota baja (400 m.s.n.m) con respecto a los APR.

6.1.3.4.1. Cálculo del trazado embalse La Paloma

En este caso para el cálculo se utiliza una planilla y no el software Epanet, debido a que se complica realizar las elevaciones en el programa. De igual manera, se dibuja el trazado en Epanet para así tener una referencia visual con las cotas de los nodos (localidades), y caudal que circula por el sistema, pero sin dimensionar las tuberías ni los sistemas de elevación.

La solución consiste en instalar PEAP partiendo desde el embalse, y luego, de localidad en localidad, con su respectivo equipo de bombeo y estanque de elevación. Además, para almacenar el caudal requerido por cada APR se dimensionan estanques de acumulación en cada localidad.

Para algunos tramos se dispone de reelevaciones con el objetivo de disminuir las presiones generadas. Específicamente se ubican entre los tramos Pedregal-El Maqui (R1, R2), El Maqui-El Maitén (R3, R4), El Maitén-Panguecillo (R5 ,R6) y Tulahuén-Las Ramadas (R7, R8, R9, R10, R11).

En la Figura 6.13 se pueden observar las reelevaciones mencionadas.



Figura 6.13: Reelevaciones Pedregal-Panguecillo y Tulahuén-Las Ramadas. Elaboración propia.

El trazado dibujado en Epanet se observa en la Figura 6.14, con las cotas en m.s.n.m en rojo y el caudal en l/s que circula por cada tubería en azul (calculado en la Tabla 5.8):

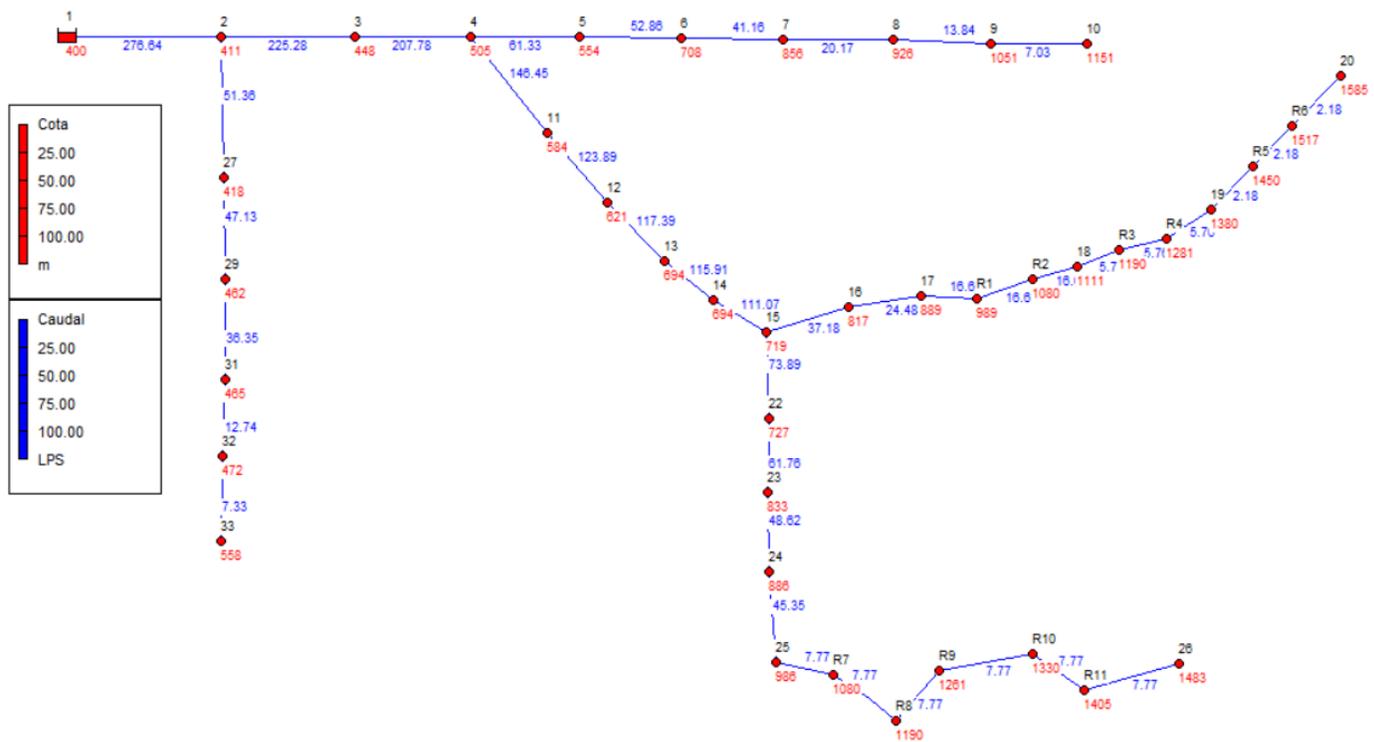


Figura 6.14: Modelo Epanet trazado embalse La Paloma. Elaboración propia.

En la Tabla 6.10 se presenta el cálculo del trazado de la solución del embalse La Paloma, donde se dimensionan las conducciones del sistema y el punto de operación de las PEAP. Además, se muestran las cotas de las distintas localidades y los largos de los tramos. Las tuberías quedan con velocidades entre 0,6 y 1,29 m/s, cumpliendo así el criterio definido anteriormente. Los diámetros y espesores se obtuvieron del catálogo de la empresa Petroflex (Figura C.2). El material corresponde a HDPE.

Tabla 6.10: Cálculo trazado embalse La Paloma y puntos de operación de PEAP. Elaboración propia.

Ramal	Nº tramo	Elevaciones		Largo Tramo (m)	Cota terr (i) (m.s.n.m)	Cota terr (f) (m.s.n.m)	H Geométrica (m)	Caudal (l/s)	Material	Dext (mm)	Espesor (mm)	Dint (mm)	Velocidad (m/s)	C (m/m)	J (m/m)	Perd Fri (m)	Perd Sing (m)	Otra Perdidas (m)	Punto operación	
		Desde	Hasta																Q (l/s)	Altura Total (m)
-	1	Emb LP	N2	7740	400	411	11	276,67	HDPE PN4	560	13,7	532,6	1,24	140	0,002	17,26	0,86	0,09	276,67	29,21
1	2	N2	Tome bajo-palos quemados N27	11900	411	418	7	51,36	HDPE PN6	280	10,7	258,6	0,98	140	0,003	39,61	1,98	0,20	51,36	48,79
	3	Tome bajo-palos quemados N27	Tome alto N29	2900	418	462	44	47,13	HDPE PN8	280	13,4	253,2	0,94	140	0,003	9,12	0,46	0,05	47,13	53,63
	4	Tome alto N29	Huatulame N31	3800	462	465	3	36,35	HDPE PN6	225	8,6	207,8	1,07	140	0,005	19,35	0,97	0,10	36,35	23,41
	5	Huatulame N31	Los tapia N32	3800	465	472	7	12,74	HDPE PN8	125	6	113	1,27	140	0,014	53,95	2,70	0,27	12,74	63,92
	6	Los tapia N32	Los morales N33	4600	472	558	86	7,33	HDPE PN12,5	125	9,2	106,6	0,82	140	0,007	31,17	1,56	0,16	7,33	118,88
	7	N2	Flor del valle N3	2870	411	448	37	225,28	HDPE PN6	560	21,4	517,2	1,07	140	0,002	5,05	0,25	0,03	225,28	42,32
2	8	Flor del valle N3	N4	4680	448	505	57	207,78	HDPE PN8	560	26,7	506,6	1,03	140	0,002	7,84	0,39	0,04	207,78	65,27
	9	N4	Junta-dos ríos N5	953	505	554	49	61,33	HDPE PN8	280	13,4	253,2	1,22	140	0,005	4,88	0,24	0,02	61,33	54,15
3	10	Junta-dos ríos N5	Cerrillos de rapel N6	6197	554	708	154	52,86	HDPE PN20	315	35,2	244,6	1,12	140	0,005	28,53	1,43	0,14	52,86	184,10
	11	Cerrillos de rapel N6	Rapel N7	5150	708	856	148	41,16	HDPE PN20	280	31,3	217,4	1,11	140	0,005	26,49	1,32	0,13	41,16	175,95
	12	Rapel N7	Sol de las praderas N8	3000	856	926	70	20,17	HDPE PN10	180	10,7	158,6	1,02	140	0,006	19,13	0,96	0,10	20,17	90,19
	13	Sol de las praderas N8	Los cloquis N9	5400	926	1051	125	13,84	HDPE PN20	160	17,9	124,2	1,14	140	0,010	56,41	2,82	0,28	13,84	184,51
	14	Los cloquis N9	Las mollacas N10	5600	1051	1151	100	7,03	HDPE PN16	125	11,4	102,2	0,86	140	0,008	43,12	2,16	0,22	7,03	145,49
	15	N4	Chilecito-mialqui N11	7610	505	584	79	146,45	HDPE PN12,5	450	29,4	391,2	1,22	140	0,003	23,49	1,17	0,12	146,45	103,78
4	16	Chilecito-mialqui N11	El coipo N12	3790	584	621	37	123,89	HDPE PN6	400	15,3	369,4	1,16	140	0,003	11,34	0,57	0,06	123,89	48,97
	17	El coipo N12	Bellaviste de caren N13	6800	621	694	73	117,39	HDPE PN12,5	400	29,4	341,2	1,28	140	0,004	27,12	1,36	0,14	117,39	101,61
	18	Bellaviste de caren N13	Semita N14	100	694	694	0	115,91	HDPE PN4	355	8,7	337,6	1,29	140	0,004	0,41	0,02	0,00	115,91	0,43
	19	Semita N14	N15	2400	694	719	25	111,07	HDPE PN5	355	10,9	333,2	1,27	140	0,004	9,70	0,48	0,05	111,07	35,23
5	20	N15	Colliguay N16	3260	719	817	98	37,18	HDPE PN16	250	22,7	204,6	1,13	140	0,006	18,67	0,93	0,09	37,18	117,69
	21	Colliguay N16	Pedregal N17	4350	817	889	72	24,48	HDPE PN12,5	200	14,7	170,6	1,07	140	0,006	27,84	1,39	0,14	24,48	101,37
	22	Pedregal N17	Reelev 1	3080	889	989	100	16,67	HDPE PN16	160	14,6	130,8	1,24	140	0,011	35,29	1,76	0,18	16,67	137,23
	23	Reelev 1	Reelev 2	1600	989	1080	91	16,67	HDPE PN12,5	160	11,8	136,4	1,14	140	0,009	14,94	0,75	0,07	16,67	106,77
	24	Reelev 2	El maqui-pampa grande N18	2400	1080	1111	31	16,67	HDPE PN6	160	6,2	147,6	0,97	140	0,006	15,26	0,76	0,08	16,67	47,10
	25	El maqui-pampa grande N18	Reelev 3	2700	1111	1190	79	5,76	HDPE PN12,5	110	8,1	93,8	0,83	140	0,008	21,83	1,09	0,11	5,76	102,03
	26	Reelev 3	Reelev 4	2200	1190	1281	91	5,76	HDPE PN12,5	110	8,1	93,8	0,83	140	0,008	17,79	0,89	0,09	5,76	109,77
	27	Reelev 4	El maitén N19	2088	1281	1380	99	5,76	HDPE PN12,5	110	8,1	93,8	0,83	140	0,008	16,88	0,84	0,08	5,76	116,81
	28	El maitén N19	Reelev 5	1232	1380	1450	70	2,18	HDPE PN10	75	4,5	66	0,64	140	0,007	9,13	0,46	0,05	2,18	79,63
	29	Reelev 5	Reelev 6	2290	1450	1517	67	2,18	HDPE PN10	75	4,5	66	0,64	140	0,007	16,97	0,85	0,08	2,18	84,90
	30	Reelev 6	Panguencillo N20	1170	1517	1585	68	2,18	HDPE PN10	75	4,5	66	0,64	140	0,007	8,67	0,43	0,04	2,18	77,15
6	31	N15	Carén N22	1030	719	727	8	73,89	HDPE PN4	315	7,7	299,6	1,05	140	0,003	3,28	0,16	0,02	73,89	11,46
	32	Carén N22	Chañaral de carén N23	4190	727	833	106	61,76	HDPE PN16	315	28,6	257,8	1,18	140	0,005	19,92	1,00	0,10	61,76	127,02
	33	Chañaral de carén N23	Vado hondo N24	3880	833	886	53	48,62	HDPE PN8	280	13,4	253,2	0,97	140	0,003	12,93	0,65	0,06	48,62	66,64
	34	Vado hondo N24	Tulahuen N25	5800	886	986	100	45,35	HDPE PN16	280	25,4	229,2	1,10	140	0,005	27,60	1,38	0,14	45,35	129,12
	35	Tulahuen N25	Reelev 7	6400	986	1080	94	7,77	HDPE PN16	140	12,7	114,6	0,75	140	0,005	33,96	1,70	0,17	7,77	129,83
	36	Reelev 7	Reelev 8	4500	1080	1190	110	7,77	HDPE PN16	140	12,7	114,6	0,75	140	0,005	23,88	1,19	0,12	7,77	135,19
	37	Reelev 8	Reelev 9	4100	1190	1261	71	7,77	HDPE PN10	140	8,3	123,4	0,65	140	0,004	15,17	0,76	0,08	7,77	87,01
	38	Reelev 9	Reelev 10	5000	1261	1330	69	7,77	HDPE PN10	140	8,3	123,4	0,65	140	0,004	18,50	0,93	0,09	7,77	88,52
	39	Reelev 10	Reelev 11	3200	1330	1405	75	7,77	HDPE PN10	140	8,3	123,4	0,65	140	0,004	11,84	0,59	0,06	7,77	87,49
	40	Reelev 11	Las ramadas N26	3800	1405	1483	78	7,77	HDPE PN10	140	8,3	123,4	0,65	140	0,004	14,06	0,70	0,07	7,77	92,84

En la Tabla 6.11 se observa el chequeo de presiones, donde la presión nominal de las tuberías seleccionadas es acorde a la presión de trabajo que se debe soportar. A cada conducción se agrega una revancha de 5 m de seguridad. Cabe destacar que no se ha hecho una optimización de las presiones en el tramo para afinar los costos de cada tramo, es decir, los diámetros y espesores de cada tramo se seleccionan para la presión máxima en el mismo.

Tabla 6.11: Chequeo presiones tuberías sistema embalse La Paloma. Elaboración propia.

Nºtramo	Revancha	Cota Piezométrica (i)	Presión (i)	Presión Nominal	Trabajo máximo presión
	(m)	(m)	(mca)	(bar)	(mca)
1	5	434,21	34,21	PN4	40
2	5	464,79	53,79	PN6	60
3	5	476,63	58,63	PN8	80
4	5	490,41	28,41	PN6	60
5	5	533,92	68,92	PN8	80
6	5	595,88	123,88	PN12,5	125
7	5	458,32	47,32	PN6	60
8	5	518,27	70,27	PN8	80
9	5	564,15	59,15	PN8	80
10	5	743,10	189,10	PN20	200
11	5	888,95	180,95	PN20	200
12	5	951,19	95,19	PN10	100
13	5	1115,51	189,51	PN20	200
14	5	1201,49	150,49	PN16	160
15	5	613,78	108,78	PN12,5	125
16	5	637,97	53,97	PN6	60
17	5	727,61	106,61	PN12,5	125
18	5	699,43	5,43	PN4	40
19	5	734,23	40,23	PN5	50
20	5	841,69	122,69	PN16	160
21	5	923,37	106,37	PN12,5	125
22	5	1031,23	142,23	PN16	160
23	5	1100,77	111,77	PN12,5	125
24	5	1132,10	52,10	PN6	60
25	5	1218,03	107,03	PN12,5	125
26	5	1304,77	114,77	PN12,5	125
27	5	1402,81	121,81	PN12,5	125
28	5	1464,63	84,63	PN10	100
29	5	1539,90	89,90	PN10	100
30	5	1599,15	82,15	PN10	100
31	5	735,46	16,46	PN4	40
32	5	859,02	132,02	PN16	160
33	5	904,64	71,64	PN8	80
34	5	1020,12	134,12	PN16	160
35	5	1120,83	134,83	PN16	160
36	5	1220,19	140,19	PN16	160
37	5	1282,01	92,01	PN10	100
38	5	1354,52	93,52	PN10	100
39	5	1422,49	92,49	PN10	100
40	5	1502,84	97,84	PN10	100

Los equipos de bombeo a utilizar para cada elevación se muestran en la Tabla 6.12. Las curvas características de las bombas seleccionadas se encuentran en los anexos de este informe.

Tabla 6.12: Equipos de bombeo para sistema embalse La Paloma. Elaboración propia.

Ramal	Nºtramo	Q l/s	Q l/min	Q m3/h	Altura Total (m)	Marca Bomba	Modelo Bomba
-	1	276,67	16600,20	996,01	29,21	Bell & Gossett	10x12x13 1/2A 11,5"
1	2	51,36	3081,60	184,90	48,79	Bell & Gossett	6x8x13 1/2A 12,5"
	3	47,13	2827,80	169,67	53,63	Bell & Gossett	5x6x13 1/2B 13,5"
	4	36,35	2181,00	130,86	23,41	Bell & Gossett	4x6x10 1/2B 9,5"
	5	12,74	764,40	45,86	63,92	Vogt	L50 2 etapas
	6	7,33	439,80	26,39	118,88	Vogt	L50 3 etapas
2	7	225,28	13516,80	811,01	42,32	Bell & Gossett	10x12x13 1/2A 12,5"
	8	207,78	12466,80	748,01	65,27	Bell & Gossett	14x16x15A 14,5"
3	9	61,33	3679,80	220,79	54,15	Bell & Gossett	10x12x13 1/2A 13,5"
	10	52,86	3171,60	190,30	184,10	Bell & Gossett	8x10x17 1/2A 17,5" ^a
	11	41,16	2469,60	148,18	175,95	Vogt	L80 3 etapas
	12	20,17	1210,20	72,61	90,19	Vogt	L40 3 etapas ^b
	13	13,84	830,40	49,82	184,51	Vogt	L50 6 etapas
	14	7,03	421,80	25,31	145,49	Vogt	L40 4 etapas
4	15	146,45	8787,00	527,22	103,78	Bell & Gossett	10x12x22A 19"
	16	123,89	7433,40	446,00	48,97	Bell & Gossett	16x18x19A 19"
	17	117,39	7043,40	422,60	101,61	Bell & Gossett	10x12x22A 19"
	18	115,91	6954,60	417,28	0,43	Bell & Gossett	6x8x10 1/2B 7,75"
	19	111,07	6664,20	399,85	35,23	Bell & Gossett	8x10x10 1/2a 10,875"
5	20	37,18	2230,80	133,85	117,69	Bell & Gossett	8x10x22A 20"
	21	24,48	1468,80	88,13	101,37	Bell & Gossett	8x10x22A 18"
	22	16,67	1000,20	60,01	137,23	Bell & Gossett	10x12x22A 21"
	23	16,67	1000,20	60,01	106,77	Bell & Gossett	4x6x17 1/2A 17,5"
	24	16,67	1000,20	60,01	47,10	Vogt	L50 2 etapas
	25	5,76	345,60	20,74	102,03	Vogt	L40 3 etapas
	26	5,76	345,60	20,74	109,77	Vogt	L40 3 etapas
	27	5,76	345,60	20,74	116,81	Vogt	L32 5 etapas
	28	2,18	130,80	7,85	79,63	Vogt	L25 4 etapas
	29	2,18	130,80	7,85	84,90	Vogt	L25 4 etapas
	30	2,18	130,80	7,85	77,15	Vogt	L25 3 etapas
6	31	73,89	4433,40	266,00	11,46	Bell & Gossett	8x10x10 1/2B 10"
	32	61,76	3705,60	222,34	127,02	Bell & Gossett	18x20x22A 20"
	33	48,62	2917,20	175,03	66,64	Bell & Gossett	4x6x17 1/2A 14,5"
	34	45,35	2721,00	163,26	129,12	Bell & Gossett	10x12x22A 21"
	35	7,77	466,20	27,97	129,83	Vogt	L32 8 etapas
	36	7,77	466,20	27,97	135,19	Vogt	L40 4 etapas
	37	7,77	466,20	27,97	87,01	Vogt	L40 3 etapas
	38	7,77	466,20	27,97	88,52	Vogt	L40 3 etapas
	39	7,77	466,20	27,97	87,49	Vogt	L40 3 etapas
	40	7,77	466,20	27,97	92,84	Vogt	L40 3 etapas

^a Se requieren 2 de estas bombas instaladas en serie para llegar a los 184,1 m de altura.

^b Se requieren 2 de estas bombas instaladas en paralelo para elevar el caudal de 72,61 m3/h.

Los estanques de elevación se dimensionan para el caudal a elevar en cada caso, con media hora de vaciado. En la Tabla 6.13 se encuentra la capacidad de estos estanques:

Tabla 6.13: Dimensionamiento estanques de elevación sistema embalse La Paloma. Elaboración propia.

Punto de elevación	Q a elevar l/s	Q m ³ /h	Metros cúbicos en 30 minutos	Capacidad estanque m ³
N2 estanque 1	225,28	811,01	406	400
N2 estanque 2	51,36	184,90	92	100
Tomé Bajo-Palos Quemados	47,13	169,67	85	100
El Tomé Alto	36,35	130,86	65	100
Huatulame	12,74	45,86	23	50
Los Tapia	7,33	26,39	13	50
Flor del Valle	207,78	748,01	374	400
N4 estanque 1	146,45	527,22	264	300
N4 estanque 2	61,33	220,79	110	100
Juntas-Dos Ríos	52,86	190,30	95	100
Cerrillos de Rapel	41,16	148,18	74	100
Rapel	20,17	72,61	36	50
Sol de las pradesras	13,84	49,82	25	50
Los clonquis	7,03	25,31	13	50
Chilecito-mialqui	123,89	446,00	223	300
El Coipo	117,39	422,60	211	200
Bellavista de Carén	115,91	417,28	209	200
Semita	111,07	399,85	200	200
N15 estanque 1	73,89	266,00	133	200
N15 estanque 2	37,18	133,85	67	100
Colliguay	24,48	88,13	44	50
Pedregal	16,67	60,01	30	50
Reelev 1	16,67	60,01	30	50
Reelev 2	16,67	60,01	30	50
El Maqui-Pampa grande	5,76	20,74	10	50
Reelev 3	5,76	20,74	10	50
Reelev 4	5,76	20,74	10	50
El Maitén	2,18	7,85	4	50
Reelev 5	2,18	7,85	4	50
Reelev 6	2,18	7,85	4	50
Carén	61,76	222,34	111	100
Chañaral de carén	48,62	175,03	88	100
Vado Hondo	45,35	163,26	82	100
Tulahuén	7,77	27,97	14	50
Reelev 7	7,77	27,97	14	50
Reelev 8	7,77	27,97	14	50
Reelev 9	7,77	27,97	14	50
Reelev 10	7,77	27,97	14	50
Reelev 11	7,77	27,97	13,986	50

Finalmente, los estanques de acumulación se diseñan en base a lo expuesto en la norma NCh 691. El dimensionamiento se muestra en la Tabla 6.14.

Tabla 6.14: Dimensionamiento estanques de acumulación sistema embalse La Paloma. Elaboración propia.

Nodo	APR	Qmd l/s	Qmaxd l/s	Población (20 años)	Volumen m3			Volumen estanque calculado m3	Volumen estanque m3
					Regulación	Incendio	Reserva		
3	Flor del Valle	7,78	11,67	3953	151	115	84	266	300
5	Juntas-Dos Ríos	3,76	5,64	1913	73	115	41	188	200
6	Cerrillos de Rapel	5,20	7,80	2642	101	115	56	216	200
7	Rapel	9,33	14,00	4742	181	115	101	296	300
8	Sol de las Praderas	2,81	4,22	1430	55	115	30	170	200
9	Los Clonquis	3,03	4,54	1538	59	115	33	174	200
10	Las Mollacas	3,12	4,68	1587	61	115	34	176	200
11	Chilecito-Mialqui	10,03	15,04	5097	195	115	108	310	300
12	El Coipo	2,89	4,34	1469	56	115	31	171	200
13	Bellavista de Carén	0,66	0,99	335	13	115	7	128	100
14	Semita	2,15	3,23	1094	42	115	23	157	200
16	Colliguay	5,64	8,47	2869	110	115	61	225	200
17	Pedregal	3,47	5,21	1765	68	115	38	183	200
18	El Maqui-Pampa Grande	4,85	7,27	2465	94	115	52	209	200
19	El Maitén	1,59	2,39	808	31	115	17	146	200
20	Panguecillo	0,97	1,45	493	19	115	10	134	100
22	Carén	5,39	8,09	2741	105	115	58	220	200
23	Chañaral de Carén	5,84	8,76	2968	114	115	63	229	200
24	Vado Hondo	1,45	2,18	739	28	115	16	143	200
25	Tulahuén	16,70	25,05	8488	325	115	180	505	500
26	Las Ramadas	3,45	5,18	1755	67	115	37	182	200
27	Tomé Bajo-Palos Quemados	1,88	2,82	956	37	115	20	152	200
29	El Tomé Alto	4,79	7,19	2435	93	115	52	208	200
31	Huatulame	10,49	15,74	5334	204	115	113	319	300
32	Los Tapia	2,41	3,61	1222	47	115	26	162	200
33	Los Morales	3,26	4,89	1656	63	115	35	178	200

6.1.4. Resumen sistemas colectivos

A continuación se presenta un resumen con las características de los sistemas colectivos diseñados según se indica en la Tabla 6.15.

Tabla 6.15: Resumen de las características de ambos sistemas colectivos. Elaboración propia.

Características	Sistema	
	Embalse Valle Hermoso	Embalse La Paloma
Caudal de salida del embalse (l/s)	141,94	276,67
Material tuberías	Acero	HDPE
Diámetros ^a (mm)	60,32 a 355,6	75 a 560
Velocidades (m/s)	0,60 a 1,61	0,64 a 1,29
Longitud total (km)	157,35	157,7
Cota máxima (m.s.n.m)	1671	1585
Nº Plantas elevadoras ^b	1	40
Nº bombas ^c	1	43
Nº estanques ^d	18	65
Capacidad estanques (m ³)	200 a 300	50 a 500

^a Diámetros exteriores

^b Incluyendo la captación

^c Incluyendo bombas de la captación

^d Incluye estanques Corta Presión, elevación y acumulación

6.2. Estimación de costos de construcción de las soluciones definidas

En esta sección se determinan los costos de construcción de ambos sistemas colectivos. Esto solo con el fin de tener un orden de magnitud de lo que podría costar construir estos sistemas. Recordar que a este nivel conceptual los costos pueden ser muy imprecisos.

6.2.1. Movimiento de tierras

Teniendo el largo de los tramos y los diámetros de las conducciones de ambos trazados, se procede a utilizar una planilla de cálculo para determinar los volúmenes de excavación necesarios para instalar las tuberías, los que sirven para estimar costos posteriormente. Dentro de estos ítems asociados a costos, se tiene para cada conducción: Excavación Total (m^3), Cama de Arena (m^3), Relleno Seleccionado (m^3), Relleno Común (m^3) y Retiro de Excedentes (m^3).

Debido a que no se tiene mayor información se asume para todas las conducciones que el terreno es bueno para excavar, por lo que se adopta un talud de 1:10 (H:V). La altura desde la superficie a la clave de la tubería es de 1,1 m para todas las conducciones.

Los precios de las partidas del movimiento de tierras para la estimación de costos de ambas soluciones corresponden a precios de proveedores de cañerías para análisis. Dichos precios se presentan en la Tabla 6.16 siguiente:

Tabla 6.16: Precios por metro cúbico del movimiento de tierras. Obtenido de proveedores de cañerías para análisis.

Ítem	\$/m3
Excavación total	\$ 5.072
Cama de arena	\$ 26.906
Relleno seleccionado	\$ 17.937
Relleno común	\$ 8.969
Retiro de excedentes	\$ 5.587

6.2.2. Estanques

Para la estimación de los costos de construcción de los estanques considerados en ambos sistemas, ya sea de acumulación, elevación o Corta Presión, se utiliza la información de costos que se maneja, la cual corresponde a cubicaciones de estanques semienterrados de 50, 100, 200, 300, 400 y 500 metros cúbicos de capacidad, los precios son valores históricos para análisis de proyectos de ingeniería.

Un ejemplo de la cubicación de estos estanques se muestra en la Figura 6.15, en este caso se trata del estanque de 200 m³.

CUBICACION ESTANQUE SEMIENTERRADO 200 m3

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIOS UNITARIOS	TOTAL (U.F.)
1.-	Excavaciones	m3	199,6	0,120	24,0
2.-	Rellenos	m3	137,4	0,150	20,6
3.-	Transporte de excedentes	m3	80,9	0,090	7,3
4.-	Andamios	Gl	1	32,876	32,9
5.-	Moldes de madera planos	m2	50,2	0,500	25,1
6.-	Moldes de madera cilíndricos	m2	234,0	0,840	196,6
7.-	Hormigón H-30	m3	31,5	2,260	71,2
8.-	Hormigón de 170 Kg cem/m3	m3	5,4	1,700	9,2
9.-	Acero redondo	Kg	2367,0	0,038	89,9
10.-	Estuco de mortero de 595 Kg cem/m3	m2	161,0	0,316	50,8
11.-	Estuco de mortero de 510 Kg cem/m3	m2	54,1	0,301	16,3
12.-	Cortagoterías estuco 510 Kg cem/m3	ml	26,0	0,301	7,8
13.-	Escalera	Kg	32,0	0,140	4,5
14.-	Tapa del inspección	Nº	1	11,700	11,7
15.-	Ventanilla	Gl	1	6,050	6,1
				SUBTOTAL	573,9
Obras complementarias					
Interconexiones hidráulicas y desagüe				20%	114,8
Macromedidor					117,0
Obras complementarias de habilitación estanque				12%	68,9
Urbanización del recinto				20%	114,8
Obras eléctricas				8%	45,9
TOTAL (en terreno bueno-regular)					1.035,2

Figura 6.15: Cubicación estanque 200 metros cúbicos. Valores históricos para análisis de proyectos de ingeniería.

Los costos de estos estanques se presentan en la Tabla 6.17, donde el valor de UF adoptado es de \$33.761 al 26 de agosto de 2022.

Tabla 6.17: Costos por estanque semienterrado en terreno bueno-regular. Valores históricos para análisis de proyectos de ingeniería.

Capacidad estanque m3	Costo en UF	Costo en \$
50	455,3	\$15.370.851
100	703,9	\$23.764.009
200	1035,2	\$34.950.090
300	1450,1	\$48.957.557
400	1616,7	\$54.580.400
500	1946,5	\$65.715.925

6.2.3. Plantas elevadoras de agua potable

Para estimar los costos de las plantas elevadoras de agua potable se cuenta con una planilla que permite estimar los costos de una PEAP en función de la potencia de la planta en kW³⁸, mediante una curva que relaciona potencia de las bombas y costo de proyectos anteriores de plantas elevadoras de aguas servidas (PEAS)³⁹.

Las partidas que considera esta planilla elaborada originalmente para PEAS, orientada a PEAP en este caso, son: instalación de faenas, movimiento de tierras, obras civiles, interconexiones hidráulicas, suministro e instalación de equipos, elementos metálicos, obras de organización y arquitectura, y proyecto eléctrico. A continuación, en la Figura 6.16 se muestra la curva utilizada junto a los datos de proyectos anteriores:

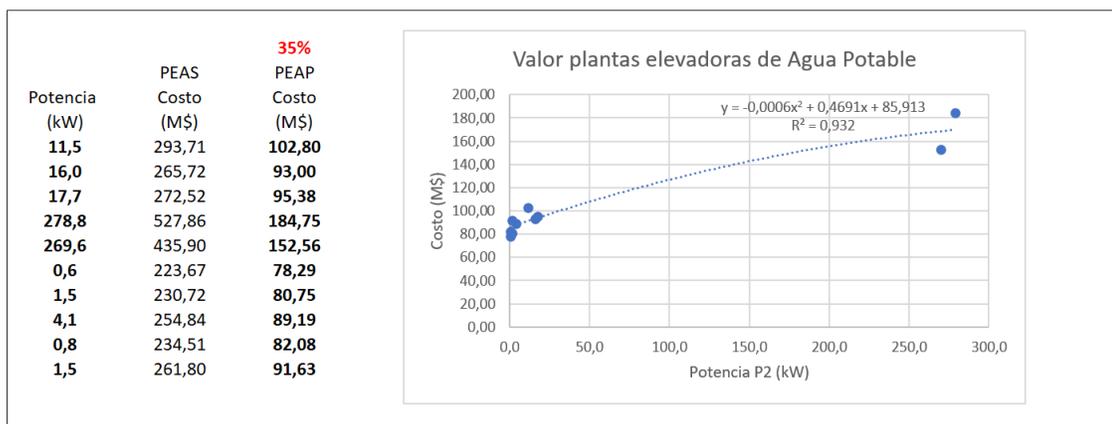


Figura 6.16: Curva costo vs potencia de PEAP. Elaborada en base a proyectos anteriores de PEAS.

La fórmula que se usa para calcular la potencia P2 de la bomba (potencia en el eje) en base al punto de operación de la PEAP es la siguiente:

$$P2 = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \frac{\eta_0}{100}} \quad (6.3)$$

Donde:

$P2$ [kW]: Potencia en el eje.

ρ [kg/dm³]: Densidad del fluido (1 kg/dm³).

g [m/s²]: Aceleración de gravedad (9,8 m/s²).

Q [l/s]: Caudal proyectado.

H [m]: Altura total.

η_0 [%]: Rendimiento bomba (60 %).

³⁸ Estimada en base al punto de operación de la planta (caudal (l/s), altura total (m)).

³⁹ Dado que una PEAS considera más obras que una PEAP, como cámara de rejillas, excavaciones para pozos, etc. El valor de la PEAP se supone como el 35% del valor de la PEAS. Esto con el fin de poder tener un valor estimado, no necesariamente exacto de la construcción de estas obras.

6.2.4. Estimación costos de construcción del sistema para el embalse Valle Hermoso

En esta subsección se presenta la estimación de costos de construcción del sistema para el embalse Valle Hermoso.

6.2.4.1. Interconexiones hidráulicas

Para las interconexiones hidráulicas de los tramos se considera el movimiento de tierras y el suministro, transporte, colocación y prueba de tuberías, y piezas especiales.

Los volúmenes de los ítems del movimiento de tierras se muestran en la Tabla 6.18.

Tabla 6.18: Movimiento de tierras solución embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.

Tubería	Nº tramo	Excavación total	Cama de arena	Relleno seleccionado	Relleno común	Retiro excedentes
		(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)
1	N1-N2	27639,0	2328,0	9431,3	14291,7	4510,7
2	N2-N3	10371,1	873,5	3539,0	5362,7	1692,6
3	N3-N4	7778,3	655,2	2654,2	4022,1	1269,4
4	N4-N5	7972,9	770,3	2336,9	4759,2	914,4
5	N5-N6	5457,7	537,1	1548,0	3322,2	601,2
6	N6-N7	4848,6	485,7	1327,1	3007,3	516,3
7	N4-N8	10319,3	869,2	3521,3	5335,9	1684,1
8	N8-N9	6055,1	555,5	1909,3	3423,0	789,7
9	N9-N10	9335,0	901,9	2736,1	5572,3	1070,6
10	N9-N11	5598,0	531,1	1688,3	3278,0	670,4
11	N11-N12	5368,8	528,4	1522,7	3268,1	591,4
12	N12-N13	1222,7	122,5	334,7	758,4	130,2
13	N12-N14	4946,4	486,8	1402,9	3011,0	544,9
14	N14-N15	2213,5	221,7	605,8	1372,9	235,7
15	N14-N16	13386,4	1340,9	3663,9	8302,8	1425,4
16	N16-N17	3666,9	374,8	957,8	2323,7	378,3
17	N8-N18	22470,2	1929,4	7557,8	11854,1	3488,7
18	N18-N19	8364,8	718,3	2813,5	4412,8	1298,7
19	N19-N20	15617,0	1508,8	4577,4	9322,2	1791,1
20	N19-N21	784,7	69,5	256,7	427,8	112,1
21	N21-N22	9166,3	812,3	2999,2	4997,6	1309,6
22	N22-N23	9590,2	849,9	3137,9	5228,7	1370,1
23	N23-N24	9288,7	881,2	2801,5	5439,2	1112,4
24	N24-N25	10540,5	1055,9	2885,0	6537,6	1122,3
25	Derivación N2	5,3	0,5	1,4	3,3	0,6
26	Derivación N3	5,1	0,5	1,4	3,2	0,5
27	Derivación N5	5,1	0,5	1,4	3,2	0,5
28	Derivación N6	5,0	0,5	1,3	3,1	0,5
29	Derivación N7	5,3	0,5	1,4	3,3	0,6
30	Derivación N10	5,6	0,5	1,6	3,4	0,6
31	Derivación N11	5,3	0,5	1,4	3,3	0,6
32	Derivación N13	5,3	0,5	1,4	3,3	0,6
33	Derivación N15	5,3	0,5	1,4	3,3	0,6
34	Derivación N16	5,3	0,5	1,4	3,3	0,6
35	Derivación N17	5,0	0,5	1,3	3,1	0,5
36	Derivación N18	5,3	0,5	1,4	3,3	0,6
37	Derivación N20	5,9	0,6	1,7	3,5	0,7
38	Derivación N21	5,9	0,6	1,7	3,5	0,7
39	Derivación N22	5,6	0,5	1,6	3,4	0,6
40	Derivación N23	6,8	0,6	2,2	3,9	0,9
41	Derivación N24	5,6	0,5	1,6	3,4	0,6

Los precios del suministro de las tuberías dependen del material y diámetro nominal, en este caso todas las tuberías son de acero pero varían los diámetros. Se utiliza la información de tuberías de acero Sch STD (Standard) de la Figura 6.17, que corresponden a precios de proveedores de cañerías para análisis. Cabe destacar que los espesores utilizados no están optimizados para disminuir costos, esto es, a un mayor espesor la tubería pesa más, lo que aumenta su precio.

TA_TU_AC_0040	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=40 mm		0,067
TA_TU_AC_0050	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=50 mm		0,542
TA_TU_AC_0065	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=65 mm		0,622
TA_TU_AC_0080	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=80 mm		0,717
TA_TU_AC_0100	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=100 mm		0,542
TA_TU_AC_0125	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=125 mm		0,803
TA_TU_AC_0150	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=150 mm		1,064
TA_TU_AC_0200	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=200 mm		1,502
TA_TU_AC_0250	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=250 mm		1,689
TA_TU_AC_0300	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=300 mm		1,877
TA_TU_AC_0350	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=350 mm		2,065
TA_TU_AC_0400	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=400 mm		2,253
TA_TU_AC_0450	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=450 mm		2,415
TA_TU_AC_0500	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=500 mm		2,576
TA_TU_AC_0550	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=550 mm		2,738
TA_TU_AC_0600	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=600 mm		2,900
TA_TU_AC_0650	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=650 mm		4,162
TA_TU_AC_0700	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=700 mm		5,207
TA_TU_AC_0750	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=750 mm		5,507
TA_TU_AC_0800	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=800 mm		6,335
TA_TU_AC_0900	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=900 mm		7,287
TA_TU_AC_1000	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=1000 mm		8,382
TA_TU_AC_1100	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=1100 mm		9,642
TA_TU_AC_1200	Tuberías de acero Sch STD unión soldada D=1200 mm		11,091

Figura 6.17: Costo en UF por metro lineal de suministro de tuberías de acero Sch STD para diámetros nominales. Obtenido de proveedores de cañerías para análisis.

El valor de UF adoptado es de \$33.761 al 26 de agosto de 2022. El precio por metro de suministro de las tuberías de acero según el diámetro nominal se presenta en la Tabla 6.19. El precio para las partidas Transporte Interno e Instalación y Prueba, se estiman como cierto porcentaje del precio de suministro, 20 % y 30 % respectivamente. El precio de la partida Piezas Especiales corresponde al 10 % del precio de Instalación y Prueba.

Tabla 6.19: Precio por metro de suministro de las tuberías de acero según el diámetro nominal. Obtenido de proveedores de cañerías para análisis.

Diámetro catálogo mm	DN mm	Valor UF	Valor \$/m
60,32	50	0,542	\$ 18.298
73,02	63	0,622	\$ 20.999
88,9	75	0,717	\$ 24.206
114,3	100	0,542	\$ 18.298
141,3	125	0,803	\$ 27.110
168,3	150	1,064	\$ 35.921
219,1	200	1,502	\$ 50.709
273,1	250	1,689	\$ 57.022
323,9	300	1,877	\$ 63.369
355,6	350	2,065	\$ 69.716

En la Figura 6.18 se observa un ejemplo de la planilla que se utiliza para calcular el costo de cada conducción, con las respectivas partidas y sus precios unitarios. En este caso se trata de la conducción N°1.

ITEM	DESIGNACION	UN	CANT	P.UNIT.	P.TOTAL
I. INTERCONEXIONES HIDRAULICAS					
1.1 Tramos					
1.1.1 Conducto N°1: N1 hasta N2					
1.1.1.1 Movimientos de Tierra					
1	Excavaciones en zanja sin agotamiento para tuberías	m3	27.639,0	\$ 5.072	\$ 140.185.008
2	Cama de Apoyo arena	m3	2.328,0	\$ 26.906	\$ 62.637.168
3	Relleno Seleccionado	m3	9.431,3	\$ 17.937	\$ 169.169.228
4	Relleno Común	m3	14.291,7	\$ 8.969	\$ 128.182.257
5	Retiro y Transporte de excedentes	m3	4.510,7	\$ 5.587	\$ 25.201.281
Subtotal 1.1.1.1 :					\$ 525.374.942
1.1.1.2 Suministro, Transporte, Colocación y Prueba de Tuberías y Piezas Especiales					
6	Suministro y transporte Tubería acero ASTM A 53Gr B Sch Std, DN350 mm	m	15.996,0	\$ 69.716	\$ 1.115.177.136
7	Transporte interno Tubería acero ASTM A 53Gr B Sch Std, DN350 mm	m	15.990,0	\$ 13.943	\$ 222.948.570
8	Instalación y prueba Tubería acero ASTM A 53Gr B Sch Std, DN350 mm	m	15.990,0	\$ 20.915	\$ 334.430.850
9	Piezas especiales con mecanismo (ventosas y válvulas)	Gl	1	\$ 2.091	\$ 2.091
Subtotal 1.1.1.2 :					\$ 1.672.558.647
Subtotal 1.1.1 :					\$ 2.197.933.589

Figura 6.18: Estimación costos de construcción del tramo N1-N2 de 15.990 m de extensión. Elaboración propia.

Los costos asociados a las interconexiones hidráulicas de las conducciones del sistema embalse Valle Hermoso se presentan en la Tabla 6.20:

Tabla 6.20: Estimación de costos de construcción de interconexiones hidráulicas para sistema embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.

Tubería	Tramo	Longitud m	Costo movimiento de tierras	Costo suministro, transporte, instalación	Costo total
1	N1-N2	15990	\$ 525.374.942	\$ 1.672.558.647	\$ 2.197.933.589
2	N2-N3	6000	\$ 197.138.266	\$ 627.446.091	\$ 824.584.357
3	N3-N4	4500	\$ 147.855.087	\$ 470.585.091	\$ 618.440.178
4	N4-N5	6790	\$ 150.875.234	\$ 276.170.383	\$ 427.045.617
5	N5-N6	4910	\$ 103.054.859	\$ 134.948.299	\$ 238.003.158
6	N6-N7	4600	\$ 91.321.578	\$ 167.215.774	\$ 258.537.352
7	N4-N8	5970	\$ 196.154.497	\$ 624.727.167	\$ 820.881.664
8	N8-N9	4440	\$ 115.017.805	\$ 337.725.681	\$ 452.743.486
9	N9-N10	7950	\$ 176.650.468	\$ 323.450.223	\$ 500.100.691
10	N9-N11	4520	\$ 106.111.777	\$ 243.686.882	\$ 349.798.659
11	N11-N12	4830	\$ 101.376.095	\$ 132.679.347	\$ 234.055.442
12	N12-N13	1160	\$ 23.030.550	\$ 42.215.990	\$ 65.246.540
13	N12-N14	4450	\$ 93.399.814	\$ 122.176.295	\$ 215.576.109
14	N14-N15	2100	\$ 41.688.563	\$ 76.249.626	\$ 117.938.189
15	N14-N16	12700	\$ 252.124.974	\$ 461.318.674	\$ 713.443.648
16	N16-N17	3700	\$ 68.817.772	\$ 101.700.833	\$ 170.518.605
17	N8-N18	13700	\$ 427.256.339	\$ 1.302.495.177	\$ 1.729.751.516
18	N18-N19	5100	\$ 159.052.835	\$ 484.777.301	\$ 643.830.136
19	N19-N20	13300	\$ 295.527.708	\$ 541.062.193	\$ 836.589.901
20	N19-N21	522	\$ 14.917.634	\$ 44.992.069	\$ 59.909.703
21	N21-N22	6098	\$ 174.284.077	\$ 522.152.165	\$ 696.436.242
22	N22-N23	6380	\$ 182.344.375	\$ 545.930.339	\$ 728.274.714
23	N23-N24	7500	\$ 176.071.523	\$ 404.108.578	\$ 580.180.101
24	N24-N25	10000	\$ 198.525.731	\$ 363.284.374	\$ 561.810.105
25	Derivación N2	5	\$ 98.396	\$ 351.713	\$ 450.109
26	Derivación N3	5	\$ 95.926	\$ 305.118	\$ 401.044
27	Derivación N5	5	\$ 95.926	\$ 305.118	\$ 401.044
28	Derivación N6	5	\$ 92.729	\$ 265.870	\$ 358.599
29	Derivación N7	5	\$ 98.396	\$ 351.713	\$ 450.109
30	Derivación N10	5	\$ 104.402	\$ 265.870	\$ 370.272
31	Derivación N11	5	\$ 98.396	\$ 351.713	\$ 450.109
32	Derivación N13	5	\$ 98.396	\$ 351.713	\$ 450.109
33	Derivación N15	5	\$ 98.396	\$ 351.713	\$ 450.109
34	Derivación N16	5	\$ 98.396	\$ 351.713	\$ 450.109
35	Derivación N17	5	\$ 94.522	\$ 305.118	\$ 399.640
36	Derivación N18	5	\$ 98.396	\$ 351.713	\$ 450.109
37	Derivación N20	5	\$ 111.864	\$ 393.908	\$ 505.772
38	Derivación N21	5	\$ 111.864	\$ 393.908	\$ 505.772
39	Derivación N22	5	\$ 104.402	\$ 265.870	\$ 370.272
40	Derivación N23	5	\$ 130.102	\$ 736.804	\$ 866.906
41	Derivación N24	5	\$ 104.402	\$ 265.870	\$ 370.272
Total			\$ 4.019.707.415	\$ 10.029.622.644	\$ 14.049.330.059

6.2.4.2. Estanques Corta Presión

Los costos de los estanques utilizados en la solución del embalse Valle Hermoso se presentan en la Tabla 6.21:

Tabla 6.21: Costo total de los estanques Corta Presión solución embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.

Capacidad m3	Costo \$/Estanque	Cantidad	Costo \$
200	\$ 34.950.090	14 ^a	\$489.301.260
300	\$ 48.957.557	4	\$195.830.228
		Total	\$685.131.488

^a Aquí esta incluido el estanque de acumulación para la localidad El Durazno.

6.2.4.3. Captación

Para el costo de construcción de la captación se consideran interconexiones hidráulicas asociadas a la tubería contemplada de 120 m⁴⁰, y PEAP (ver Tabla D.2 del anexo). En la Tabla 6.22 se muestra el detalle.

Tabla 6.22: Costo total captación embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.

Ítem	Costo \$
PEAP	\$ 169.144.248
Interconexiones hidráulicas	\$ 18.270.705
Total	\$ 187.414.953

6.2.4.4. Costo total solución embalse Valle Hermoso

En la Tabla 6.23 se presenta el resumen con el costo total de construcción de la solución del embalse Valle Hermoso.

Tabla 6.23: Costo total de construcción de la solución del embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.

Ítem	Costo \$
Interconexiones hidráulicas	\$ 14.049.330.059
Estanques Corta Presión	\$ 685.131.488
Captación	\$ 187.414.953
Total	\$ 14.921.876.500

6.2.5. Estimación costos de construcción del sistema para el embalse La Paloma

En esta subsección se presenta la estimación de costos de construcción del sistema para el embalse La Paloma.

⁴⁰ En el caso de las captaciones no se considera movimiento de tierras en las interconexiones hidráulicas pues las tuberías no van enterradas, solo el suministro, transporte, instalación, y piezas especiales.

6.2.5.1. Interconexiones hidráulicas

La estimación de costos de construcción de las interconexiones hidráulicas del sistema embalse La Paloma considera las mismas partidas que el caso de Valle Hermoso, es decir, el movimiento de tierras, el suministro, transporte e instalación de las tuberías, y piezas especiales.

Los volúmenes de los ítems del movimiento de tierras se muestran en la Tabla 6.24.

Tabla 6.24: Movimiento de tierras solución embalse La Paloma. Elaboración propia.

Nº tramo	Excavación total	Cama de arena	Relleno seleccionado	Relleno común	Retiro excedentes
	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)
1	18200	1364	6587	8342	3917
2	18105	1598	5948	9826	2617
3	4412	389	1450	2395	638
4	5239	479	1659	2950	690
5	4318	422	1241	2608	483
6	5226	511	1503	3157	585
7	6748	506	2443	3093	1452
8	11004	825	3983	5044	2368
9	1450	128	476	787	210
10	10013	864	3353	5312	1533
11	7835	691	2574	4253	1132
12	3801	358	1159	2207	464
13	6580	628	1968	3876	777
14	6363	622	1829	3843	712
15	15256	1216	5382	7448	2857
16	7034	577	2442	3539	1227
17	12621	1035	4381	6350	2202
18	173	15	59	89	28
19	4144	349	1414	2144	676
20	4703	423	1516	2604	646
21	5725	532	1777	3279	723
22	3753	358	1123	2211	443
23	1950	186	583	1148	230
24	2925	279	875	1723	346
25	2975	294	839	1816	326
26	2424	239	684	1480	265
27	2300	227	649	1405	252
28	1261	128	338	790	132
29	2343	237	628	1468	245
30	1197	121	321	750	125
31	1664	144	557	883	255
32	6770	585	2267	3592	1036
33	5903	521	1939	3204	853
34	8824	779	2899	4789	1275
35	7495	725	2194	4478	858
36	5270	510	1542	3149	603
37	4802	464	1405	2869	550
38	5856	566	1714	3499	670
39	3748	362	1097	2239	429
40	4450	430	1303	2659	509

Los costos asociados a las interconexiones hidráulicas de las conducciones del sistema embalse La Paloma se presentan en la Tabla 6.25.

Tabla 6.25: Estimación de costos de construcción de interconexiones hidráulicas de las conducciones del sistema embalse La Paloma. Elaboración propia.

Tubería	Longitud	Costo movimiento de tierras	Costo suministro, transporte, instalación	Costo total
1	7.740	\$343.868.571	\$ 1.823.188.027	\$ 2.167.056.598
2	11.900	\$344.261.668	\$ 700.772.543	\$ 1.045.034.210
3	2.900	\$83.895.700	\$ 170.777.393	\$ 254.673.093
4	3.800	\$99.530.915	\$ 89.603.617	\$ 189.134.532
5	3.800	\$81.600.798	\$ 43.795.896	\$ 125.396.693
6	4.600	\$98.779.913	\$ 53.016.036	\$ 151.795.948
7	2.870	\$127.506.822	\$ 676.042.969	\$ 803.549.791
8	4.680	\$207.920.531	\$ 1.102.394.623	\$ 1.310.315.154
9	953	\$27.569.863	\$ 56.121.775	\$ 83.691.638
10	6.197	\$190.396.011	\$ 462.348.508	\$ 652.744.519
11	5.150	\$148.987.192	\$ 303.276.180	\$ 452.263.373
12	3.000	\$72.083.401	\$ 71.961.555	\$ 144.044.956
13	5.400	\$124.672.190	\$ 102.260.854	\$ 226.933.044
14	5.600	\$120.253.807	\$ 64.541.211	\$ 184.795.018
15	7.610	\$289.388.431	\$ 1.158.473.725	\$ 1.447.862.156
16	3.790	\$133.603.462	\$ 455.173.917	\$ 588.777.378
17	6.800	\$239.710.696	\$ 816.668.972	\$ 1.056.379.668
18	100	\$3.282.458	\$ 9.490.823	\$ 12.773.280
19	2.400	\$78.778.981	\$ 227.736.098	\$ 306.515.079
20	3.260	\$89.402.347	\$ 150.023.675	\$ 239.426.022
21	4.350	\$108.669.476	\$ 128.437.059	\$ 237.106.536
22	3.080	\$71.109.323	\$ 58.326.724	\$ 129.436.047
23	1.600	\$36.939.908	\$ 30.299.779	\$ 67.239.687
24	2.400	\$55.409.862	\$ 45.449.479	\$ 100.859.341
25	2.700	\$56.146.152	\$ 24.300.788	\$ 80.446.939
26	2.200	\$45.748.716	\$ 19.800.675	\$ 65.549.391
27	2.088	\$43.419.691	\$ 18.792.650	\$ 62.212.341
28	1.232	\$23.703.243	\$ 5.167.923	\$ 28.871.166
29	2.290	\$44.058.787	\$ 9.605.890	\$ 53.664.677
30	1.170	\$22.510.385	\$ 4.907.854	\$ 27.418.238
31	1.030	\$31.645.618	\$ 84.915	\$ 31.730.532
32	4.190	\$128.733.143	\$ 312.609.850	\$ 441.342.993
33	3.880	\$112.246.661	\$ 228.487.976	\$ 340.734.637
34	5.800	\$167.791.401	\$ 341.553.608	\$ 509.345.009
35	6.400	\$141.826.661	\$ 92.527.489	\$ 234.354.150
36	4.500	\$99.721.871	\$ 65.058.477	\$ 164.780.348
37	4.100	\$90.857.705	\$ 59.275.527	\$ 150.133.232
38	5.000	\$110.802.079	\$ 72.287.164	\$ 183.089.243
39	3.200	\$70.913.331	\$ 46.263.889	\$ 117.177.220
40	3.800	\$84.209.580	\$ 54.938.314	\$ 139.147.894
Total		\$4.451.957.351	\$ 10.155.844.422	\$14.607.801.773

6.2.5.2. Estanques de acumulación y elevación

Los costos de los estanques utilizados en la solución del embalse La Paloma se presentan en las Tablas 6.26 y 6.27:

Tabla 6.26: Costo total estanques de acumulación solución embalse La Paloma. Elaboración propia.

Capacidad m3	Costo \$/estanque	Cantidad	Costo \$
100	\$ 23.764.009	2	\$ 47.528.019
200	\$ 34.950.090	19	\$ 664.051.715
300	\$ 48.957.557	4	\$ 195.830.228
500	\$ 65.715.925	1	\$ 65.715.925
		Total	\$ 973.125.886

Tabla 6.27: Costo total estanques de elevación solución embalse La Paloma. Elaboración propia.

Capacidad m3	Costo \$/estanque	Cantidad	Costo \$
50	\$ 15.370.851	21	\$322.787.875
100	\$ 23.764.009	10	\$237.640.094
200	\$ 34.950.090	4	\$139.800.361
300	\$ 48.957.557	2	\$ 97.915.114
400	\$ 54.580.400	2	\$109.160.800
		Total	\$907.304.244

El costo total para los estanques, tanto de acumulación como de elevación, considerados en la solución del embalse La Paloma es de \$1.880.430.130.

6.2.5.3. PEAP

Los costos de construcción asociados a las PEAP de las impulsiones diseñadas para el sistema embalse La Paloma se muestran en la Tabla 6.28.

Tabla 6.28: Costos de construcción de PEAP sistema embalse La Paloma.
Elaboración propia.

Ramal	N° tramo	Elevaciones		Q	Altura total	Pot P2	Costo \$
		Desde	Hasta	(l/s)	(m)	kW	
-	1	Emb LP	N2	276,67	29,21	132,01	\$ 137.383.151
1	2	N2	Tome bajo-palos quemados N27	51,36	48,79	40,93	\$ 104.107.133
	3	Tome bajo-palos quemados N27	Tome alto N29	47,13	53,63	41,28	\$ 104.255.134
	4	Tome alto N29	Huatulame N31	36,35	23,41	13,90	\$ 92.317.906
	5	Huatulame N31	Los tapia N32	12,74	63,92	13,30	\$ 92.046.388
	6	Los tapia N32	Los morales N33	7,33	118,88	14,23	\$ 92.468.213
2	7	N2	Flor del valle N3	225,28	42,32	155,74	\$ 144.416.982
	8	Flor del valle N3	N4	207,78	65,27	221,51	\$ 160.382.348
3	9	N4	Junta-dos ríos N5	61,33	54,15	54,24	\$ 109.593.752
	10	Junta-dos ríos N5	Cerrillos de rapel N6	52,86	184,10	158,95	\$ 145.317.149
	11	Cerrillos de rapel N6	Rapel N7	41,16	175,95	118,29	\$ 133.006.139
	12	Rapel N7	Sol de las praderas N8	20,17	90,19	29,71	\$ 99.320.889
	13	Sol de las praderas N8	Los clonquis N9	13,84	184,51	41,71	\$ 104.434.830
4	14	Los clonquis N9	Las mollacas N10	7,03	145,49	16,71	\$ 93.582.425
	15	N4	Chilecito-mialqui N11	146,45	103,78	248,24	\$ 165.388.051
	16	Chilecito-mialqui N11	El coipo N12	123,89	48,97	99,09	\$ 126.504.825
	17	El coipo N12	Bellaviste de caren N13	117,39	101,61	194,83	\$ 154.532.151
	18	Bellaviste de caren N13	Semita N14	115,91	0,43	0,82	\$ 86.296.957
5	19	Semita N14	N15	111,07	35,23	63,91	\$ 113.444.333
	20	N15	Colliguay N16	37,18	117,69	71,47	\$ 116.375.695
	21	Colliguay N16	Pedregal N17	24,48	101,37	40,53	\$ 103.940.724
	22	Pedregal N17	Reelev 1	16,67	137,23	37,36	\$ 102.602.646
	23	Reelev 1	Reelev 2	16,67	106,77	29,07	\$ 99.042.742
	24	Reelev 2	El maqui-pampa grande N18	16,67	47,10	12,83	\$ 91.830.526
	25	El maqui-pampa grande N18	Reelev 3	5,76	102,03	9,60	\$ 90.360.626
	26	Reelev 3	Reelev 4	5,76	109,77	10,33	\$ 90.693.297
	27	Reelev 4	El maitén N19	5,76	116,81	10,99	\$ 90.995.722
	28	El maitén N19	Reelev 5	2,18	79,63	2,84	\$ 87.238.247
6	29	Reelev 5	Reelev 6	2,18	84,90	3,02	\$ 87.325.615
	30	Reelev 6	Panguecillo N20	2,18	77,15	2,75	\$ 87.197.042
	31	N15	Carén N22	73,89	11,46	13,84	\$ 92.288.432
	32	Carén N22	Chañaral de carén N23	61,76	127,02	128,13	\$ 136.168.067
	33	Chañaral de carén N23	Vado hondo N24	48,62	66,64	52,92	\$ 109.058.413
	34	Vado hondo N24	Tulahuen N25	45,35	129,12	95,64	\$ 125.289.033
	35	Tulahuen N25	Reelev 7	7,77	129,83	16,48	\$ 93.479.180
	36	Reelev 7	Reelev 8	7,77	135,19	17,16	\$ 93.784.770
	37	Reelev 8	Reelev 9	7,77	87,01	11,04	\$ 91.019.686
	38	Reelev 9	Reelev 10	7,77	88,52	11,23	\$ 91.107.239
	39	Reelev 10	Reelev 11	7,77	87,49	11,10	\$ 91.047.813
	40	Reelev 11	Las ramadas N26	7,77	92,84	11,78	\$ 91.356.561
Total							\$ 4.321.000.832

6.2.5.4. Captación

Se realiza de manera análoga al caso de Valle Hermoso, considerando las interconexiones hidráulicas asociadas a la tubería de 85 m, y la planta elevadora (ver Tabla D.2). En la Tabla 6.29 se muestra el detalle.

Tabla 6.29: Costo total captación embalse Valle Hermoso. Elaboración propia.

Ítem	Costo \$
PEAP	\$ 177.375.301
Interconexiones hidráulicas	\$ 20.026.801
Total	\$ 197.402.103

6.2.5.5. Costo total solución embalse La Paloma

En la Tabla 6.30 se presenta el resumen con el costo total de construcción de la solución del embalse La Paloma.

Tabla 6.30: Costo total de construcción de la solución del embalse La Paloma. Elaboración propia.

Ítem	Costo \$
Interconexiones hidráulicas	\$14.607.801.773
Estanques acumulación y elevación	\$ 1.880.430.130
Plantas elevadoras	\$ 4.321.000.832
Captación	\$ 197.402.103
Total	\$21.006.634.838

6.2.6. Resumen costos de construcción de los sistemas colectivos

En la Tabla 6.31 se presenta el resumen con los costos de construcción de ambos sistemas colectivos.

Tabla 6.31: Resumen costos de construcción de ambos sistemas colectivos. Elaboración propia.

Sistema	Costo total de construcción \$
Embalse Valle Hermoso	\$ 14.921.876.500
Embalse La Paloma	\$ 21.006.634.838
Total	\$ 35.928.511.337

Capítulo 7

Conclusiones

En este capítulo se cierra el informe de trabajo de título, y se presentan los principales comentarios, reflexiones y conclusiones, que surgen una vez finalizado el desarrollo del estudio.

7.1. Logro de los objetivos

Concluido el presente estudio se tiene que se cumplen tanto el objetivo general, como los objetivos específicos. En los siguientes párrafos se detallan los logros de los objetivos.

7.1.1. Objetivo general

En relación al objetivo general, este se considera logrado pues se definieron, a nivel de ingeniería conceptual, las soluciones técnicas orientadas a ayudar a resolver el problema de abastecimiento de agua potable en comunidades rurales, y apoyar a los sistemas APR de dos comunas de la provincia de Limarí, Combarbalá y Monte Patria, con las aguas de los embalses Valle Hermoso y La Paloma. Estas soluciones consisten en sistemas colectivos desde cada embalse hasta los distintos APRs, considerando en cada caso la obra de captación, conducciones hasta las localidades de los APR, y estanques de acumulación. El tratamiento del agua no fue considerado en el diseño conceptual pues se estimó que cada APR puede tratar el agua con su respectivo sistema de tratamiento existente.

7.1.2. Objetivos específicos

En relación a los objetivos específicos, se tienen los siguientes logros:

- Sobre el objetivo específico N°1, primero se escogieron los 2 embalses de estudio y luego se cruzó la disponibilidad de agua de estos con las necesidades de los sistemas APR en las zonas de influencia de estos embalses, que corresponden a Combarbalá y Monte Patria.

La demanda determinada de los 18 APR de Combarbalá es de 141,94 l/s, lo que se traduce en 4.476.119 m^3 /año, mientras que la capacidad del embalse es de 20,3 millones de m^3 .

La demanda determinada de los 26 APR de Monte Patria es de 276,67 l/s, lo que se traduce en 8.725.129 m^3 /año, mientras que la capacidad del embalse es de 750 millones de m^3 .

- Sobre el objetivo específico N°2, se diseñaron dos sistemas colectivos, a nivel de ingeniería conceptual, uno desde el embalse Valle Hermoso hasta los APRs de Combarbalá y el otro desde el embalse La Paloma hasta los APRs de Monte Patria.

El sistema colectivo del embalse Valle Hermoso lleva un caudal de 141,94 l/s gravitacionalmente mediante una conducción de 157,35 km que pasa por los 18 APR de Combarbalá.

El sistema colectivo del embalse La Paloma lleva un caudal de 276,67 l/s que es impulsado desde el embalse hasta los 26 APR de Monte Patria mediante plantas elevadoras a través de una conducción de 157,7 km.

- Sobre el objetivo específico N°3, se estimaron los costos de construcción de las soluciones definidas. Se consideraron costos de interconexiones hidráulicas, estanques y plantas elevadoras. El costo total estimado del sistema del embalse Valle Hermoso corresponde a \$14.921.876.500. Por otro lado, el costo total estimado del sistema del embalse La Paloma es de \$21.006.634.838. El total de ambos sistemas colectivos es \$35.928.511.337.

7.2. Comentarios y reflexiones

De la investigación realizada se tiene que al año 2020, en Chile existen más de 1 millón de habitantes (1.109.811) de zonas rurales sin acceso a red pública, lo que representa un 47,2% de la población rural, es decir, casi la mitad. Esta alta cifra debe ser una motivación para sentarse a trabajar en la resolución de los problemas que implican que en esta época moderna y tecnológica exista tanta gente que no tenga asegurada una necesidad básica y cotidiana como lo es el agua. Aunque es apreciable el esfuerzo del Gobierno de Chile que con el PAPR del MOP ya ha atendido al 100% de localidades concentradas y se espere tener el 100% de localidades semiconcentradas atendidas en unos 10 a 12 años, es triste y difícil de creer que para la gente de localidades dispersas no hayan planes de inversión, cuando se debiera dar al menos cierta urgencia a este grave problema de abastecimiento.

También, con respecto al PAPR, se espera y se tiene fé que la asesoría técnica de parte de las Unidades Técnicas a los Comités APR mejore con la nueva Ley de SSR y se puedan atender de mejor forma la diversidad y cantidad de problemas que tienen los APRs, por ejemplo los detectados por los alumnos practicantes en febrero de 2022. Esto pues como ya se ha dicho en el capítulo 2, el rol de UT pasará desde las empresas concesionarias a la propia DOH, que es la misma entidad que dirige el PAPR, lo que lleva a pensar que su conocimiento del tema es profundo y harán las cosas bien.

En relación al capítulo 3 de experiencias de uso de embalses se tiene que se identifican las principales obras que se deben considerar para utilizar un embalse como fuente de agua para consumo humano, tales como la obra de toma, la planta de tratamiento y la matriz de distribución, lo que se utiliza como base para definir las soluciones técnicas propuestas. A continuación se comparten algunos comentarios sobre este capítulo.

- Según la información recabada, la obra de toma generalmente corresponde a un túnel o tubería anexada a una torre de toma, aunque para el estudio se decidió levantar estaciones de bombeo para la captación mediante bombas en balsa debido a que se estima que la construcción de una obra superficial como una torre de toma es complicado en embalses que se encuentran operando como La Paloma o en fase de llenado como Valle Hermoso. En La Paloma se sabe que hay una torre de captación que saca del embalse el agua para riego, otra alternativa sería conectar la matriz que va hasta los APR a esa obra existente, aunque se determinó no hacerlo en este estudio conceptual dado que no se conoce la ubicación de la obra.
- La planta de tratamiento en los embalses Aromos y Peñuelas se encargan de tratar el agua cruda proveniente de los tranques, para la solución se desestimó contemplar una planta de tratamiento a la salida de los embalses dado que cada APR tiene su propio sistema para tratar el agua.
- La matriz de distribución solamente se pudo encontrar para el embalse Peñuelas en una imagen de 1940 (ver Figura 3.2), donde se observa el sistema desde el embalse, pasando por una planta de filtros a una matriz de distribución que corresponde a un acueducto abierto que llega hasta un estanque llamado El Vigía. En el caso de las soluciones definidas se optó por conducciones en presión que transportan el agua hasta los distintos APRs, dejando el caudal requerido por cada localidad en estanques de acumulación.

Sobre los embalses proyectados en la zona, Murallas Viejas y La Tranca, se considera que estas obras si bien son grandes, son necesarias, pero es fundamental que los beneficios que generan sean compartidos, no sólo para los regantes y dueños de los derechos de agua, sino también para los usuarios de APRs. Además, si se tendrán minicentrales hidroeléctricas en estos dos proyectos, que ellas sean para suministro local y asegurar el abastecimiento eléctrico a la propia zona de emplazamiento o entorno al embalse. Esto último sería un cambio radical en los sistemas de operación de centrales⁴², pero contribuiría a que estos proyectos puedan realizarse, dándoles el carácter de sustentables, porque serían mejor apreciados por las comunidades, que hasta ahora se han opuesto a estos embalses y con justa razón, debido a que solo ven afectaciones para ellos y ningún beneficio.

⁴² Porque las centrales hidroeléctricas no abastecen a las zonas locales, sino que lo hacen las empresas distribuidoras.

El espíritu del trabajo al momento de diseñar los sistemas colectivos fue no dejar fuera a ningún APR de la zona de influencia de cada embalse, dado que prácticamente toda esa área sufre de falta de agua por la escasez hídrica y todas las personas merecen ser atendidas cuando se trata de un recurso tan vital. Esto, a diferencia del “Estudio de Viabilidad Sistemas APR Abastecidos por Embalses de Comuna de Combarbalá” realizado por MN Ingenieros, donde se utilizan criterios que excluyeron a localidades ubicadas a cotas altas por ejemplo, o la iniciativa “Construcción Sistema APR Colectivo APR varias localidades, Combarbalá”, donde solo se seleccionan 8 APRs más 3 localidades para apoyar con los recursos del embalse Valle Hermoso. Se entiende que estos criterios de exclusión pueden ser, entre otras causas, por temas económicos y de diseño pero aun así se considera que cuando se trata de acceso al agua se debería ser más empático y velar por cumplir esta necesidad básica. Para eso está la ingeniería, que se debe poner en práctica en beneficios de las personas.

Con los sistemas colectivos propuestos en este trabajo de título se estaría atendiendo a un total, entre las comunas de Combarbalá y Monte Patria, de 38.364 habitantes actuales al año 2021⁴³, y a 94.556 habitantes futuros al año 2044, dada la proyección hecha a 20 años⁴⁴. Se considera una buena cifra poniéndola en contraste con los 5.600 habitantes que pretende atender el Estudio de Viabilidad Sistemas APR Abastecidos por Embalses de Comuna de Combarbalá realizado por MN Ingenieros en 2011, que toma en cuenta a los tres embalses (Murallas Viejas, La Tranca y Valle Hermoso) para el apoyo a 32 localidades. Sin embargo, es necesario también comentar que quizás los sistemas definidos estén algo sobredimensionados al suponer 4 personas por arranque y realizar una proyección a 20 años con tasa de crecimiento del 4 % anual⁴⁵, lo que implica extraer un caudal elevado de cada embalse. Pero se concluye que al ser un diseño conceptual, este puede ser la base para después moldear un diseño más preciso de los sistemas, que beneficie igualmente a todas las localidades consideradas en este estudio.

Como se explicó en el capítulo 5, dados los alcances de esta memoria, solo se pudo trabajar con dos de los 4 embalses construidos en Limarí. Sería interesante, en un eventual estudio posterior, trabajar con los embalses Cogotí y Recoleta, y desarrollar a nivel conceptual, el diseño de sistemas colectivos desde estos embalses hasta APRs cercanos, pudiendo abarcar también a los sistemas de las comunas que quedaron fuera de este estudio, Ovalle, Punitaqui y Río Hurtado. Es importante no olvidar que las cinco comunas de la provincia de Limarí requieren soluciones urgentes en torno al problema de abastecimiento de agua potable, y en el presente estudio lamentablemente por tiempo solo se consideró a Combarbalá y Monte Patria.

⁴³ Estimación realizada con los arranques actuales (2021) de los 18 y 26 APR de Combarbalá y Monte Patria, y el n° de personas por arranque considerado (4). Desagregado por comuna, al año 2021 son 13.008 habitantes actuales en Combarbalá y 25.356 en Monte Patria. En total 9.591 arranques al año 2021.

⁴⁴ Desagregado por comuna, al año 2044 son 32.061 habitantes en Combarbalá y 62.495 en Monte Patria. En total 23.639 arranques al año 2044.

⁴⁵ Si bien se utilizó esta tasa de crecimiento dado que era lo indicado en el Manual de Proyectos APR del MOP 2019, se tiene consciencia de que es un valor alto, pues por ejemplo la tasa de crecimiento anual que presenta el Censo 2017 es de 1 % entre 2002 y 2017.

Sobre los costos obtenidos se nota que el sistema colectivo del embalse La Paloma es más caro, lo que claramente se debe a la necesidad técnica de impulsar el agua, a diferencia de Valle Hermoso donde el suministro es gravitacional. Esto hace sentido con el hecho de que en los estudios proyectados por parte de la DOH para apoyar a APRs con agua de los embalses, solo se ha previsto considerar embalses que se ubiquen a una cota alta (Murallas Viejas, La Tranca, Valle Hermoso), seguramente porque el suministro gravitacional es más barato y simple técnicamente. También, hay que considerar que al requerir de plantas elevadoras, se elevan los costos de operación y mantención⁴⁶ del sistema. A pesar de lo anterior, no hay que descartar las alternativas de impulsión pues se puede beneficiar a localidades ubicadas a cotas altas, y en este estudio se ha comprobado que técnicamente es posible.

Siguiendo con el tema de los costos, se estima que estos pueden disminuir si los trazados se diseñan con más precisión de terreno, reduciendo longitudes de tubería y realizando la selección de diámetros de tal manera de minimizar los costos. Se debe tener en cuenta que la estimación de costos a nivel conceptual es muy imprecisa, pero permite dimensionar las ideas y acercarse a soluciones técnicas factibles de seguir desarrollando. Obviamente al momento de evaluar un proyecto el tema económico es fundamental, pero se espera que esto deje de ser un freno tan fuerte para la inversión en proyectos que buscan beneficiar a gente que lo necesita, en este caso, personas de comunidades rurales con problemas de abastecimiento de agua potable.

Otro tópico interesante que se ha detectado en este trabajo es que se gasta mucho dinero en soluciones no definitivas como los camiones aljibes. Según la estimación realizada en el capítulo 2, entre 2014 y 2018, se gastaron más de 7 mil millones de pesos en camiones aljibes en la provincia de Limarí, que por cierto es la provincia de la Región de Coquimbo con más gasto en estos camiones en el periodo mencionado. Se considera que este gasto es muy elevado para tratarse de una solución “parche” tremendamente ineficiente, que no soluciona el problema de fondo, cuando se podría utilizar ese dinero para invertirlo en una solución que resuelva el problema de abastecimiento de agua potable en comunidades rurales de manera permanente, o al menos más permanente que la solución de los camiones, es decir, que se asegure el agua potable para estas personas.

Algo que no se puede dejar de mencionar, es la probable duda que surgirá de este trabajo, ¿qué pasa si continúa la tendencia a la baja de las precipitaciones (fluvial y nival) y no se llenan los embalses? ¿las soluciones definidas serían útiles en este caso? La respuesta es que a pesar de que los alcances de este trabajo no consideran un análisis hidrológico para analizar las precipitaciones en la zona de estudio, y realizar una proyección de lo que puede pasar en el futuro con estas, se considera que es probable que las precipitaciones sigan una tendencia a la baja, pero aún así se tiene claro que esto no es un impedimento para pensar en soluciones como las propuestas en este estudio, y por algo la DOH sigue proyectando embalses en Chile, porque estas obras pueden ser útiles tanto para riego, generación de energía y abastecimiento de agua potable. Un ejemplo de esto es el Plan Nacional de Embalses de la DOH, que proyecta la construcción de 26 embalses entre 2015 y 2025, aunque la idea de apoyar a APRs con agua de algunos de estos embalses no ha prosperado todavía, como es el caso del embalse Valle Hermoso, que ya está construido pero no así las obras para llevar agua hasta los APR, siendo que se sabe que 40 acciones están destinadas para este propósito.

⁴⁶ Estos costos no fueron estimados en el presente estudio, solo costos de construcción.

Como se acaba de mencionar, la idea de uso de embalses como fuente de bebida aún no ha dado fruto, por lo que se espera que pronto se hagan realidad las obras del embalse Valle Hermoso destinadas a apoyar a los APR, considerando que a septiembre de 2022 no se tiene información sobre este proyecto, desde la última que proporcionó el Subdirector de SSR de la Región de Coquimbo, que decía que este iba a ser presentado a revisión del MIDESOYF en agosto de 2021. También se espera que se puedan construir los embalses Murallas Viejas y La Tranca, de manera sustentable, en conformidad con las comunidades aledañas a su emplazamiento, y con fines multipropósito, vale decir, que se construyan los sistemas colectivos contemplados en el estudio de MN Ingenieros (2011) para apoyar a los APR.

Finalmente. como lo han demostrado los sistemas colectivos diseñados a nivel conceptual, se concluye que efectivamente el uso de los embalses de riego existentes para el abastecimiento de agua potable en zonas rurales de Limarí es factible técnicamente. Aunque igual se debe tener en mente que para extraer agua de los embalses Valle Hermoso y La Paloma con fines de consumo humano, se requieren derechos de agua, por lo que actualmente este tipo de soluciones dependen de la voluntad de los tenedores de estos derechos, lo que dificulta un poco más la aplicación de estos sistemas.

Bibliografía

1. Alarcón, F. (2022). Informe Final Práctica en Agua Potable Rural, Localidad de Hualtame.
2. Alfaro, L. (27 de agosto de 2021). Listado APRs de la Provincia de Limarí.
3. Aquatierra Ingenieros Ltda. (2011). Catastro e Inspección Preliminar de Embalses Ubicados en las Regiones de Valparaíso, Metropolitana, Del Maule y de la Araucanía.
4. Arellano, M. (2021). Estudio de las variables que influyen en la escasez hídrica en la zona norte de Chile y análisis crítico de los planes existentes.
5. Banco Mundial. (2020). Datos Banco Mundial: Población rural (% de la población total) - Chile. Obtenido de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.RUR.TOTL.ZS?end=2021&locations=CL&start=1960&view=chart>
6. Banco Mundial. (2020). Datos Banco Mundial: Población total - Chile. Obtenido de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL?locations=CL>
7. Berrios, S. (2008). Valparaíso Plegado: Construcción del Pliegue Asimétrico para la Visualización del Relieve Porteño.
8. Centro del Agua Para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC). (2016). Investigación de Soluciones Innovadoras Para El Abastecimiento De Agua.
9. Chacón, M. (2021). Análisis del Funcionamiento del Programa de Agua Potable Rural Ante Problemas de Abastecimiento y Ausencia de Saneamiento en la Zona Sur de Chile: Caso del APR Bahía Mansa.
10. CNN Chile. (Abril de 2020). Seremi de Salud ordenó repartir mínimo 100 litros de agua en zonas de sequía, pero se retractó porque no podía cumplirlo. Obtenido de: https://www.cnnchile.com/pais/seremi-saud-100-litros-agua-zonas-sequia_20200423/#:~:text=La%20Organizaci%C3%B3n%20Mundial%20de%20la,consumo%20como%20para%20su%20higiene.
11. Comisión Fílmica Región de Coquimbo. (2021). Embalse La Paloma. Obtenido de: <https://web.filmcommissioncoquimbo.cl/locacion/embalselapaloma/>
12. Conpax. (2019). Construcción Embalse Valle Hermoso, Combarbalá, Región de Coquimbo – CONPAX. Obtenido de: <https://www.conpax.cl/proyectos/embalse-valle-hermoso/>.

13. Consejo Políticas de Infraestructura. (Marzo de 2020). Piden acelerar proceso administrativo de Embalse de Murallas Viejas. Obtenido de: <https://www.infraestructurapublica.cl/piden-acelerar-proceso-administrativo-embalse-murallas-viejas/>
14. Del Pino, S. (2022). Producción, Operación y Servicio APR San Marcos. Sistema de Producción de Agua Potable Rural San Marcos, Combarbalá.
15. Diario Región de Coquimbo. (2007). Embalses La Tranca y Murallas Viejas, próximos proyectos para regular recursos hídricos en Combarbalá. Obtenido de: <https://www.h2onew.com/anuncio/1440>
16. Dirección General de Aguas. (Junio de 2022). Boletín Información Pluviométrica, Fluviométrica, Estado de Embalses y Aguas Subterráneas.
17. Dirección General de Aguas. (2022). Decretos Declaración Zona de Escasez Vigentes. Obtenido de Planilla Excel Decretos zonas de escasez hídrica (2008 - 2022): <https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx>
18. Edic Ingenieros Ltda. (2000). Mejoramiento Sistema de Riego Embalse Cogotí IV Región, Factibilidad y Diseño.
19. ENERNEWS/El Día. (Diciembre de 2016). Controversia genera futura construcción de embalse La Tranca en Combarbalá. Obtenido de: <https://miningpress.com/nota/304216/embalses-licitacion-2017-18-la-tranca-polemica>
20. Esva! Contigo. (30 de julio 2021). Esva! tubería reversible Aromos - Concón. [Video adjunto]. Facebook. Obtenido de: https://www.facebook.com/Esva!Contigo/videos/342224840685014/?__tn__=%2CO
21. Fundación Amulén. (2018). Pobres de Agua, Radiografía del agua rural en Chile: visualización de un problema oculto.
22. Fundación Trascender. (Diciembre de 2018). ¿Qué es Pobreza Multidimensional?. Obtenido de: <https://www.fundaciontrascender.cl/2018/12/18/que-es-pobreza-multidimensional/>
23. Gobernación Provincial de Limarí. (2019). Cuenta Pública Participativa 2019. Obtenido de: http://www.gobernacionlimari.gov.cl/cuentapublica2014_2018/
24. Gobierno Regional de Coquimbo. (Diciembre de 2019). Plan Emergencia Hídrica 2019-2021 Región de Coquimbo.
25. Instituto Nacional de Estadísticas. (Junio de 2018). Síntesis de Resultados Censo 2017. Obtenido en: <http://www.censo2017.cl/>
26. Instituto Nacional de Normalización. (2015). Nch 691: Agua Potable - Producción, conducción, almacenamiento y distribución - Requisitos de diseño.
27. Maldonado, D. (2022). Informe Sistema Agua Potable Rural de Cogotí 18.

28. Ministerio de Desarrollo Social: BIP DATA Explorador de iniciativas de inversión pública en Chile. (2022). Construcción Embalse Murallas Viejas Río Combarbalá. Obtenido de: <https://bipdata.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/profile/iniciativa/300656890>
29. Ministerio de Obras Públicas: Dirección de Obras Hidráulicas. (2015). Infraestructura Hidráulica de Agua Potable Rural (APR)
30. Ministerio de Obras Públicas: Dirección de Obras Hidráulicas. (Enero de 2017). Proyecto Embalse La Tranca, Región de Coquimbo.
31. Ministerio de Obras Públicas: Dirección de Obras Hidráulicas. (2019). Tríptico Historia APR 2019. Obtenido de: <http://doh.cl/APR/Paginas/MaterialDifusion.aspx>
32. Ministerio de Obras Públicas: Dirección de Obras Hidráulicas. (Junio de 2019). DOH: Infraestructura Hidráulica para el Desarrollo Productivo, Social y Preventivo.
33. Ministerio de Obras Públicas: Dirección de Obras Hidráulicas. (Julio de 2019). Manual de Proyectos de Agua Potable Rural, Guía para el diseño y contenido de proyectos de sistemas de agua potable rural.
34. Ministerio de Obras Públicas: Dirección General de Aguas. (2004). Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad, Cuenca del Río Limarí.
35. Ministerio de Obras Públicas: Dirección General de Aguas. (2008). Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la Cuenca del Río Limarí.
36. Ministerio de Obras Públicas: Dirección General de Aguas. (Septiembre de 2020). Diagnóstico del Estado Hidrogeológico de la Cuenca del Limarí.
37. Ministerio de Obras Públicas. [@mop_chile]. (20 de junio de 2019). Pdte. @sebastianpinera y ministro de OO.PP. @amorenoscharm inspeccionaron construcción de embalse Valle Hermoso, que dará seguridad de riesgo a 1.500 has. agrícolas y abastecimiento a 17 sistemas de agua potable rural, favoreciendo el consumo de 3 mil personas #ObrasParaChile. [Tweet]. Twitter. https://twitter.com/mop_chile/status/1141825981608550400?s=20&t=yUcuWTzzIxbLpCfyPuWJCw
38. MN Ingenieros Ltda. (2011). Estudio de Factibilidad Construcción Embalse La Tranca en río Cogotí.
39. MN Ingenieros Ltda. (2011). Estudio de Factibilidad Construcción Embalse La Tranca en Río Cogotí. Capítulo 5-Estudios de viabilidad sistemas APR abastecidos por embalses de comuna de Combarbalá
40. Morales y Rojas. (2010). Análisis del Manejo Operacional para Escenarios Críticos del Embalse La Paloma.
41. Napuri, A. (2022). APR Limarí.
42. Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales. (Enero de 2018). Triunfó la comunidad del Durazno: El embalse La Tranca No va. Obtenido de: <https://olca.cl/articulo/nota.php?id=107103>

43. Observatorio Social del Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2022). ¿Cuáles son las definiciones oficiales de pobreza y pobreza extrema por ingresos que están vigentes en Chile?. Obtenido de: <http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/preguntas-frecuentes>
44. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias: Departamento Desarrollo Rural. (2017). Ficha Regional Coquimbo.
45. Ortiz, A. (2019). Embalse Valle Hermoso, Infraestructura Vital para una Zona en Crisis. Obtenido de: <https://extension.cchc.cl/datafiles/44715-2.pdf>
46. Rosales, F. (2022). Informe Final APR Cerrillos de Tamaya.
47. Sandoval, J. (2003). El Riego en Chile. Obtenido de: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/29015>
48. Servicio de Evaluación Ambiental. (2012). Resolución de Calificación Ambiental (RCA) Embalse Valle hermoso.
49. Servicio de Evaluación Ambiental. (Octubre de 2018). Consulta de pertinencia proyecto “Restitución muro vertedero embalse recoleta”.
50. Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2010). Estudio Tarifario Lago Peñuela S.A. Informe Final.
51. Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2017). Dotaciones de agua potable empresas nacionales 2011-2017. Obtenido de: <https://datos.gob.cl/dataset/cuadro-009-dotacion-de-agua-potable>
52. Superintendencia de Servicios Sanitarios. (18 de mayo de 2020). Se inicia segunda etapa de conducción reversible Los Aromos - Concón. Obtenido de <https://www.siss.gob.cl/586/w3-article-17817.html>
53. Superintendencia de Servicios Sanitarios. (30 de julio de 2021). Ministro Moreno inspeccionó las tuberías reversibles de embalse Los Aromos que entregarán seguridad hídrica hasta el 2040 a más de 1 millón de habitantes de la región de Valparaíso. Obtenido de: <http://www.siss.gob.cl/586/w3-article-19326.html>
54. Valdivia, G. (4 de junio de 2021). Respuesta a solicitud de María José Arellano sobre proyecto Construcción Sistema Colectivo APR varias localidades, Combarbalá, vía Ley de Transparencia.
55. Valdivia, G. (29 de junio de 2021). Respuesta a solicitud de María José Arellano sobre proyecto Construcción Sistema Colectivo APR varias localidades, Combarbalá, vía Ley de Transparencia.

Anexo A

Estudio de viabilidad Sistemas APR Abastecidos por Embalses de Comuna de Combarbalá

A.1. Localidades posibles de ser abastecidas por embalses La Tranca, Murallas Viejas y Valle Hermoso, en el estudio realizado por MN Ingenieros (2011)

Valle	Localidad	N° Hombres	N° Mujeres	Total Actual	Este	Norte	Cota	Criterio de Exclusión
Cogotí	Cogotí 10	239	240	467	313,501	6,550,655	853	
	Cristo Pobre	6	6	12				No se encontró en plano
	El Chino	146	142	288	316,458	6,556,862	983	
	El Duraznito	4	1	5				No se encontró en plano
	El Durazno	168	149	317	325,434	6,555,666	1,239	Aguas Arriba Embalse La Tranca
	El Higueral	18	20	38	308,762	6,540,476	1,015	Casas aisladas
	Hacienda Cogotí	3	4	7	325,954	6,553,279	1,366	Casas aisladas y Aguas Arriba Embalse La Tranca
	La Colorada	42	50	92	304,636	6,560,232	734	
	La Cuadra	27	35	62	311,096	6,559,501	794	
	La Isla	98	119	217	306,584	6,560,664	711	
	La Ligua	184	207	391	305,726	6,563,737	709	
	La Saucera	11	9	20	314,391	6,571,118	839	Cota muy elevada
	Las Barrancas	79	83	162	316,129	6,556,454	1,017	
	Los Llanos de Cogotí	65	100	185	312,492	6,558,694	822	
	Los Sapos	19	20	39	314,211	6,553,458	982	Casas aisladas
	Mal Paso	20	22	42	303,634	6,574,671	560	Aguas Abajo embalse Cogotí
	Rincón de las Chilcas	79	56	135	319,334	6,562,427	1,152	Cota muy elevada
	San Lorenzo	45	42	87	317,998	6,568,836	1,010	Cota muy elevada
	San Marcos 1	225	253	478	301,957	6,572,156	567	Aguas Abajo embalse Cogotí
	San Marcos 2	40	54	94	302,629	6,573,594	568	Aguas Abajo embalse Cogotí
	Tinajas	127	148	275	333,654	6,553,211	1,654	
	Total	1665	1768	3433				

Figura A.1: Localidades posibles de ser abastecidas por embalse La Tranca y criterio de exclusión. Fuente: MN Ingenieros, 2011.

Valle	Localidad	N° Hombres	N° Mujeres	Total Actual	Este	Norte	Cota	Criterio de Exclusion
Combarbalá	Ambrosio	55	78	133				No se encontró en plano
	Bellavista	15	18	33	309,471	6,647,763	939	Sector urbano
	Cerro Campana	57	43	100	299,146	6,558,589	1,136	Casas aisladas
	Combarbalá	64	118	202	309,214	6,549,319	672	Sector urbano
	Combarbalá	160	180	340				Sector urbano
	Combarbalá	139	152	291				Sector urbano
	Combarbalá Sur	60	99	179				Sector urbano
	Dario Salas	15	31	46				No se encontró en plano
	Diego Portales	160	191	351				No se encontró en plano
	El Calvario	37	37	74				No se encontró en plano
	El Molino	60	59	119	312,000	6,547,000		
	El Parral	13	8	21	303,743	6,556,039	762	Casas aisladas
	Fundo Centinela	3	2	5	312,342	6,547,540	996	Casas aisladas
	Héroes de La Concepción	121	129	250				No se encontró en plano
	La Cantera	27	33	60	311,492	6,549,358	949	
	La Capilla	76	88	164	311,447	6,546,160	1,046	
	La Mercedes	68	85	153				No se encontró en plano
	Lord Cochrane	55	69	124				No se encontró en plano
	Población Media Luna	47	52	99				Sector urbano
	Población Media Luna	67	63	130				Sector urbano
	Pueblo Hundido	28	28	56	312,528	6,546,408	1,016	
	Ramadilla	144	133	277	315,266	6,543,975	1,192	
	Recinto	18	22	40				No se encontró en plano
	Rodeo Viejo	15	10	25				No se encontró en plano
	Villa Cordillera	211	246	457				Sector urbano
	Villa Emaús	22	16	38				Sector urbano
	Villa Estadio	252	268	540				Sector urbano
	Villa Gerónimo de Alderete	73	96	169				Sector urbano
	Villa Juan Pablo II	44	68	112				Sector urbano
	Villa La Finca	407	492	699				Sector urbano
	Villa Los Presidentes	62	85	167				Sector urbano
	Villa Nueva	3	1	4				Sector urbano
	Villa Ricardo Lagos	45	67	112				Sector urbano
	Villa San José	59	64	123				Sector urbano
	Total	2742	3151	5893				

Figura A.2: Localidades posibles de ser abastecidas por embalse Murallas Viejas y criterio de exclusión. Fuente: MN Ingenieros, 2011.

Valle	Localidad	N° Hombres	N° Mujeres	Total Actual	Este	Norte	Cota	Criterio de Exclusion
Pama	Agua Amarilla	18	16	34	291,157	6,566,353	780	
	Chingay	33	21	54	300,846	6,542,410	913	
	Chipef	45	44	89	289,951	6,555,543	855	
	El Divisadero	39	47	86	266,029	6,557,058	876	Casas aisladas
	El Espino	3	2	5	304,994	6,530,255	1,219	
	El Huacho	116	135	253	292,015	6,564,513	801	
	El Peral	23	22	45	290,603	6,560,702	792	
	El Quillay	30	39	69	297,302	6,571,238	723	Aguas Abajo embalse Cogotí
	El Sauce	107	124	231	296,622	6,559,860	807	
	El Soruco	64	59	123	296,681	6,556,980	860	
	Huilmo Alto	18	27	45	294,683	6,561,095		Aguas Abajo embalse Cogotí
	La Centinela	47	47	94				No se encontró en plano
	La Chupalla	46	49	95				No se encontró en plano
	Lagarigue	23	21	44	307,375	6,529,962	1,374	
	Las Arenas	16	19	35				No se encontró en plano
	Litipampa	36	37	73	287,521	6,565,759	765	Casas aisladas
	Llauhín	47	34	81	303,142	6,530,810	1,461	
	Los Cristales	27	16	42	294,549	6,562,788	700	Aguas Abajo embalse Cogotí
	Majada de Zorra	4	4	8	269,270	6,563,991	867	Casas aisladas
	Manquehua	207	193	405	290,807	6,573,904	635	
	Matancilla	22	19	41	307,953	6,541,940	977	
	Media Luna	80	99	179	290,885	6,578,078	643	
	Paclas	36	37	73	297,706	6,547,643	1,065	Cota muy alta
	Pajaritos Blancos	21	30	51				No se encontró en plano
	Pama Abajo	11	14	25	304,365	6,550,692	870	
	Pama Arriba	56	46	102	305,343	6,543,477	909	
	Peña Blanca	23	18	41	291,687	6,552,657	947	Cota muy alta
	Potranillos	17	18	35	294,935	6,560,377	1,022	Casas aisladas
	Quilínapi	344	398	742	294,351	6,554,839	847	
	Valle Hermoso	108	114	222	309,777	6,539,074	1,040	
	Total	1669	1753	3422				

Figura A.3: Localidades posibles de ser abastecidas por embalse Valle Hermoso y criterio de exclusión. Fuente: MN Ingenieros, 2011.

Anexo B

Solicitudes vía Ley de Transparencia

B.1. Primera solicitud



MINUTA DE RESPUESTA
SOLICITUD LEY DE TRANSPARENCIA
AM007T0001023

Solicitante: Sra. Maria Arellano Arellano.

En atención a su solicitud de acceso a la información, ingresada a la plataforma de atención ciudadana con fecha 25 de mayo de 2021, en donde se ha requerido en forma esencial lo siguiente:

"Estima@, junto con saludar, me dirijo a usted mediante esta plataforma solicitando los informes pertinentes al proyecto "Construcción Sistema Colectivo APR varias localidades, Combarbalá" donde según la información dispuesta por el Ministerio de Hacienda la etapa de factibilidad ya fue alcanzada. Es por ello, que requiero de los informes de factibilidad, diseño, y otros realizados previamente que contengan información pertinente a la obra: como arcs beneficiados, trazado de tuberías, diseño de las obras, costos evaluados, fechas proyectadas para la construcción, empresa a cargo de las obras, entre otros datos pertinentes. De antemano muchas gracias. Sin más que agregar. ATTE MIAH. Saludos! * Otros datos ingresados por la persona: [REDACTED] Medio de envío o retiro de la información solicitada: Correo electrónico Proqrama o aplicación: PDF".

Al respecto es posible informar que:

La iniciativa "Construcción Sistema APR Colectivo APR varias localidades, Combarbala", cuenta con una Factibilidad Terminada, la que fue ejecutada entre los años 2012 al 2014, por la Empresa Consultora Arrau Ingeniería SPA, y está postulando a la Etapa de Diseño al Ministerio de Desarrollo Social y Familia, para el año presupuestario 2021.

El Diseño contempla diseñar a nivel de ingeniería la alternativa seleccionada en Etapa de Factibilidad, la cual proyecta una matriz principal proveniente del embalse Valle Hermoso, incorporando en su trazado 3 ramales, con el objetivo de otorgar abastecimiento hídrico a varias localidades de la comuna de Combarbalá.

Se desarrollará en las siguientes etapas:

- Etapa 1: Diagnóstico, Optimización, Balance, Análisis de Alternativa y Participación Ciudadana (PAC).
- Etapa 2: Estudios básicos y Participación Ciudadana (PAC).
- Etapa 3: Definición del Sistema y sus Obras y Participación Ciudadana (PAC).
- Etapa 4: Diseño del Proyecto (Ingeniería de detalle) y Participación Ciudadana (PAC).
- Etapa 5: Cubicación, Presupuesto, Especificaciones, Evaluación Económica, Autorizaciones y Participación Ciudadana (PAC).
- Etapa 6: Informe Final y entrega del estudio.

El plazo contemplado para el Diseño es de 13 meses y el Monto aproximado es de 1.219 millones de pesos.

Figura B.1: Solicitud N°1 Ley de Transparencia parte 1.

Respecto a los antecedentes técnicos se adjunta Minuta respectiva.



GABRIEL VALDIVIA GONZALEZ
SUBDIRECTOR DE SERVICIOS SANITARIOS RURALES
REGION DE COQUIMBO
Dirección de Obras Hidráulicas
Ministerio de Obras Públicas
La Serena, 04 de Junio de 2021

Figura B.2: Solicitud N°1 Ley de Transparencia parte 2.

B.2. Segunda solicitud



MINUTA DE RESPUESTA
SOLICITUD LEY DE TRANSPARENCIA
AM007W0061586

Solicitante: Sra. Maria Arellano Arellano.

En atención a su solicitud de acceso a la información, ingresada a la plataforma de atención ciudadana con fecha 07 de junio de 2021, en donde se ha requerido en forma esencial lo siguiente:

"Estimad@, junto con saludar mediante este canal de comunicación quiero solicitar el informe: FACTIBILIDAD CONSTRUCCIÓN SISTEMA COLECTIVO DE AGUA POTABLE RURAL, VARIAS LOCALIDADES, COMUNA DE COMBARBALÁ PROVINCIA DE LIMARÍ, REGIÓN DE COQUIMBO donde tengo entendido se incluyen las especificaciones en la etapa de factibilidad del proyecto que conectaría a los sistemas APRs con la obra de embalse Valle Hermoso. Sin más que agradecer. Saludos! Atte.MJAH"

Al respecto es posible informar que:

La iniciativa "Construcción Sistema APR Colectivo APR varias localidades, Combarbala", está postulando a la etapa de Diseño y a la fecha no cuenta con Recomendación Favorable del Ministerio del Desarrollo Social y Familia (MIDESOYF), por lo que asociado a esta aprobación, esta iniciativa podría sufrir modificaciones y por tanto no es una iniciativa definitiva.

Actualmente se están subsanando las observaciones remitidas por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia a través de RATE OT de fecha 13/11/2020.

Se presentará nuevamente a revisión al MIDESOYF, durante el mes de Agosto de este año

Si requiere más antecedentes favor remitir correo a Subdirector de Servicios Sanitarios Rural a gabriel.valdivia@mop.gov.cl.



GABRIEL VALDIVIA GONZALEZ
SUBDIRECTOR DE SERVICIOS SANITARIOS RURALES
REGION DE COQUIMBO
Dirección de Obras Hidráulicas
Ministerio de Obras Públicas
La Serena, 29 de junio de 2021

Figura B.3: Solicitud N°2 Ley de Transparencia.

Anexo C

Catálogos utilizados

C.1. Catálogos de tuberías

Los catálogos utilizados corresponden a uno para tuberías de acero, y uno para tuberías de HDPE. Estos se muestran en las Figuras C.1 y C.2

TABLA DE ESPESORES, PESOS Y PRESIONES DE TRABAJO PARA CAÑERÍAS DE ACERO CARBONO



Díametro Nominal (pulg)	Díametro Externo (mm)	ISO 665 Serie LK II	ASTM A795 Sch. 10Std.B	ASTM A53 Sch. 20Std.B	ASTM A53 JA106 Sch. 40Std.B	ASTM A53 Sch. 60Std.B	ASTM A53 JA106 Sch. 80Std.B				
1/2	21,34	A 2,00 B 0,50	C 700 D 49,20	2,11 0,998		2,77 1,266	700 49,20	2,77 1,266	700 49,20	3,73 1,619	850 59,80
3/4	26,67	2,30 1,38	700 49,20	2,11 1,275		2,87 1,683	700 49,20	2,87 1,683	700 49,20	3,91 2,193	850 59,80
1	33,40	2,60 1,56	700 49,20	2,77 2,089	700 49,20	3,38 2,498	700 49,20	3,38 2,498	700 49,20	4,55 3,282	850 59,80
1 1/4	42,16	2,60 2,54	700 49,20	2,77 2,687	700 49,20	3,58 3,382	1300 91,40	3,58 3,382	1300 91,40	4,85 4,459	1900 133,90
1 1/2	48,26	2,80 3,23	700 49,20	2,77 3,107	1000 70,30	3,68 4,044	1300 91,40	3,68 4,044	1300 91,40	5,68 5,403	1900 133,90
2	60,32	2,80 4,08	700 49,20	2,77 3,925	1000 70,30	3,91 5,436	2500 175,80	3,91 5,436	2500 175,80	5,54 7,473	2500 175,80
2 1/2	73,02 (*)	3,20 5,71	700 49,20	3,05 5,254	1000 70,30	5,18 6,630	2500 175,80	5,18 6,630	2500 175,80	7,01 11,400	2500 175,80
3	88,90	3,20 6,72	700 49,20	3,05 6,448	1000 70,30	5,49 11,278	2500 175,80	5,49 11,278	2500 175,80	7,82 15,252	2500 175,80
4	114,30	3,60 9,75	700 49,20	3,05 8,352	1000 70,30	6,02 16,055	2210 155,40	6,02 16,055	2210 155,40	8,56 22,290	2800 196,90
5	141,30			3,40 11,862	1200 84,40	6,53 11,862	1950 137,10	6,53 11,862	1950 137,10	9,52 38,921	2800 196,90
6	168,30			3,40 13,622	1200 84,40	6,53 25,340	1950 68,90	6,53 25,340	1950 68,90	10,97 45,512	2740 192,70
8	219,10			4,78 19,939	1000 70,30	6,35 35,272	820 57,70	8,18 42,482	1570 110,40	12,70 64,584	2430 170,90
10	273,10			4,78 27,825	800 56,30	6,35 41,723	840 66,10	9,27 60,224	1430 100,80	15,09 85,723	2320 160,20
12	323,90			4,57 36,099	700 49,20	6,35 49,689	820 57,70	10,31 79,653	1340 94,20	17,45 131,703	1940 138,40
14	355,60			6,35 34,624		7,92 97,972	730 51,30	11,10 94,204	1310 92,10	19,05 81,247	2250 157,977
16	406,40			6,35 42,570		7,92 117,912	790 55,60	12,70 123,162	1310 92,10	21,41 93,119	2220 203,112
18	457,20			6,35 70,516		7,92 87,837	720 50,80	14,27 155,942	1310 92,10	23,80 105,038	2190 154,90
20	508,00			6,35 78,462		9,52 116,957	660 46,40	15,06 182,875	1250 87,90	26,19 117,020	2170 310,843
22	558,80			6,35 86,408		9,52 139,876	610 41,90	9,52 129,876	720 50,80	28,57 203,112	2170 310,843
24	609,60			6,35 94,354		9,52 140,795	550 37,90	17,45 254,754	1200 84,40	30,94 140,794	2130 441,043
26	660,40			7,92 127,373		12,7 202,165	700 49,20	9,52 152,669	610 42,90		
28	711,20			7,92 137,283		12,7 218,438	660 46,40	9,52 161,573	560 38,10		
30	762,00			7,92 147,208		12,7 234,390		9,52 179,477	500 36,80		
32	812,80			7,92 157,133		12,7 250,282	580 40,80	17,48 342,389	9,52 186,529	490 34,50	
34	863,60			7,92 184,066		12,7 266,203		17,48 364,262	9,52 200,434		
36	914,40			7,92 176,923		12,7 282,125		19,85 420,062	880 61,90	9,52 212,338	440 30,90

*Cañería ISO 2 1/2" tiene diámetro exterior de 76.1 mm.

NOTA: CADA CELDA CONTIENE 4 DATOS, DONDE:

A	B	C	D
Espección de cañerías expresado en milímetros (mm).	Peso por metro de cañería expresada en Kg/m.	Presión de trabajo (de prueba) expresada en PSI (lb/pulg ²).	Presión de trabajo (de prueba) expresada en Kg/cm ² .



Figura C.1: Catálogo cañerías de acero utilizado para la solución del embalse Valle Hermoso. Fuente: Multi Aceros.

Diámetro	SDR 41		SDR 33		SDR 26		SDR 21		SDR 17		SDR 13,6		SDR 11		SDR 9		SDR 7,4		SDR 6			
	PN 3,2		PN 4		PN 5		PN 6		PN 8		PN 10		PN 12,5		PN 16		PN 20		PN 25			
	mm	pulg	Espesor mm	Kg/m																		
16																						
20	1/2													2.0	0.12	2.3	0.13	3.0	0.16	3.4	0.18	
25	3/4											2.0	0.15	2.3	0.17	3.0	0.21	3.5	0.24	4.2	0.28	
32	1											2.0	0.19	2.4	0.23	3.0	0.28	3.6	0.33	4.4	0.39	5.4
40	1 1/4							2.0	0.25	2.4	0.29	3.0	0.36	3.7	0.43	4.5	0.51	5.5	0.60	6.7	0.70	
50	1 1/2					2.0	0.31	2.4	0.37	3.0	0.45	3.7	0.55	4.6	0.67	5.6	0.79	6.9	0.94	8.3	1.09	
63	2					2.5	0.49	3.0	0.58	3.8	0.72	4.7	0.87	5.8	1.05	7.1	1.26	8.6	1.48	10.5	1.74	
75	2 1/2					2.9	0.67	3.6	0.83	4.5	1.02	5.6	1.24	6.8	1.47	8.4	1.77	10.3	2.11	12.5	2.46	
90	3					3.5	0.98	4.3	1.18	5.4	1.46	6.7	1.78	8.2	2.13	10.1	2.56	12.3	3.02	15.0	3.54	
110	4					4.2	1.43	5.3	1.78	6.6	2.17	8.1	2.63	10.0	3.16	12.3	3.80	15.1	4.52	18.3	5.28	
125	5					4.8	1.84	6.0	2.27	7.4	2.77	9.2	3.39	11.4	4.10	14.0	4.92	17.1	5.82	20.8	6.81	
140	5 1/2					5.4	2.33	6.7	2.85	8.3	3.48	10.3	4.24	12.7	5.12	15.7	6.16	19.2	7.31	23.3	8.55	
160	6					6.2	3.05	7.7	3.73	9.5	4.55	11.8	5.54	14.6	6.72	17.9	8.02	21.9	9.52	26.6	11.15	
180	7					6.9	3.80	8.6	4.69	10.7	5.75	13.3	7.03	16.4	8.49	20.1	10.15	24.6	12.04	29.9	14.09	
200	8					7.7	4.72	9.6	5.81	11.9	7.09	14.7	8.62	18.2	10.47	22.4	12.56	27.4	14.89	33.2	17.40	
225	9					8.6	5.93	10.8	7.34	13.4	9.00	16.6	10.95	20.5	13.25	25.2	15.89	30.8	18.82	37.4	22.03	
250	10					9.6	7.34	11.9	8.99	14.8	11.03	18.4	13.49	22.7	16.30	27.9	19.53	34.2	23.23	41.5	27.17	
280	11					10.7	9.16	13.4	11.35	16.6	13.85	20.6	16.90	25.4	20.43	31.3	24.55	38.3	29.13	46.5	34.08	
315	12	7.7	7.54	9.7	9.42	12.1	11.67	15.0	14.26	18.7	17.54	23.2	21.43	28.6	25.86	35.2	31.06	43.1	36.88	52.3	43.13	
355	14	8.7	9.59	10.9	11.91	13.6	14.74	16.9	18.10	21.1	22.33	26.1	27.16	32.2	32.83	39.7	39.44	48.5	46.76	59.0	54.79	
400	16	9.8	12.16	12.3	15.17	15.3	18.70	19.1	23.08	23.7	28.22	29.4	34.45	36.3	41.68	44.7	50.04	54.7	59.40	-	-	
450	18	11.0	15.34	13.8	19.11	17.2	23.64	21.5	29.19	26.7	35.76	33.1	43.63	40.9	52.78	50.3	63.35	61.5	75.14	-	-	
500	20	12.3	19.09	15.3	23.57	19.1	29.16	23.9	36.02	29.7	44.18	36.8	53.84	45.5	65.19	55.8	78.07	-	-	-	-	
560	22	13.7	23.78	17.2	29.66	21.4	36.55	26.7	45.08	33.2	55.34	41.2	67.55	50.8	81.59	62.5	97.94	-	-	-	-	
630	24	15.4	30.08	19.3	37.42	24.1	46.32	30.3	57.20	37.4	70.10	46.3	85.38	57.2	103.38	70.3	123.94	-	-	-	-	

1) La tensión admisible es el cociente entre el MRS y el coeficiente de diseño (1.25)
 2) La relación SDR corresponde al cociente entre el diámetro y el espesor de pared de la tubería.
 3) La presión nominal PN corresponde a la máxima presión de operación admisible en Bar a 20°C
 4) Los valores en pulgadas utilizados como referencia con la norma ASTM/ANSI B 36.1

Figura C.2: Catálogo cañerías de HDPE utilizado para la solución del embalse La Paloma. Fuente: Petroflex.

C.2. Catálogo bombas en balsa captación

El catálogo utilizado de las bombas en balsa de eje vertical serie VCB marca Vogt se muestra a continuación:

50Hz

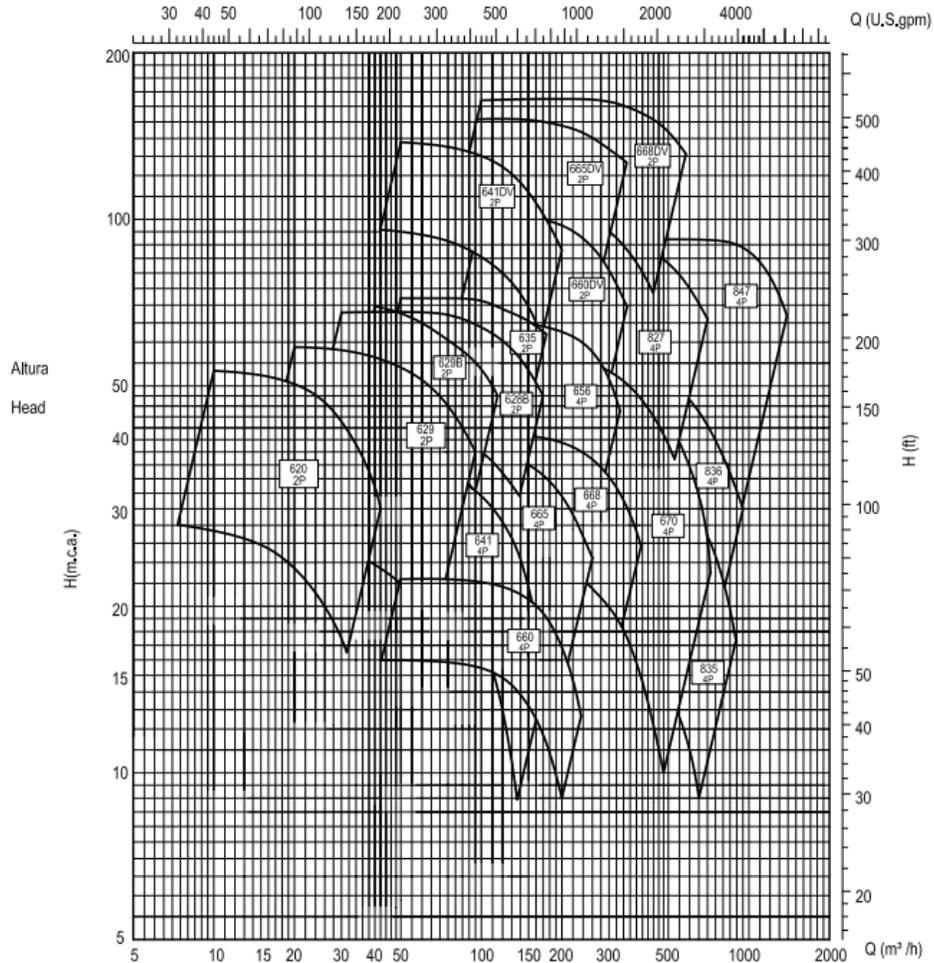


Figura C.3: Catálogo bombas en balsa de eje vertical serie VCB marca Vogt.
 Fuente: vogt.cl

C.3. Catálogo de bombas embalse La Paloma

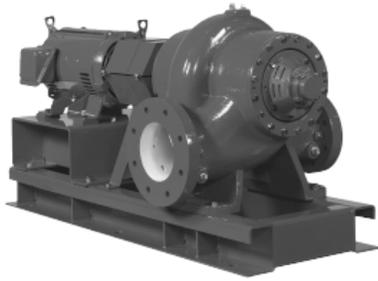
Los catálogos utilizados para seleccionar los equipos de bombeo del sistema embalse La Paloma corresponden a los de las marcas Bell & Gossett y Vogt.

C.3.1. Bell & Gossett

Este es un catálogo de bombas de doble succión montadas en base. Su campo de operación permite trabajar con caudales altos y alturas hasta los 150 m. confirmar



Bell & Gossett®
Curve Booklet B-470F



60 Hertz Performance Curves

Base Mounted – Double Suction
Pump Performance Curves
VSC, VSCS and VSH Models

SERIES VSX
REVOLUTION-X

Figura C.4: Catálogo de bombas Bell & Gossett.

A continuación se presentan las curvas características de las bombas seleccionadas.

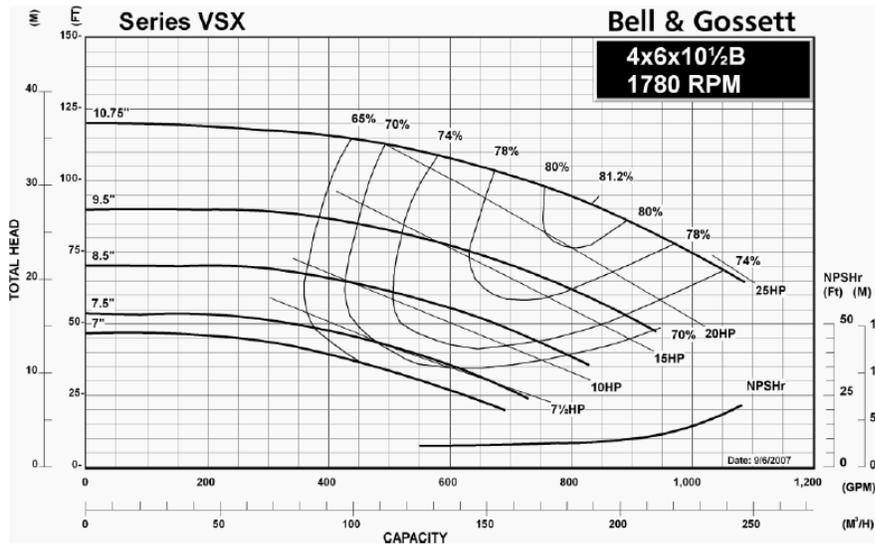


Figura C.5: Curvas características Bell & Gossett 4x6x10 1/2B.

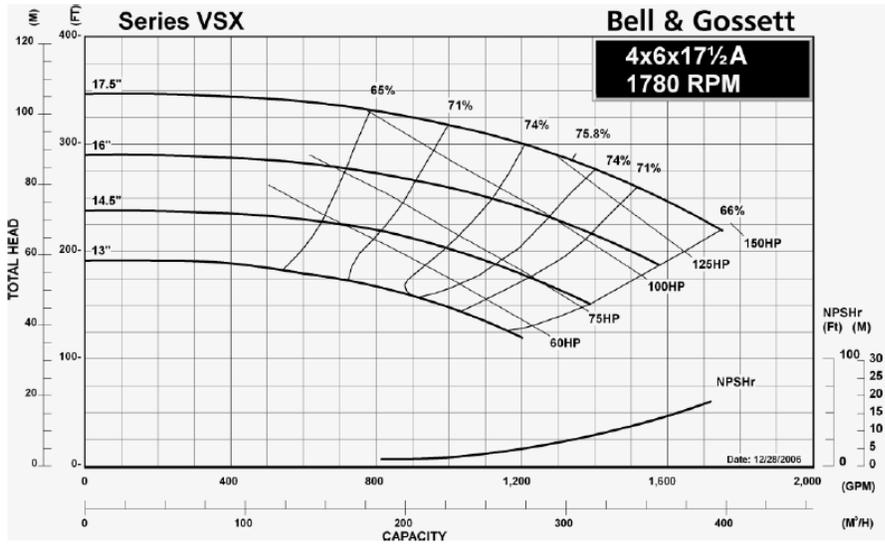


Figura C.6: Curvas características Bell & Gossett 4x16x17 1/2A.

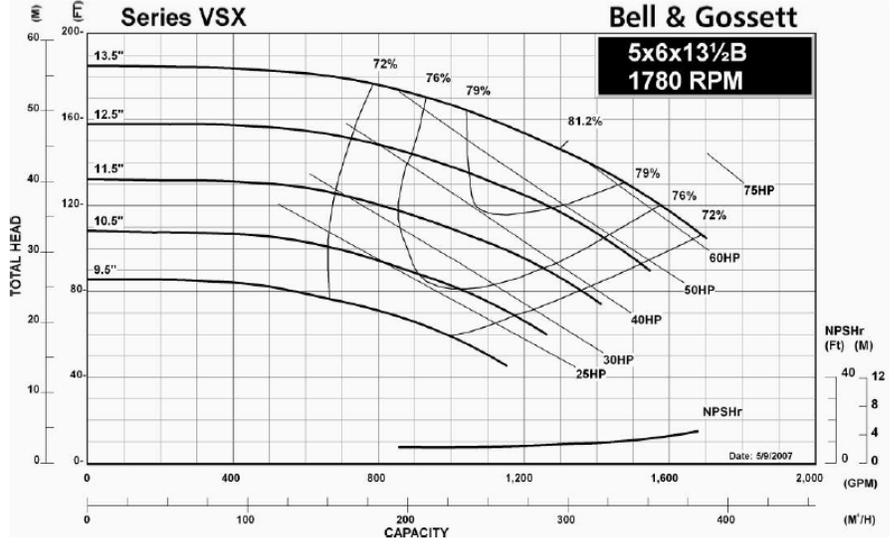


Figura C.7: Curvas características Bell & Gossett 5x6x13 1/2B.

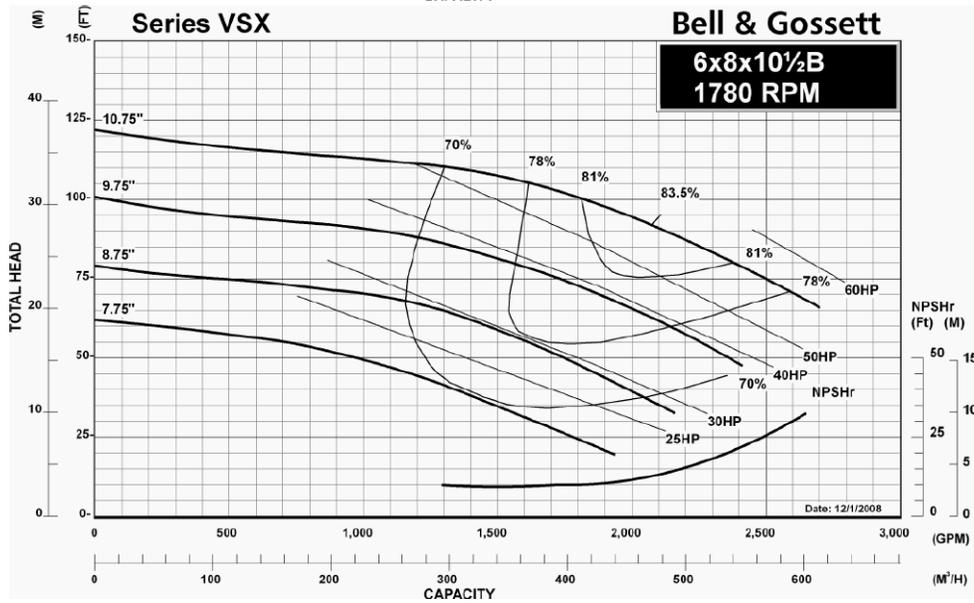


Figura C.8: Curvas características Bell & Gossett 6x8x10 1/2B.

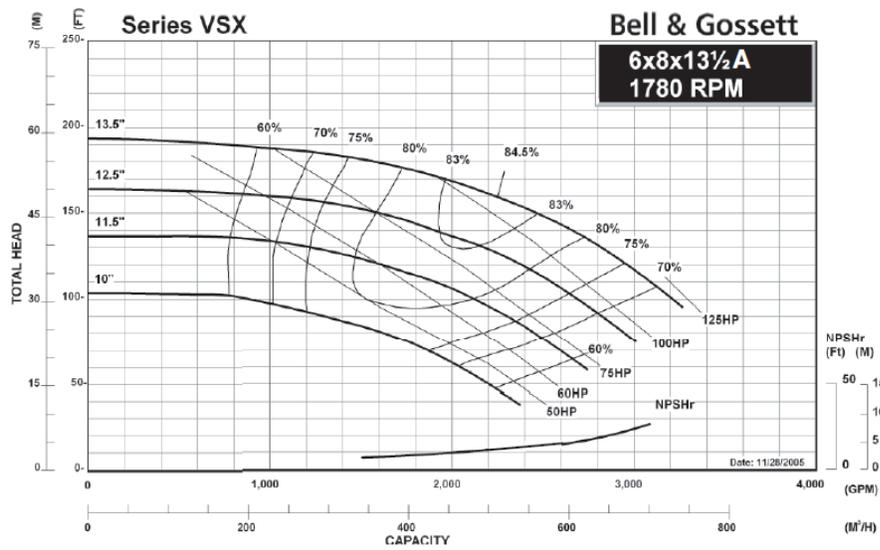


Figura C.9: Curvas características Bell & Gossett 6x8x13 1/2A.

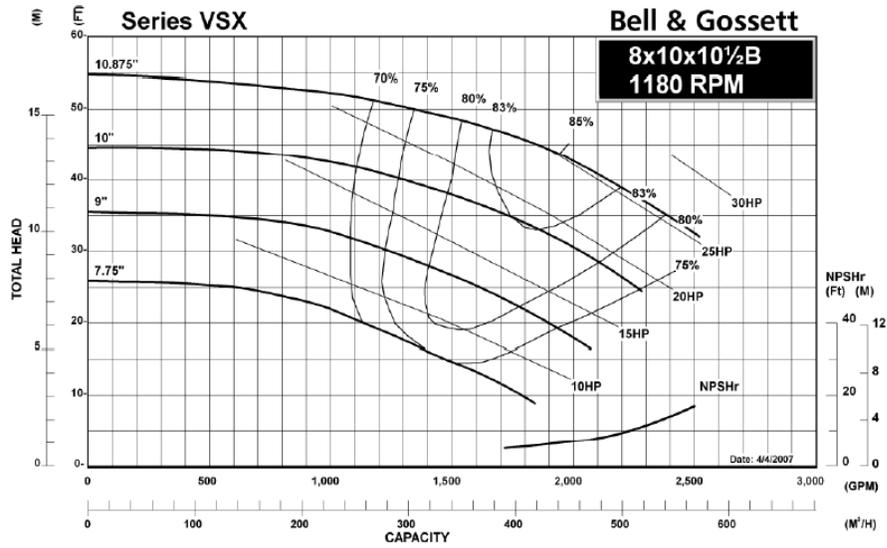


Figura C.10: Curvas características Bell & Gossett 8x10x10 1/2B.

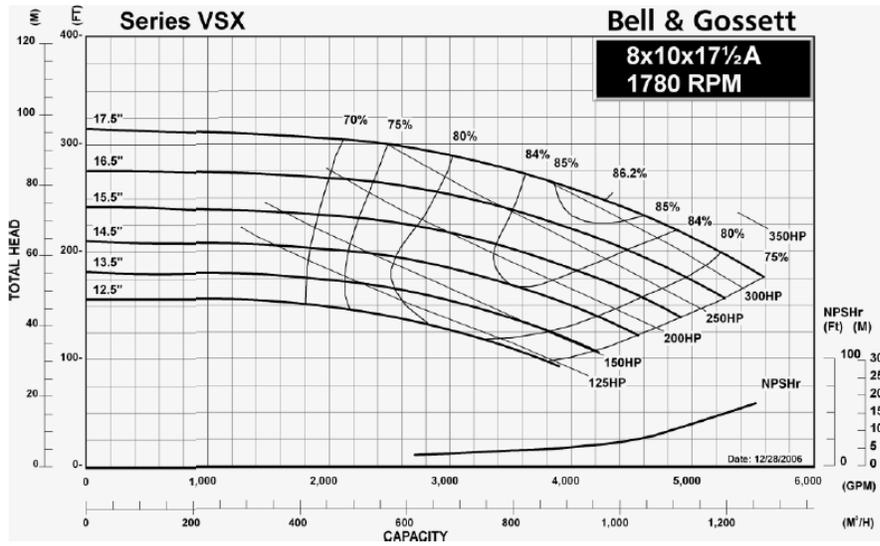


Figura C.11: Curvas características Bell & Gossett 8x10x17 1/2A.

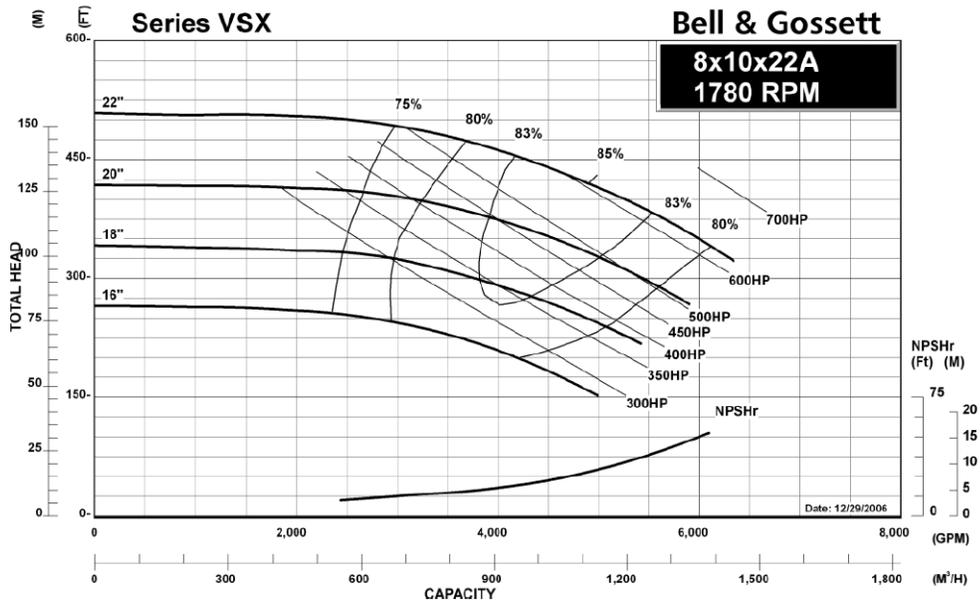


Figura C.12: Curvas características Bell & Gossett 8x10x22 A.

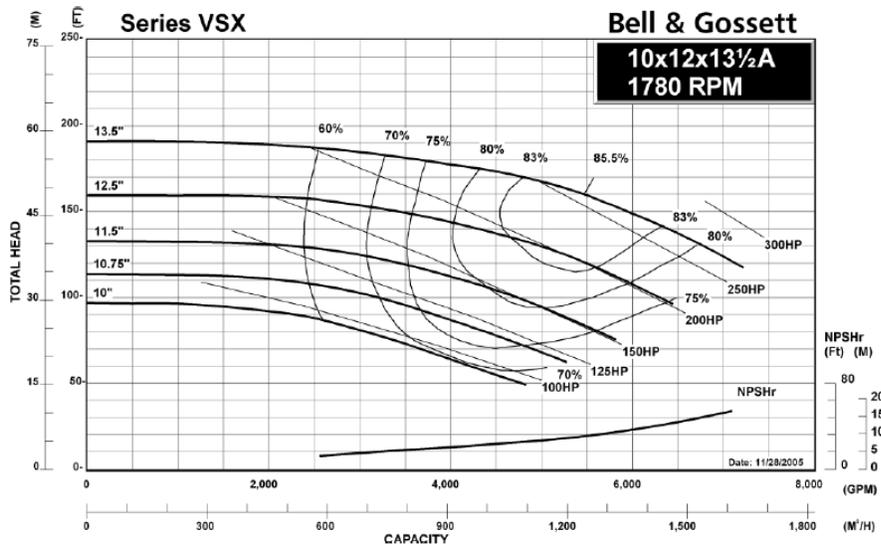


Figura C.13: Curvas características Bell & Gossett 10x12x13 1/2A.

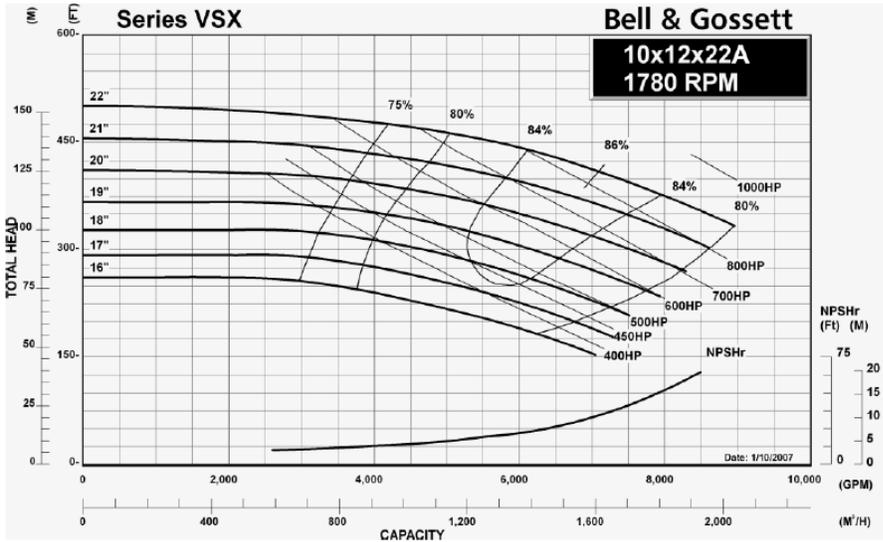


Figura C.14: Curvas características Bell & Gossett 10x12x22 A.

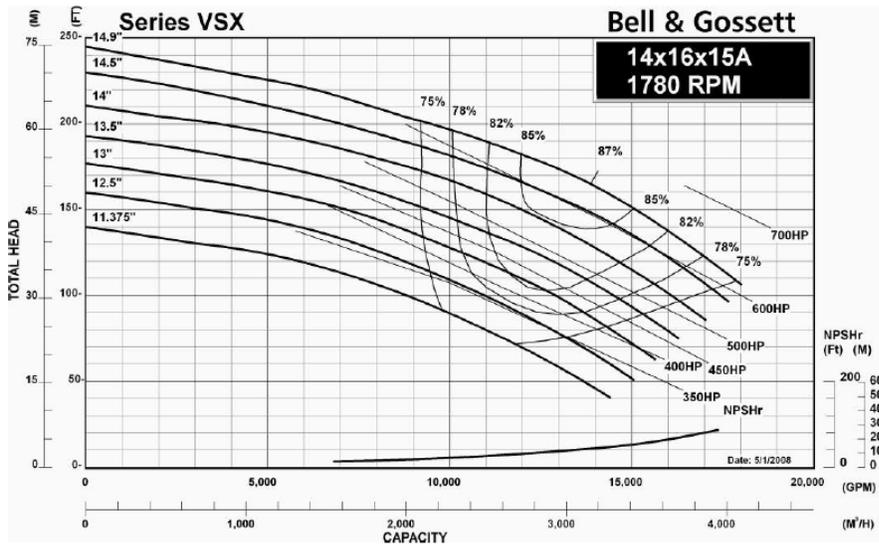


Figura C.15: Curvas características Bell & Gossett 14x16x15 A.

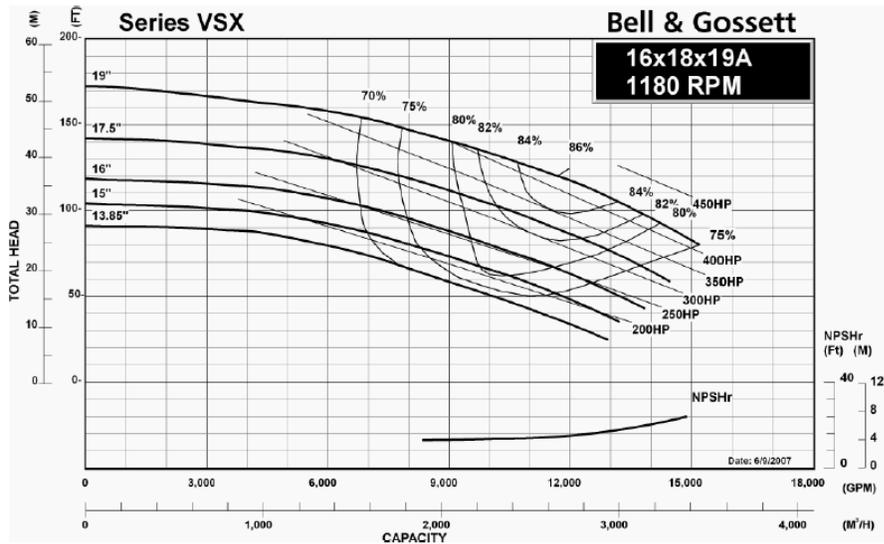


Figura C.16: Curvas características Bell & Gossett 16x18x19 A.

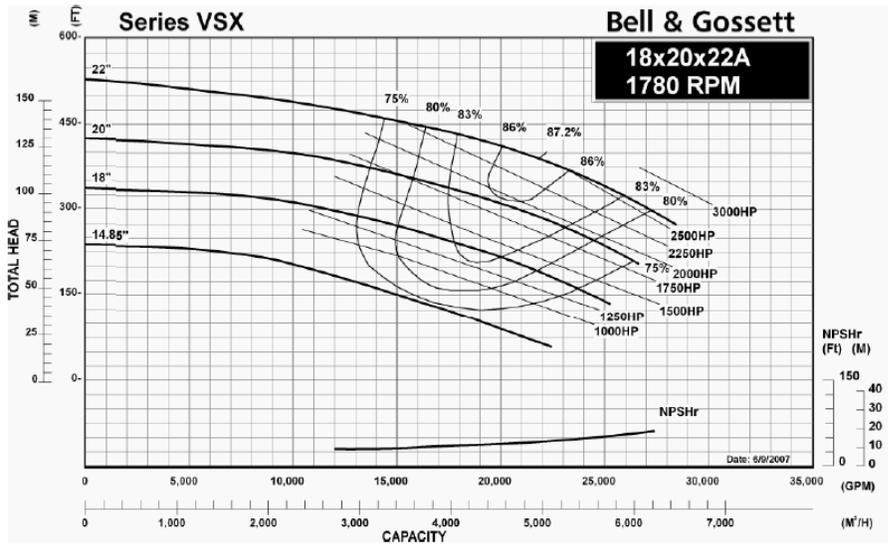


Figura C.17: Curvas características Bell & Gossett 18x20x22 A.

C.3.2. Vogt

Las bombas Vogt Serie L son bombas centrífugas multietapa horizontales, útiles para elevar grande alturas (hasta 450 m) y caudales de hasta 160 m³/h.

Serie L

CAPACITY: @ 180 M³/HR
 HEAD: @ 450 M.C.A.
 NOMINAL SIZE: DN 25 @ DN 80

Descripción:

Los equipos de la Serie L son bombas centrífugas multietapa horizontales, de aspiración horizontal lateral y descarga vertical superior. Con bridas de succión y descarga para presiones nominales de PN-16, PN-40 y PN-64, normalizadas de acuerdo a DIN 2543, DIN 2545 y DIN2546, respectivamente.

Estos equipos están diseñados con impulsor cerrado, sellado mediante sello o prensa estopa (empaques), rodamientos auto-lubricados con grasa o baño de aceite y con sistema Back-Pull-Out, esto permite mantención sin que se pierda el alineamiento entre bomba y motor.

Las bombas de la Serie L de Vogt, son aptas para la impulsión de fluidos que no contengan partículas sólidas abrasivas.



Figura C.18: Catálogo de bombas Vogt.

A continuación se presentan las curvas características de las bombas seleccionadas.

Diám. Entrada Salida Input Output Diam.	Velocidad Nominal Nominal Speed	Modelo Type
1 1/4" x 1"	2900 1/min	L 25
Cliente:	Item:	

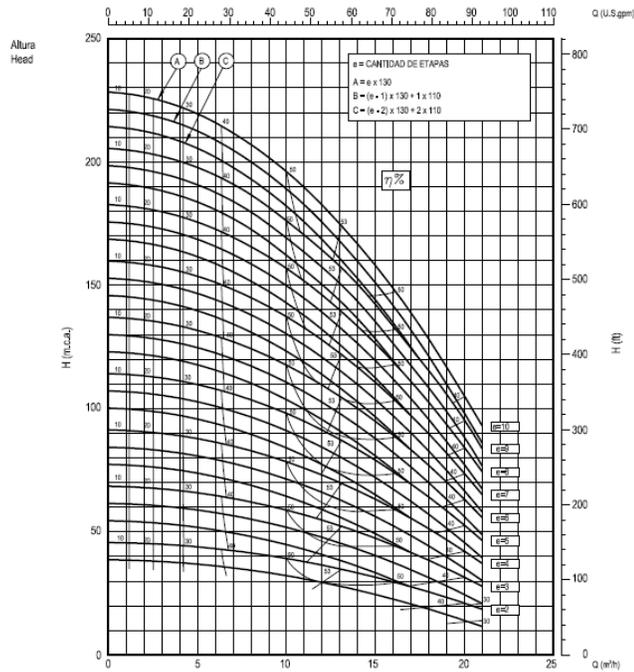


Figura C.19: Curvas características serie L-25 Vogt.

Diam. Entrada Salida Input Output Diam. 1 1/2" x 1 1/4"	Velocidad Nominal Nominal Speed 2900 1/min	Modelo Type L 32
Olorat: 	Item: 	

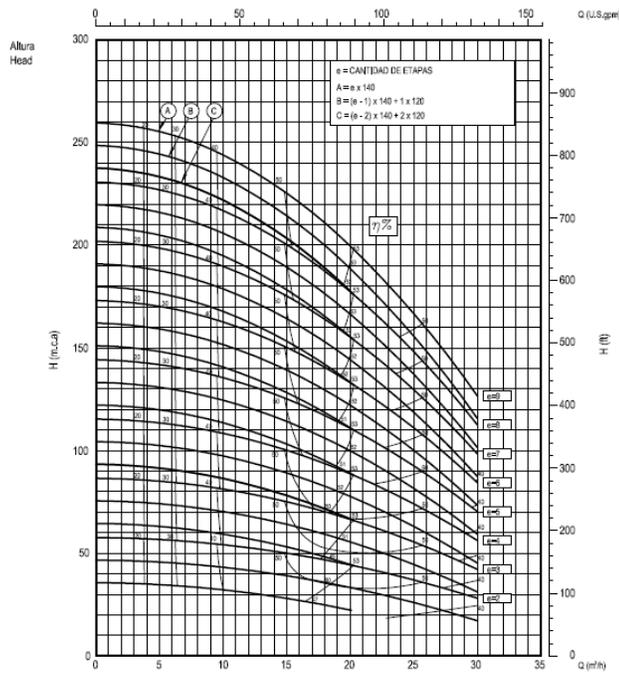


Figura C.20: Curvas características serie L-32 Vogt.

Diam. Entrada Salida Input Output Diam. 2" x 1 1/2"	Velocidad Nominal Nominal Speed 2900 1/min	Modelo Type L 40
Olorat: 	Item: 	

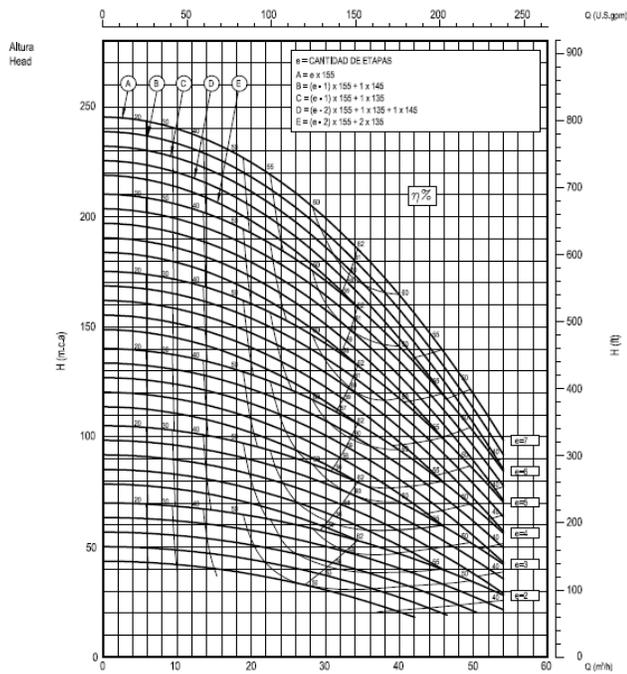


Figura C.21: Curvas características serie L-40 Vogt.

Diam. Entrada Salida Input Output Diam.	Velocidad Nominal Nominal Speed	Modelo Type
2 1/2" x 2"	2900 1/min	L50
Oleico	Item:	

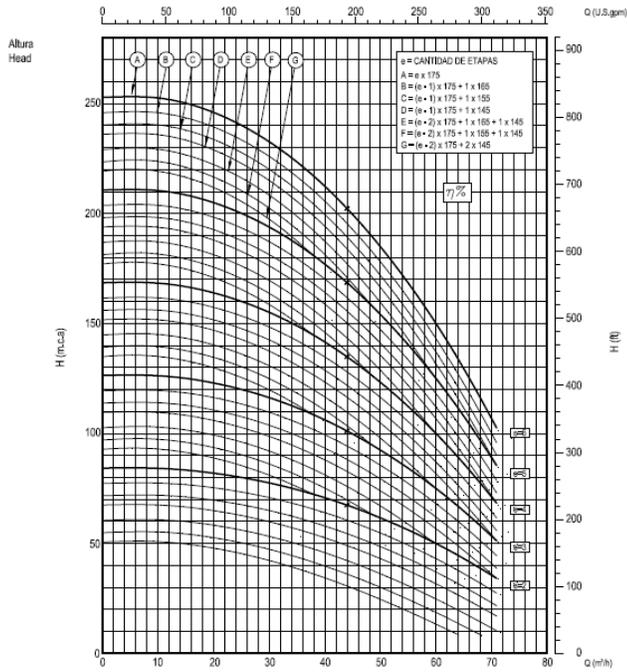


Figura C.22: Curvas características serie L-50 Vogt.

Diam. Entrada Salida Input Output Diam.	Velocidad Nominal Nominal Speed	Modelo Type
5" x 3"	2900 1/min	L 80
Oleico	Item:	

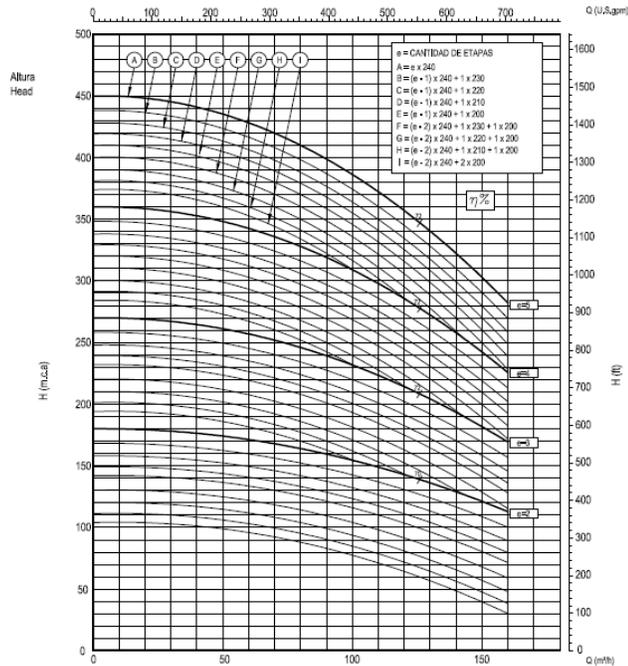


Figura C.23: Curvas características serie L-80 Vogt.

Anexo D

Obra de captación

D.1. Cálculo captación

A continuación se presenta el cálculo de las PEAP de las captaciones de los sistemas colectivos de ambos embalses.

Tabla D.1: Cálculo de captación de los embalses. Elaboración propia.

Elevación		Largo Tramo	Cota terr (i)	Cota terr (f)	H Geométrica	Caudal	Material	Dext	Espesor	Dinterior	Velocidad	C	J	Perd Fri	Perd Sing	Otra Perdidas	Q	Altura Total	Bomba	
Desde	Hasta	(m)	(m)	(m)	(m)	(l/s)		(mm)	(mm)	(mm)	(m/s)	H-W	(m/m)	(m)	(m)	(m)	(l/s)	(m)	Equipo	Modelo
Captación VH	Salida Emb VH	120	1554	1671	117	141,94	HDPE PN12,5	450	33,1	383,8	1,23	140	0,003	0,38	0,02	0,00	141,94	117,40	Serie VCB Vogt	668DV 2P
Captación LP	Salida Emb LP	85	318	400	82	276,67	HDPE PN10	560	13,7	532,6	1,24	140	0,002	0,19	0,01	0,00	276,67	82,20	Serie VCB Vogt	847 4P

D.2. Costo captación

En la Tabla siguiente se presenta el cálculo de los costos de construcción de la captación de ambos sistemas colectivos.

Tabla D.2: Cálculo costos de construcción captaciones. Elaboración propia.

Elevación		Q	Altura Total	Pot P2	Costo \$
Desde	Hasta	(l/s)	(m)	(kW)	
Captación VH	Salida Emb VH	141,94	117,40	272,19	\$ 169.144.248
Captación LP	Salida Emb LP	276,67	82,20	371,46	\$ 177.375.301