



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

**DISEÑO CONCEPTUAL DE EMBALSES SUSTENTABLES PARA ABASTECIMIENTO  
DE AGUA POTABLE EN ZONAS RURALES DE LA PROVINCIA DE LIMARÍ, IV  
REGIÓN DE COQUIMBO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

**FRANCISCA ANTONIA ROSALES CID**

PROFESOR GUÍA

**Adolfo Ochoa Llangato**

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

**Ezequiel Camus Hayden**

**Juan Beltrán Morales**

SANTIAGO DE CHILE

2023

**RESUMEN DE MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL  
POR: FRANCISCA ROSALES CID  
FECHA: 2023  
PROFESOR GUIA: ADOLFO OCHOA LLANGATO**

**Diseño conceptual de embalses sustentables para abastecimiento de agua potable en zonas rurales de la Provincia del Limarí, IV Región de Coquimbo**

Para contribuir a mejorar la condición de los sistemas de Agua Potable Rural (APR), en el presente trabajo se presentan soluciones, a nivel de ingeniería conceptual, para aumentar la capacidad de almacenamiento de agua para fines de consumo humano. Estas soluciones están basadas en el desarrollo de embalses sustentables en la Provincia de Limarí, donde existen 105 sistemas de APR que abastecen a una población estimada de 84.456 habitantes.

Se define un embalse sustentable como aquel de tamaño mediano – bajo, ajustado a la necesidad de almacenar agua para consumo humano, con presas de entre 15 a 25 [m] de altura cuyo diseño haya considerado la participación de la comunidad. Lo anterior, significa que las áreas de inundación no serán extensas, de forma que sea mínimo el impacto ambiental de estos reservorios, cuyas obras pasen a ser administradas por las comunidades rurales, tal como lo son actualmente sus sistemas de APR. Además, durante la construcción de un embalse sustentable se debe mantener una comunicación constante con las comunidades, procurando mantenerlas plenamente informadas sobre los avances y riesgos asociados a un proyecto de esta índole. Por último, el embalse no solo debe traer un beneficio en cuanto a suministro de agua potable, sino que también puede ser utilizada como área recreativa aumentando los beneficios sociales de su construcción.

Como material para la presa se eligió el hormigón compactado con rodillo (HCR), por las ventajas que tiene esta alternativa en comparación con una presa de tierra.

En base a su definición, se diseñaron conceptualmente 6 embalses sustentables en tres de las comunas de la Provincia del Limarí: Ovalle, Punitaqui y Combarbalá, en donde se identificaron sitios propicios para presas y embalsamiento de agua.

En la tabla siguiente se presenta un resumen de características de estos embalses, con las capacidades totales (para un año) y diarias disponibles para almacenamiento de agua, y el número de arranques y personas beneficiadas, considerando un consumo de agua de 170 [lt/persona/día], 3,1 personas por arranque y pérdidas del 27,24%.

<b>Embalse/ Característica</b>	<b>Infiernillo</b>	<b>Lagunillas</b>	<b>Soruco</b>	<b>Majada Blanca</b>	<b>Angostura</b>	<b>Vista al Río Combarbalá</b>
<b>Altura presa HCR [m]</b>	25	20	15	20	15	20
<b>Volumen de HCR [m<sup>3</sup>]</b>	32.813	36.114	10.875	22.516	12.659	24.611
<b>Volumen embalse [m<sup>3</sup>]</b>	544.044	592.780	2.406.604	850.956	514.072	873.943
<b>Volumen diario [lt/día]</b>	1.084.512	1.181.662	4.797.383	1.696.317	1.024.764	1.742.139
<b>N° de arranques</b>	2.058	2.242	9.103	3.219	1.945	3.306
<b>N° de personas</b>	6.380	6.951	28.220	9.978	6.028	10.248

*“Lo más importante nunca se ve...”*

- *El Principito*

## Agradecimientos

Me gustaría agradecer a cada una de las personas que me ayudaron a lo largo de todo estos años de Universidad y particularmente agradecerles a aquellos que estuvieron conmigo estos últimos meses que han sido complejos y desafiantes por muchos motivos. Es difícil poder recordar a todas las personas con las que he cruzado camino y me han ofrecido su ayuda en este proceso, sin embargo, siempre agradeceré a la vida por ser tan afortunada de conocer a personas valiosas que me han enseñado y compartido lo mejor de sí mismas.

Primeramente quiero agradecer a mis abuelos, por estar ahí en todo momento, entregando todo lo que tienen y más para verme cumplir mis metas y sueños. A mi abuelo Humberto que siempre me expresa su orgullo, me regala palabras de ánimo o a veces poemas y, de vez en cuando, un tirón de orejas cuando hace falta. A mi abuela Ana que a su forma y siendo un poco fastidiosa, desde que tengo memoria se ha esforzado por verme empoderada e independiente. A mi hermano Jano, que es un ejemplo para mí de lo que es ser constante, disciplinado y bondadoso, no nos hablamos mucho, pero no es necesario, yo sé que cuento con él para todo. A mis hermanas, que son mis pequeñas gigantes, que siempre me reciben con tanto afecto y me hacen sentir como en casa. A la Kiara, con quien conviví toda la pandemia y tuve mis mejores carretes en casa, agradezco que hayas sido mi confidente y mi apoyo en esos tiempos pandémicos de U online. A mi tía Caro, a quien le debo muchísimo, pero por sobre todo le debo mis ganas de estudiar en la facultad de Ingeniería, porque fue ella quien me regaló un curso de verano en la Universidad (sí, lo sé, muy ñoña) el año 2014 y fue ella quien me llevo el primer día clases hasta la sala QO en Beauchef 850, desde ese verano siempre supe que quería ser Ingeniera. A mis papás, a quienes les agradezco haberme dado la vida. A mi tío Juan, con quien viví durante 2 años de mi carrera, le agradezco su generosidad y su hospitalidad, siempre recordaré sus historias de la familia, sus aventuras en el extranjero y por sobre todo atesoraré las historias que me contaba de mi abuelita Meche, guardaré las fotos y recuerdos que me trajeron alegría y me hicieron creer que la Meche desde el cielo ha visto todo lo que he logrado.

Quiero agradecer a mis amigos y compañeros, que sin ellos no lo hubiera logrado, en particular a mi Javi, que es una loca, pero es mi loca, la quiero demasiado y espero que me siga acompañando en este viaje llamado vida. A la Kathy, quien ha estado presente durante todos estos meses, aguantándome y escuchándome, estoy muy agradecida porque la vida nos reunió y nos permitió vivir un proceso muy difícil juntas: la independización. Fue muy intenso nuestro 2022, pero me quedo con los mejores recuerdos, como lo fue tomar tecito juntas viendo series, las mil conversaciones hasta la madrugada, nuestros carretes con karaoke de Taylor Swift, la idea fallida de hacer un podcast de nuestras desgracias y por sobre todo, agradezco a la vida por hacerme vivir con alguien que lea mi mente cada vez que quiero comer algo rico.

Finalmente quiero agradecer la guía y la paciencia del Profesor Adolfo que desde el 2021 me ha tenido que aguantar (es broma). Ya se lo dije a él pero lo quiero plasmar aquí, sin su ayuda no lo hubiera logrado. Le estaré siempre agradecida por enseñarme mucho más que solo teoría, por llevarme a terreno, enseñarme a trabajar como Ingeniera y por motivarme a ser cada día una mejor persona. Por fin, después de este largo camino puedo decir que estoy terminando la carrera que me gusta y me motiva a seguir adelante y mirar con optimismo lo que se viene.

## Tabla de contenido

1. Introducción .....	1
1.1 Motivación .....	1
1.2 Objetivos .....	3
1.2.1 Objetivo general .....	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
2. Metodología y Alcances.....	5
3. Marco teórico .....	7
3.1 Embalses .....	7
3.2 Presas .....	7
3.2.1 Tipos de Presa .....	8
3.2.2 Presas de Tierra .....	8
3.2.3 Presas de Gravedad de Hormigón .....	11
3.2.4 Presas de hormigón compactado con rodillo (HCR).....	15
3.3 Sistemas de Agua Potable Rural (APR) .....	22
3.4 Sustentabilidad.....	29
3.4.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	29
3.4.2 Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico OCDE .....	31
3.4.3 Ministerio del Medio Ambiente y marco institucional sobre sustentabilidad en Chile	32
4. Caracterización de los Sistemas de Agua Potable Rural (APR) de la Provincia del Limarí..	38
4.1 Sistemas de APR comuna de Río Hurtado .....	40
4.2 Sistemas de APR comuna de Ovalle.....	42
4.3 Sistemas de APR comuna de Monte Patria .....	47
4.4 Sistemas de APR comuna de Punitaqui .....	51
4.5 Sistemas de APR comuna de Combarbalá.....	53
4.6 Déficit de agua potable en los Sistemas de APR de la Provincia del Limarí .....	56
4.7 Visitas a Terreno .....	64
4.7.1 APR Cerrillos de Tamaya.....	65
4.7.2 Visitas a otros sistemas de APR de la comuna de Ovalle, Monte Patria y Combarbalá	69
4.7.3 Otras actividades en terreno .....	81
5. Definición de embalse sustentable y materialidad de la presa .....	83
5.1 Altura de la presa y tamaño aproximado del embalse .....	84
5.2 Materialidad .....	84

5.3	Impermeabilización .....	85
5.4	Construcción .....	85
5.5	Fuente del agua que será embalsada .....	86
5.6	Impactos Ambientales.....	88
5.7	Impactos sociales y participación de las comunidades .....	93
6.	Ubicación de los embalses sustentables .....	97
6.1	Comuna de Ovalle .....	97
6.2	Comuna de Punitaqui.....	98
6.3	Comuna de Combarbalá.....	99
6.4	Actividad en Terreno .....	100
7.	Diseño conceptual de embalse sustentable y construcción de la presa de HCR .....	105
7.1	Embalse Infiernillo .....	105
7.2	Embalse Lagunillas.....	118
7.3	Embalse Soruco .....	125
7.4	Embalse Majada Blanca.....	132
7.5	Embalse Angostura .....	139
7.6	Embalse Vista al Río Combarbalá.....	145
7.7	Método constructivo HCR.....	152
7.7.1	Suministros de áridos para el HCR.....	152
7.7.2	Producción del HCR.....	153
7.7.3	Sistemas de transporte del HCR.....	155
7.7.4	Colocación del HCR.....	157
7.8	Desarrollo del proyecto de embalse sustentable. ....	160
8.	Abastecimiento a comunidades.....	162
8.1	Distribución por gravedad: red de tuberías .....	162
8.2	Distribución por gravedad: canal .....	165
8.3	Sistemas colectivos de abastecimiento: embalse Valle Hermoso.....	167
8.3.1	Toma de agua o captación .....	170
8.3.2	Tratamiento del agua .....	171
8.3.3	Trazado de tuberías desde embalses hasta APRs .....	171
8.4	Sistemas de impulsión .....	174
9.	Comentarios finales y conclusiones .....	177
10.	Bibliografía.....	186
Anexo A:	Infografía del proceso de Potabilización del Agua.....	190

Anexo B: Información de la Dotación Promedio de Agua Potable de empresas concesionarias de Servicios Sanitarios Nacionales.....	191
Anexo C: Solicitud de información sobre Sistemas de APRs .....	192
Anexo D: Solicitud vía Ley de Transparencia.....	193
Anexo E: Información sobre Volúmenes de agua producidos, consumidos y pérdidas en Sistemas de APR Villaseca, comuna de Ovalle.....	194

# 1. Introducción

## 1.1 Motivación

La escasez de agua es cada vez más latente en nuestro país, y este problema se puede analizar bajo diversos factores, entre ellos el cambio climático, aumento de la demanda, la gestión y cuidado del recurso a lo largo de las diferentes zonas geográficas, el uso en actividades productivas o extractivas, etc. En el caso del norte de Chile, es innegable que esto ha afectado y es necesario contar con la infraestructura necesaria para poder almacenar, abastecer y asegurar este recurso, sobre todo en los períodos de sequía, a aquellas personas que viven alejadas de la urbe.

Por otro lado, los embalses juegan un rol particularmente importante a la hora de ser una fuente de almacenamiento y abastecimiento de agua para distintas actividades del ser humano como lo es el riego, la generación de electricidad, el consumo de agua potable, etc. Este último punto es el que motiva estudiar y encontrar la forma de poder almacenar y suministrar este recurso en aquellas zonas donde realmente es difícil el acceso al agua potable. En particular, este estudio estará enmarcado dentro de las zonas rurales de la provincia de Limarí en la región de Coquimbo. Además, se busca considerar y adoptar las medidas necesarias para desarrollarlo en armonía con las necesidades de las personas, el cuidado del medio ambiente y las factibilidades económicas, desarrollando un proyecto de embalse sustentable.

Es necesario mencionar que en Chile se está desarrollando un plan de construcción de embalses destinados a riego desde hace ya muchos años. El listado de proyectos y su estado es público y conocido. Actualmente se están construyendo los siguientes embalses para riego: Punilla (XVI Región de Ñuble), Chironta (XV Región de Arica y Parinacota) y Las Palmas (V Región de Valparaíso); y recientemente culminó la construcción del embalse Valle Hermoso (IV Región de Coquimbo).

De acuerdo con los estudios de factibilidad de algunos proyectos de embalses, la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas (DOH) también ha estudiado la posibilidad de que esos embalses sean usados para abastecimiento de agua potable rural (caso Valle Hermoso en la IV Región de Coquimbo); sin embargo, esto último no se ha materializado y se desconocen las razones.

Particularmente en la IV Región de Coquimbo, según estudios previamente realizados, se ha detectado un déficit de agua potable en comunidades rurales, y es allí donde esa agua embalsada podría ser muy útil para miles de personas.

Una alternativa, aparentemente no estudiada aún por la DOH, es el desarrollo de la idea de embalses sustentables para abastecimiento de agua potable para zonas rurales. Esto se refiere a:

- Embalses de tamaño medio a bajo, porque las capacidades de almacenamiento requeridas son sólo para agua potable. Esto implica pensar en obras de contención, o presas, de una altura no mayor a 20 [m] por ejemplo, que entran en la categoría de presas pequeñas.
- Áreas de inundación no tan extensas como los embalses destinados a riego, por la misma razón de que se requieren capacidades menores, tratándose de guardar y almacenar agua para consumo humano.

- Obras de menor o bajo impacto ambiental.
- Obras e instalaciones, que al igual que un sistema de APR pueden ser construidas por el estado y entregadas a la administración de las comunidades correspondientes.
- Asimismo, estos pequeños embalses podrían constituir lugares recreativos para las personas, tal como existen centros de este tipo y de uso comunitario.
- Además, pueden servir como obras que contribuyan a la recarga de acuíferos.
- Para tener una idea de las necesidades de agua potable en comunidades rurales, se tiene que un sistema de agua potable rural (APR) por ejemplo de 500 arranques (que sirve a 500 familias), que puede ser un tamaño tipo, requiere de una fuente que rinda 5 [lt/s] en forma continua. Esto permitiría entregar 864 [lt/día/arranque], lo que para un grupo de 3 a 5 personas por arranque implica una dotación de 247 [lt/persona/día].
- De otra forma: si se ubica y define un lugar para embalsar agua para consumo humano, su tamaño o capacidad podría ser semejante al de un estanque grande que permita almacenar agua para un determinado período. Si ese período fuera, por ejemplo:
  - Una semana, la capacidad requerida sería: 3.024 [m<sup>3</sup>]
  - Para un mes: 12.960 [m<sup>3</sup>]
  - Para un año: 156.680 [m<sup>3</sup>]

Estas capacidades son menores, en comparación a la capacidad de embalses destinados a riego actualmente en construcción. Por ejemplo:

- Embalse Chironta tiene capacidad para 17.000.000 [m<sup>3</sup>], inunda 56 [ha] y tiene una presa de tierra con pantalla de hormigón de 90 [m] de altura.
- Embalse Punilla tiene capacidad para 625.000.000 [m<sup>3</sup>], inunda 1.752 [ha] y tendrá una presa de tierra con pantalla de hormigón de 135 [m] de altura.
- Embalse Las Palmas tiene capacidad para 55.000.000 [m<sup>3</sup>] e inunda 252 [ha].

Como se puede apreciar entonces, en términos comparativos, los embalses sustentables serían de mucho menor tamaño que los que normalmente ha construido y está construyendo la DOH, y estaría vinculado a la seguridad de almacenamiento y abastecimiento que se quiera otorgar a las comunidades rurales deficitarias.

Cabe hacer notar que los estanques existentes en las comunidades rurales (APRs) tienen capacidades variables y en torno a centenas de m<sup>3</sup> ( $\approx$  300 [m<sup>3</sup>] o menos). Al respecto existe bibliografía que señala que las capacidades recomendadas estarían entre 15 a 20% del consumo o requerimiento diario. Así entonces, para el mismo caso de 500 arranques a razón de 864 [lt/día/arranque], el 20% sería 86,4 [m<sup>3</sup>], lo cual representaría el volumen del estanque requerido para ese sistema. Se estima que esto, actualmente, no es suficiente y se debe tender a aumentar la capacidad de almacenamiento por diversas razones.

Entonces, tenemos que los embalses sustentables tendrían dimensiones o capacidades entre los estanques actualmente existentes en las comunidades rurales y los embalses destinados a riego.

La definición de la ubicación de un embalse sustentable incluso puede ser independiente de la fuente de agua, porque puede haber escasez de agua dulce natural en la zona de emplazamiento, en los cursos de ríos. Entonces allí se acumulará agua que puede provenir de: embalses de riego existentes; agua desalinizada, superávits estacionales, pluviometría, etc. El tamaño facilitará el uso de terrenos disponibles y permitirá, eventualmente, impermeabilizar las áreas con geomembranas. Se estima además que puede ser conveniente usar hormigón compactado con rodillo para construir

la presa, industrializando estos procesos. Se trata entonces de ubicar zonas o sectores, en la IV Región de Coquimbo, aptos para estudiar la instalación de una batería de embalses sustentables y diseñar, a nivel de ingeniería conceptual, las obras pertinentes para el abastecimiento de agua potable a sistemas de APRs.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

El fin principal de este trabajo de título es estudiar la factibilidad técnica de implementar una solución sustentable de almacenamiento de agua para fines de consumo humano, basada en embalses formados por presas de tierra o de hormigón compactado con rodillo, amigables con el medio ambiente y que permita ser un precedente para la construcción de infraestructura sostenible en el tiempo.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para poder llevar a cabo el estudio, es necesario definir objetivos específicos que ayuden a mantener claro el objetivo general a través de un pequeño desglose que nos permita obtener los resultados esperados. En este caso, se enmarcará en 4 puntos importantes, recordando que, este se enmarca en la IV Región, específicamente en la provincia del Limarí que contempla las comunas de Río Hurtado, Ovalle, Punitaqui, Monte Patria y Combarbalá.

#### 1. Definición de embalse sustentable.

Se requiere definir en el contexto de este trabajo, a qué llamaremos embalse sustentable de acuerdo con los conocimientos adquiridos mediante la lectura bibliográfica. Esto se puede realizar considerando experiencias previas o incluso definiendo, contemplando y estudiando parámetros como lo son el tamaño del embalse, su materialidad e impermeabilización, la gestión de los impactos sobre el medio ambiente y en las comunidades junto a su respectiva participación, entre otros, que permitan la construcción de un embalse que pueda llamarse sustentable. Además, es necesario entender el concepto de sustentabilidad.

#### 2. Caracterización de los Sistemas de Agua Potable Rural (APR).

En cuanto al estudio es necesario partir por determinar que comunidades rurales presentan un déficit en el suministro de agua potable, para esto es necesario identificar los APRs de la Provincia del Limarí y exponer información que se obtenga mediante búsqueda bibliográfica y visitas a terreno, añadiendo a esto la demanda de agua de estas comunidades. Lo último implica una estimación de las capacidades que requerirían los embalses sustentables.

#### 3. Ubicación de los embalses.

Se deben escoger sitios que tengan el potencial necesario para la instalación de un embalse sustentable, y posteriormente realizar una vinculación con APRs cercanos de forma que se pueda determinar si es factible ubicar un embalse en ese lugar, de acuerdo con sus características y capacidad.

#### 4. Diseño del embalse.

Finalmente diseñar, a nivel de ingeniería conceptual, un embalse sustentable. Esto quiere decir que se estudiará la factibilidad técnica describiendo los distintos procesos y/o requerimientos de un proyecto de este estilo.

## 2. Metodología y Alcances

Para poder desarrollar del trabajo y alcanzar los objetivos planteados, se realizaron las siguientes actividades:

### 1) Investigación:

A través de la lectura bibliográfica se investigó la existencia de experiencias en embalses, de tamaño medio a bajo; y las formas de establecerlos o construirlos, su materialidad y otros aspectos relacionados. Particularmente se revisaron texto sobre diseño y construcción de presas para embalses.

### 2) Sustentabilidad:

Se revisó y analizó bibliografía para conocer los aspectos que deben manejarse o tenerse presente para realizar proyectos en el marco de la sustentabilidad.

Por otro lado, se buscó definir sustentabilidad en términos generales y bajo el contexto del trabajo a realizar. Esto implica decidir que parámetros se deben tener en cuenta para que el embalse se considere sustentable, estos serían:

- i. Altura/tamaño aproximado.
- ii. Materialidad.
- iii. Impermeabilización.
- iv. Construcción.
- v. Fuente del agua que será embalsada.
- vi. Impactos ambientales.
- vii. Impactos sociales.
- viii. Participación de las comunidades.

### 3) Caracterización de los APRs de la Provincia del Limarí:

Se buscó determinar aquellas comunidades rurales que presentan un déficit de agua potable, o presentan problemas con el suministro, y ubicarlas de forma geográfica para poder realizar un mapa y posteriormente, con esta información, ubicar los embalses sustentables. Para esto se utilizó como principal medio la caracterización de Sistemas de Agua Potable Rural existentes en toda la zona de la Provincia del Limarí, recopilando información a través de bibliografía y visitas a terreno.

### 4) Ubicación:

A través de la aplicación Google Earth Pro se buscó metódicamente lugares en donde es adecuado instalar embalses sustentables. Se obtuvieron varios sitios potencialmente óptimos para la ubicación de embalses, de los cuales se escogieron entre 6 lugares específicos para realizar el diseño a nivel de ingeniería conceptual. La discriminación se hizo principalmente por la capacidad del embalse.

### 5) Capacidad de los embalses:

Luego de ubicar los sitios de los embalses, se estudió la capacidad de estos de acuerdo con las características topográficas del lugar, obtenidas mediante un Sistema de Información Geográfica

(SIG) disponible en la web, particularmente el software Global Mapper, en conjunto con la aplicación Google Earth Pro.

Además, se estima mediante la cantidad de habitantes en cada comunidad, la demanda de agua requerida por los habitantes.

#### 6) Diseño:

A nivel de ingeniería conceptual se diseñaron embalses sustentables en lugares localizados a través de Google Earth Pro. En este paso se identificaron 4 grandes actividades que realizar:

- Definición de las obras del embalse.
- Descripción del embalse: área de inundación, volumen, etc.
- Cubicación: calcular los volúmenes de las obras principales definidas, como capacidad del embalse y volumen de la presa.
- Descripción del método constructivo considerando que las presas se realizarán con HCR.

#### 7) Abastecimiento:

En este punto se buscó sólo señalar la forma más adecuada en la que el agua embalsada llegue hasta los Sistemas de APR vinculados a los embalses sustentables. La utilidad de haber ubicado geográficamente estos sistemas y los embalses vinculándolos, es que se podrá indicar la manera de abastecer a los APR de forma gráfica mediante Google Earth Pro.

### 3. Marco teórico

En este capítulo se abordan teóricamente los conceptos que se necesitan conocer para la comprensión de este trabajo. Además, pretende mostrar antecedentes que justifiquen el tema estudiado y la propuesta de embalses sustentables.

#### 3.1 Embalses

El Código de Aguas chileno define embalse cómo aquella obra artificial donde se acopian aguas. También es definida por la Comisión Nacional de Riego (CNR) cómo la infraestructura o conjunto de obras hidráulicas que sirven para almacenar las aguas que se pierden por escurrimiento y así ser aprovechadas durante los períodos en que se origine un déficit o para aumentar la superficie regada.

La acumulación de agua es causada por la construcción de un dique o muro de presa que impide su paso o escurrimiento. Además, esta acumulación de agua se vuelve un gran depósito producido artificialmente para cumplir un fin específico, como lo es:

- La regulación del caudal de un cauce.
- El almacenamiento de agua para riego, consumo humano u otro.
- La generación de energía eléctrica.
- El uso industrial: por ejemplo, en la minería.
- El turismo.

Este tipo de infraestructura involucra:

1. El muro de presa o dique: barrera, que puede ser de distintos tipos de material, que se construye a través de un cauce para la retención o regulación del agua que circule por este.
2. Área de inundación: zona ubicada aguas arriba del muro de presa o dique, en donde es factible que se acumule el agua.
3. Obras de desviación, evacuación y toma. Esto es desviación del agua de río (u otro cauce) para la construcción del muro, evacuación de los caudales de exceso (vertedero) y desagües de medio fondo que impiden que el agua pase por arriba del muro y las obras de toma que permiten la extracción controlada de agua desde el embalse.

Para el caso en estudio, tratándose de embalses para agua de consumo humano, se considera que las obras requeridas serán de tamaño menor, por lo cual podrían asemejarse a bocatomas y por tanto no requerir obras importantes de desviación, más considerando que se emplazarán en la zona del norte chico, donde los caudales naturales son menores.

#### 3.2 Presas

Como se mencionó anteriormente, presa es la obra hidráulica que forma el embalse y permite la regulación de las aguas acumuladas. De acuerdo con esto, el libro Diseño de Pequeñas Presas aborda el diseño de presas de menor tamaño, en donde las presas o diques descritos no superan los 15 a 20 metros de altura. De este libro se extrajo información que muestra la importancia y relevancia para el diseño del embalse sustentable propuesto en la descripción de este trabajo, pues se le otorgo una definición inicial como aquel que es de tamaño medio a bajo.

Del libro se desprende que las presas se pueden separar en distintas categorías, dependiendo del objeto que persiga la clasificación.

### 3.2.1 Tipos de Presa

Clasificación de acuerdo con su uso:

- Presas de embalse: almacenar agua en períodos de abundancia y utilizarla cuando el suministro sea deficiente.
- Presas de derivación: se construyen normalmente para crear una altura de carga que permita llevar agua a través de acequias, canales o cualquier otro sistema, hasta el lugar de su utilización.
- Presas de retención: se construyen para regular las crecidas y disminuir el efecto de las avenidas. Hay dos tipos: los que embalsan temporalmente y desembalsan a través de un desagüe cuya capacidad no debe ser mayor que la del canal aguas abajo y las que almacenan el agua tanto tiempo como sea posible mientras se filtra a través de bancos permeables o estratos de grava.

Clasificación por sus características hidráulicas:

- Presas de vertedero: son aquellas que pueden verter por la coronación (deben hacerse con materiales que no se erosionen, el material más usado es el hormigón).
- Presas no vertedero: son aquellas que han sido proyectadas para que no viertan por su coronación.

Clasificación según los materiales:

- Presas de tierra.
- Presas de escollera.
- Presas de gravedad, de arco, de contrafuerte de hormigón.
- Presas de hormigón compactado con rodillo (HCR).

Se menciona también en el libro Diseño de Pequeñas Presas que para la elección del tipo de presa se deben considerar desde la planificación y el diseño la influencia de ciertos factores físicos como la topografía, la geología y las condiciones de los cimientos, la hidrología, los materiales disponibles in situ, el aliviadero, los sismos y terremotos, y por otro lado se deben tener en cuenta las consideraciones legales, económicas, estéticas y medioambientales de la presa.

Por lo anterior, se requiere de la cooperación de un equipo multidisciplinario para asegurar una planificación y diseño adecuados y económicamente viables.

### 3.2.2 Presas de Tierra

Acerca de las presas de tierra el libro detalla sólo aquellas de capas compactadas, por lo que la mayor parte del terraplén se debe construir en base a la compactación mecánica de los estratos sucesivos. Hay de distintos tipos:

- De pantalla: tipo de terraplén que se construye con material permeable (arena, grava o roca), estableciéndose una pantalla fina de material impermeable que constituye una barrera que impide el paso del agua.
- Homogéneas: Este tipo de presa se compone de material de una sola clase (excluyendo la protección de taludes). El material que forme la presa debe ser lo suficientemente impermeable como para proporcionar una estanqueidad apropiada y los taludes deben ser

relativamente horizontales para evitar desprendimientos. Este tipo de presa es recomendable en lugares donde los suelos disponibles presentan poca variación en la permeabilidad, y los diferentes materiales permeables que se pueden emplear, se encuentran en poca cantidad o a un alto costo y nunca debe ser usada si los materiales son expansibles y/o erosionables como los sedimentos o arenas finas, o están sujetos a desecación. Es por lo anterior, que siempre deben ensayarse esas características en los suelos.

- Heterogéneas o de zonas: es el tipo más común de sección de presa de tierra compactada y es aquella que tiene un núcleo central impermeable, cubierto por zonas de materiales considerablemente más permeables. Las zonas permeables cubren, soportan y protegen el núcleo impermeable.

La zona permeable de la superficie de aguas arriba proporciona estabilidad en los desembalses rápidos; y la zona permeable de la superficie de agua abajo actúa como dren para controlar la filtración y un nivel freático menor.

En cuanto a los cimientos o fundaciones de las presas el texto referenciado señala:

Estos deben proporcionar estabilidad al terraplén de la presa de tierra en todas las condiciones de saturación, carga y suficiente resistencia a la filtración para evitar pérdidas excesivas de agua.

La importancia del correcto tratamiento de la cimentación es debido al porcentaje de fallas causado por las deficiencias en los cimientos en los accidentes de presas de tierra. Para estas estructuras, la recomendación es proyectar mediante la estimación de sus características y utilizar amplios coeficientes de seguridad. El ahorro en el costo de la construcción que puede alcanzarse con un proyecto más riguroso normalmente no compensa el costo adicional de investigación, realización de ensayos e ingenieros especialistas.

Por otro lado, en el libro se detallan tres tipos de cimientos:

a) Cimientos en roca:

Suele ser el tipo de cimiento más adecuado y generalmente no presenta mayores problemas en presas de tierra. Sin embargo, este tipo de cimentación es cada vez más escaso y está justificado cuando en general la masa de roca es homogénea y resistente en las zonas que van a ser afectadas por la presa y el embalse.

Métodos de tratamiento:

Los cimientos rocosos deben ser investigados cuidadosamente para determinar su permeabilidad. Se debe considerar realizar inyecciones (introducción de un fluido sellante a presión bajo las formaciones existentes) si hay peligro de erosión por filtración o la excesiva pérdida de agua a través de las juntas, fisuras, grietas, estratos permeables o planos de fractura de la roca. Para esto, se requiere una examinación de la geología del emplazamiento y un análisis de pérdidas de agua mediante perforaciones de exploración. Además, se requiere de vasta experiencia pues cada cimentación es única.

b) Cimientos en material de grano grueso (arena y grava):

Los materiales permeables incluyen desde las arenas hasta las gravas, sin embargo, normalmente están formados por mezclas heterogéneas estratificadas. Generalmente, la cimentación de arena y

grava tiene la suficiente resistencia para soportar las cargas inducidas por la presa y el embalse, pero esto debe ser verificado por una exploración adecuada, ensayos y análisis. Por otro lado, existen dos problemas básicos en las cimentaciones permeables:

- Caudal de filtración
- Fuerzas de filtración

Métodos de tratamiento:

Se pueden emplear diversos métodos para controlar las fugas y las filtraciones. En cada caso, la necesidad de evitar las pérdidas antieconómicas de agua y la naturaleza de los cimientos en cuanto a la estabilidad contra las fuerzas de filtración se refiere, determinarán cuál es el más adecuado. Para reducir el caudal de filtración y controlar las presiones de filtración, se han empleado pantallas, tablestacas, cortinas de pilotes de hormigón in situ y combinaciones de estos métodos, así como capas de materiales impermeables que se extienden desde el pie de la presa y recubren total o parcialmente a los estribos, con el fin de permitir el paso libre de la corriente y la disipación de la presión sin que se produzca rotura de la estructura (cimientos) o pérdida de finos.

Los métodos posibles descritos en el libro son los siguientes:

- Zanjas de impermeabilización o impermeabilización parcial
- Pantallas de tablestacas
- Pantallas formadas por una cortina de lechada de cemento
- Capas impermeables ubicadas aguas arriba de la presa
- Drenajes de pie de presa, zanjas de drenaje o pozos de drenaje
- Entre otros

c) Cimientos en material de grano fino (limo y arcilla):

Las cimentaciones en suelos con gran cantidad de finos son lo suficientemente impermeables como para excluir la necesidad de colocar dispositivos que eviten filtraciones y el sifonamiento. Sin embargo, las capas de drenaje-filtro inclinadas y horizontales proporcionan una buena protección frente a condiciones geológicas desconocidas, roturas, suelos expansivos y defectos del proyecto y su construcción.

El principal problema en este tipo de cimentación es la estabilidad. Además del evidente peligro de rotura por deslizamientos de los cimientos de limos y arcillas saturados, el proyecto debe tener en cuenta el efecto de la saturación en los cimientos de la presa y estructuras anexas.

Métodos de tratamiento

Los métodos dependen del tipo de suelo, la saturación, la capa freática y el estado de compactación del suelo.

- Cimientos saturados:
  - Quitar el suelo de poca resistencia al esfuerzo cortante
  - Drenar el cimiento para aumentar la resistencia del suelo durante la construcción

- Reducir la magnitud de la superficie potencial de deslizamiento disminuyendo la pendiente de los taludes
- Cimientos relativamente secos:
 

Se debe tener en cuenta la posibilidad de asentamientos producidos por saturación. Deben realizarse ensayos del contenido de humedad y de densidad in situ de partes del terreno que se encuentren sobre la capa freática, para compararlos con los valores obtenidos en la compactación de los mismos suelos por el método Proctor. Aquellos que tengan una diferencia casi nula en el volumen de saturación, no requerirán tratamiento para presas pequeñas, de lo contrario se deben aplicar tratamientos.

### 3.2.3 Presas de Gravedad de Hormigón

Según el libro Diseño de Pequeñas Presas, una presa de gravedad de hormigón se diseña para que su propio peso proporcione una resistencia mayor que las fuerzas ejercidas sobre ella. Además, si el cimiento es adecuado y la presa se diseña y construye correctamente, será una estructura duradera que requiere un menor mantenimiento.

Por otro lado, como una alternativa a este método “tradicional” se encuentra el hormigón compactado con rodillo que se desarrolla de la misma forma que las presas de tierra, es decir, el hormigón se vierte, se extiende, y se compacta con rodillos vibratorios en capas continuas entre los estribos como si fuera tierra.

Propiedades del hormigón:

- Resistencia: normalmente, el hormigón para las presas de gravedad se diseña para soportar sólo fuerza de compresión. Sin embargo, la compresión no es la tensión crítica. Generalmente, se considera una relación 10:1 de la fuerza de compresión para evaluar en el diseño la tensión cortante y la tracción. Por consiguiente, el cortante y la fuerza de tracción del hormigón son los parámetros más importantes del proyecto, y deben hacerse los ensayos de laboratorio para determinar estos valores, sobre todo en las superficies de deslizamiento.
- Propiedades elásticas: son útiles para analizar deformaciones relacionadas con el movimiento diferencial de bloques, análisis tridimensionales, y otros aspectos relacionados con las deformaciones. Algunos factores relevantes son:
  - Módulo de elasticidad
  - Módulo dinámico de elasticidad
  - Coeficiente de Poisson
  - Flujo plástico del hormigón (fluencia)
- Propiedades térmicas: durante la construcción, el calor de hidratación del cemento debe disiparse uniformemente o debe controlarse para evitar una fisuración no deseada. La disipación uniforme se logra circulando agua fría a través de tubos encima de cada elevación durante la construcción convencional de bloques verticales. Para la evaluación de cambios de temperatura se requiere:
  - Coeficiente de expansión térmica
  - Conductividad térmica
  - Calor específico
  - Difusividad

- Propiedades medias: las propiedades del hormigón para los estudios preliminares pueden estimarse de datos publicados hasta que estén disponibles los datos de ensayos de laboratorio.

Tabla 1: Propiedades del hormigón. Fuente: Libro Diseño de Pequeñas Presas.

Propiedad	Valor
Resistencia a la compresión (estática)	210 a 350 [kg/cm <sup>2</sup> ]
Resistencia a la tracción (estática)	5 a 6% resistencia a la compresión
Resistencia a la tracción (dinámica)	10% resistencia a la compresión
Resistencia a cortante (estática)	Cohesión: 10% resistencia estática a compresión. Coeficiente de fricción interno: 1,0
Coeficiente de Poisson	0,2
Módulo estático de elasticidad	350000 [kg/cm <sup>2</sup> ]
Módulo dinámico de elasticidad	420000 [kg/cm <sup>2</sup> ]
Módulo diferido de elasticidad	210000 [kg/cm <sup>2</sup> ]
Coeficiente de expansión térmica	10 <sup>-5</sup> m/m/°C
Peso unitario	2,3 [t/m <sup>3</sup> ]
Difusividad	0,0046 [m <sup>2</sup> /h]

Fuerzas actuantes sobre la presa:

Es esencial en el proyecto de presas de gravedad el conocimiento de las fuerzas previstas que afectarán a las tensiones y estabilidad de la estructura.

Las fuerzas que deben ser consideradas son debidas a:

- Presión ejercida por el agua
- El peso de la estructura
- Fuerza de hielo
- Presión de los aterramientos
- Terremotos
- Las fuerzas de compuertas u otras estructuras accesorias
- Temperatura

Cimientos:

A continuación, se detallan las consideraciones en cimentación detalladas en el libro Diseño de Pequeñas Presas.

- Módulo de deformación:

Esto se define cómo la relación entre tensión aplicada y la deformación elástica más la inelástica.

Esto debe determinarse para cada material de la cimentación. Las deformaciones de la cimentación causadas por las cargas de la presa afectan a la distribución de tensión dentro de la presa. Por lo anterior, la investigación de la cimentación debe proporcionar información relacionada para dar con el módulo de deformación.

El módulo “in situ” normalmente se determina por las relaciones que se obtienen en laboratorio de los ensayos de los testigos del centro de sondeo y de las características de fracturación, o incluso por pruebas de cargas in situ. Como se mencionó anteriormente, el módulo “in situ” debe determinarse para cada material o para zonas de similar composición con características de fracturación diferentes, incluyendo cualquier falla o zona de cizalladura.

- Tensión cortante:

La resistencia al corte dentro de la cimentación y entre la presa y la cimentación depende de la resistencia a cortante inherente de los materiales de la cimentación y en la adherencia en el contacto entre el hormigón y la roca. Las características de la resistencia al corte pueden determinarse en los ensayos de laboratorio, en las pruebas “in situ”, en los exámenes de campo, y del posterior cálculo de pendientes. Además, se debe considerar la evaluación de las propiedades de resistencia a cortante de juntas, juntas de infiltración, fallas, cortes, uniones, cubiertas, estratos y de otras estructuras geológicas débiles.

- Configuración del cimientto:

Los factores más importantes para la estabilidad de la estructura son el espesor de la cimentación de la presa y la pendiente del contacto del hormigón con la roca. Transversalmente, el contacto de la cimentación o debe estar horizontal o preferentemente, inclinándose aguas arriba.

El espesor transversal es normalmente determinado por la dimensión necesaria para que la estructura satisfaga la tensión y los requisitos de estabilidad.

Longitudinalmente, el perfil debe variar suavemente sin cambios bruscos para minimizar las concentraciones de tensiones.

Condición de estabilidad:

A continuación, se detallan las condiciones de estabilidad detalladas en el libro Diseño de Pequeñas Presas.

- Coeficiente de seguridad:

Todas las cargas usadas en el proyecto deben ser elegidas para representar, con tanta precisión como sea posible, las cargas reales que se darán durante la operación de la estructura, de acuerdo con los criterios de “combinaciones de carga”.

Los métodos para determinar la capacidad de resistencia de las cargas sobre la presa deben ser los más precisos que estén disponibles. Todas las incertidumbres con respecto a las cargas o la capacidad de carga deben resolverse hasta donde sea factible con ensayos de campo, de laboratorio y mediante una exploración e inspección completa de la cimentación. Así, el coeficiente de seguridad debe ser valorado, con tanta precisión como sea posible, evaluando la capacidad de la estructura de resistir las cargas aplicadas.

Los coeficientes de seguridad en las presas de gravedad están basados en el uso del método del análisis de la estabilidad por gravedad, y para la estabilidad al deslizamiento de la cimentación se basa en la hipótesis de una distribución uniforme de tensiones en la superficie analizada. Una presa

de gravedad de hormigón debe diseñarse para resistir, con un amplio coeficiente de seguridad las tensiones internas y el fallo a deslizamiento dentro de la presa y cimentación.

- Tensión de compresión.
- Tensión de tracción.
- Estabilidad al deslizamiento.

Análisis tensional y de estabilidad:

Respecto al análisis tensional y estabilidad de la presa, el libro Diseño de Pequeñas Presas detalla lo siguiente.

- Estabilidad al deslizamiento:

En la mayoría de los casos es suficiente aplicar el método de análisis de bloque rígido, sin embargo, el método de los elementos finitos debe utilizarse para los casos en los que no se espera que tenga una distribución de tensión uniforme a lo largo de la superficie potencial de rotura.

Para evaluar la estabilidad al deslizamiento en la cimentación debe investigarse la orientación y continuidad de juntas, fallas y fisuras para ayudar a identificar los bloques de la piedra y las formas potenciales de inestabilidad.

En caso de no alcanzar valores recomendados del coeficiente de seguridad se recomienda:

- Modificar la presa
- Aumentar la resistencia del hormigón
- Instalar cables de postensado

Para seleccionar la alternativa apropiada se debe tener en cuenta la viabilidad específica en el emplazamiento y el costo de aplicación.

En cuanto a mejorar la estabilidad de cimentación, existen varios métodos:

- Drenaje.
- Cables postensados y bulones (pernos) en la roca.
- Tensión interna – secciones sin fisuración.

En la mayor parte de las presas de gravedad, pueden determinarse adecuadamente las tensiones interiores en una sección transversal utilizando el método de análisis por gravedad, aplicable en el caso más general de una sección de gravedad con una cara vertical aguas arriba y talud constante aguas abajo, pero también en situaciones donde hay un talud variable en una o en ambas caras.

Por otro lado, las tensiones internas pueden ser calculadas por el método de análisis estático para determinar la distribución de tensión a lo largo del plano horizontal dentro de la presa.

Los métodos enunciados, no pueden ser aplicados cerca de la base en donde los materiales de cimentación pueden influir en los resultados o en el comportamiento tridimensional, por lo que, en donde sea necesario (a juicio de un ingeniero experimentado) debe utilizarse el método de los elementos finitos para verificar las tensiones en las superficies cerca de la base de la presa.

- Tensión interna y estabilidad al deslizamiento – secciones fisuradas.

Las secciones de presas de gravedad con grieta requieren que se analice tanto la tensión como la grieta. El proceso del análisis incluye la determinación de la profundidad de la grieta y la distribución de tensiones resultantes en la longitud no fisurada. Sin tener en cuenta el método para determinar la profundidad de la grieta, deben ser verificadas la tensión y criterio de estabilidad en la parte no agrietada.

#### 3.2.4 Presas de hormigón compactado con rodillo (HCR)

Según la ACI (2011) el hormigón compactado con rodillo (HCR) es probablemente el desarrollo más importante en tecnologías de presas de hormigón del último cuarto de siglo. Su uso ha permitido que muchas presas nuevas sean económicamente viables debido a la reducción de costos que supone este método de construcción rápida. También, ha proporcionado a los ingenieros de diseño la oportunidad de rehabilitar, económicamente hablando, presas de hormigón existentes que presentan problemas de estabilidad y requieren refuerzos, y ha mejorado presas de terraplén (presas de tierra) con una capacidad de aliviadero inadecuado al proporcionar un medio por el que se puede desbordar con seguridad.

Según la ACI (2000) el hormigón compactado con rodillo es aquel “...que en estado no endurecido soportará un rodillo mientras es compactado”.

Por otro lado, la ACI (2011) menciona que el HCR se suele mezclar con equipos de mezcla continua de alta capacidad o equipos de dosificación, es entregado mediante camiones o cintas transportadoras y se esparce con bulldozer antes de la compactación con rodillos vibratorios. También, que debido a la consistencia del HCR (cono cero), las capas siguientes de hormigón pueden colocarse inmediatamente después de la compactación de la capa anterior. Finalmente, se menciona que el HCR puede utilizar una gama más amplia de materiales que el hormigón convencional, y obtiene su resistencia y durabilidad de una filosofía de mezcla que se basa en el uso de un volumen de mortero suficiente para rellenar los vacíos entre las partículas de áridos y no más contenido de agua que el necesario para una adecuada trabajabilidad.

### 3.2.4.1 Ventajas y desventajas del hormigón compactado con rodillo según la ACI (2011):

Tabla 2: Ventajas y desventajas del HCR. Fuente: ACI 207.5R-11 Report on Roller-Compacted Mass Concrete.

Ventajas	Desventajas
Reducción de costos.	El HCR puede no ser apropiado cuando los materiales (áridos) no estén razonablemente disponibles.
Reducción de tiempos de construcción.	Puede no ser apropiado cuando la roca de cimentación es de baja calidad o no está cerca de la superficie, o cuando las condiciones de cimentación conducen a un asentamiento diferencial excesivo.
Menores costos de aliviadero.	
La tecnología se puede aplicar rápidamente (lo cual sirve para casos de emergencia).	
En comparación con las presas de tierras, son más ventajosos cuando los requisitos de desvío de ríos y aliviadero son grandes, o donde la roca de cimentación apropiada está cerca de la superficie y cuando se dispone de los áridos cerca del emplazamiento.	
Reducción de los requisitos de las ataguías porque, una vez iniciada, una presa de HCR se puede desbordar con un impacto mínimo, y la altura de la presa de HCR puede superar rápidamente la altura de la ataguía.	

A lo anterior, la ACI (2011) agrega que en ciertas ocasiones es difícil que una presa de HCR compita con una presa de tierra, a menos que la presa se encuentre en una gran cuenca hidrográfica. Esto porque para grandes caudales, muchas presas de tierra requieren un gran aliviadero de hormigón armado convencional que puede ser más costoso que la misma presa. Las presas de HCR pueden ser competitivas porque el flujo puede pasar por sobre la presa en la zona de aliviadero sin generar daños o retrasos en su construcción.

Además, cada tipo de material y diseño de HCR tiende a tener ventajas y desventajas, y funciona mejor en algunas áreas que en otras. Esto incluye la filtración, endurecimiento in-situ y las propiedades como las juntas de elevación (juntas horizontales entre capas de HCR que se producen entre ciclos de colocación del hormigón), el agrietamiento y la durabilidad.

### 3.2.4.2 Dosificación de la mezcla de Hormigón Compactado con Rodillo.

Respecto a los métodos de dosificación de la mezcla y los objetivos del HCR la ACI (2011) describe que difieren de los del hormigón convencional. El HCR debe mantener una consistencia que soporte un rodillo vibratorio y los vehículos de transporte, y también ser adecuado para la compactación por un rodillo vibratorio u otros métodos externos. La clasificación de los áridos y el contenido de mortero son elementos críticos en la proporción de la mezcla.

Los requerimientos son usualmente para el sitio en particular, teniendo en cuenta los criterios de rendimiento de la estructura y se basan en el enfoque del diseñador, los criterios de diseño y el grado deseado de control del producto. Independientemente de las especificaciones del material seleccionado o del método de dosificación de la mezcla, los ensayos y la evaluación de lotes de ensayos de laboratorio son esenciales para verificar las propiedades del hormigón fresco y endurecido.

El contenido de material cementante para las presas de HCR ha variado en un amplio rango, desde 59 [kg/m<sup>3</sup>] hasta más de 297 [kg/m<sup>3</sup>]. Muchos de estos proyectos de HCR han utilizado un contenido de material cementante entre 105 y 180 [kg/m<sup>3</sup>] produjeron en promedio una resistencia a la compresión entre 14 y 21 [MPa] a una edad entre 90 días y un año.

El volumen de mortero es un elemento esencial en la proporción del HCR. Este debe llenar o casi llenar todos los huecos entre los áridos y producir una mezcla de hormigón compactable y densa, también debe ser suficiente para producir adherencia y estanqueidad en las juntas horizontales cuando se coloque la mezcla y se compacte rápidamente sobre una junta razonablemente fresca. Las mezclas que contienen una baja cantidad de materiales cementantes pueden requerir la adición de cantidades específicas de áridos finos no plásticos para complementar la fracción de mortero en el relleno de vacíos entre áridos.

#### 3.2.4.3 Materiales

A continuación, se presenta la descripción de materiales para la mezcla de Hormigón Compactado con Rodillo según lo expuesto por la norma ACI (2011):

Se han utilizado una amplia gama de materiales en la producción de Hormigón Compactado con Rodillo, orientaciones sobre esto se pueden encontrar en la norma ACI 207.1R que pueden aplicarse al HCR. Las restricciones de materiales son a menudo menos exigentes, por lo tanto, es posible otra calidad de materiales y posteriormente otras características de rendimiento. El diseñador, como siempre, debe evaluar los materiales disponibles para el proyecto en particular y las proporciones consideradas, diseñar la estructura en consecuencia y proporcionar las especificaciones de construcción apropiadas.

➤ Materiales cementantes:

*Tabla 3: Materiales cementantes. Fuente: ACI 207.5R-11 Report on Roller-Compacted Mass Concrete.*

<b>Material</b>	<b>Descripción</b>
Cemento Portland	<p>El HCR puede ser hecho con cualquiera de los tipos básicos de cemento portland como los que se encuentran en la ASTM C150/C150M, C595/C595M, C1157/C1157M, y las normas aplicables de la ASHTOO.</p> <p>Para aplicaciones en masa, los cementos con una menor generación de calor son deseables para controlar o reducir el agrietamiento térmico.</p> <p>Una mayor generación de calor puede requerir una menor separación de las juntas para el control de las grietas.</p> <p>La generación de calor debido a la hidratación del cemento se controla normalmente mediante el uso de cementos de menor calor de hidratación, el uso de menos cemento, la sustitución de una parte del cemento por puzolana o una combinación de estos.</p> <p>La selección del tipo de cemento debe tener en cuenta los aspectos económicos de su adquisición. Para los proyectos pequeños y medianos, puede no ser rentable especificar un cemento de baja temperatura que no esté disponible localmente.</p> <p>En consecuencia, la selección del cemento para colocación de hormigón debe ser investigado y confirmado a fondo antes de ser seleccionado para un programa de dosificación de la mezcla en laboratorio y específico para un proyecto.</p> <p>Puede ser necesario prestar atención en asegurar suministro continuo de cemento al proyecto.</p>
Puzolanas	<p>La selección de una puzolana adecuada para el HCR debería basarse en su conformidad con la norma ASTM C618.</p> <p>Las puzolanas que cumplen con las especificaciones de la ASTM C618 son Clase C, Clase F y Clase N, todas utilizadas con éxito en HCR.</p> <p>Se prefieren las Clases F y N, porque normalmente aportan menos calor de hidratación que las de Clase C.</p> <p>Para la Clase C es necesario prestar atención al tiempo de fraguado, a la resistencia al sulfato y al contenido de cal libre.</p> <p>El uso de puzolana dependerá del rendimiento requerido del material, así como su coste y disponibilidad,</p> <p>La puzolana en las mezclas de HCR sirven para:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sustitución parcial de cemento para reducir la producción de calor.</li> <li>- Sustitución parcial de cemento para reducir costos.</li> <li>- Aditivo para proporcionar finos suplementarios para trabajabilidad de la mezcla y el volumen del mortero.</li> </ul> <p>En mezclas de HCR con bajo contenido de cemento, se ha utilizado puzolana para garantizar una cantidad adecuada de mortero para rellenar los espacios vacíos entre áridos y recubrir las partículas de estos.</p> <p>Aunque la puzolana mejora el volumen de mortero de las mezclas, puede no mejorar el desarrollo de resistencia al largo plazo si es que tiene baja reactividad.</p>

➤ Agregados:

En la construcción de presas de HCR se han utilizado con éxito tanto áridos similares a los utilizados en el hormigón convencional como áridos que no cumplen las normas o requisitos

normales del hormigón convencional (áridos marginales). Se ha comprobado que el uso de áridos gruesos manufacturados (piedra triturada) reduce la tendencia a la segregación en comparación con la grava redondeada. En algunos proyectos se han utilizado este tipo de áridos debido a que estaban disponibles cerca de la obra y eran los más económicos. Si resulta práctico, los áridos de menor calidad pueden utilizarse al interior de las presas, donde pueden ser encapsulados por hormigón de mayor calidad, especialmente en zonas de congelación y descongelación.

Los límites de los requisitos físicos y de los materiales nocivos para los áridos que se utilizarán en el HCR para una aplicación específica deberían establecerse antes de la construcción, basándose en el rendimiento requerido del hormigón y en las evaluaciones demostradas en campo y de laboratorio.

Por otro lado, la mineralogía de los finos tiene un efecto significativo sobre la demanda de agua y la trabajabilidad del HCR. La cantidad permitida de finos en las mezclas de HCR para la colocación en masa debería, por tanto, determinarse en función del árido más disponible y económico que produzca el hormigón compactado con rodillo que cumpla los requisitos estructurales del proyecto.

Un objetivo básico en la dosificación de cualquier hormigón es incorporar la máxima cantidad de áridos y la mínima cantidad de agua en una mezcla trabajable, reduciendo así la cantidad de material cementante y en consecuencia reduciendo el cambio de volumen del hormigón. La combinación adecuada de materiales debe dar lugar a una mezcla que consiga las propiedades deseadas con un mortero y contenido mínimo de cemento adecuados. Sin embargo, el potencial de segregación y los medios de compactación deben ser consideraciones primordiales a la hora de seleccionar el tamaño máximo del árido.

Por último, la granulometría combinada<sup>1</sup> de los áridos debe seleccionarse para minimizar la segregación. La clave para controlar la segregación y proporcionar una buena mezcla compactable es tener una granulometría que sea consistente y que contenga más material que pase por el tapiz n°4 (tamaño 4,75 mm) que el típico hormigón convencional. En el hormigón convencional, la presencia de cualquier cantidad significativa de partículas planas y alargadas suele ser indeseable, sin embargo, en el HCR parece ser menos afectado por este tipo de partículas porque la compactación vibratoria proporciona más energía que la consolidación tradicional.

---

<sup>1</sup> Según la ACI (2013) es la distribución de los tamaños de partícula de una mezcla de agregado fino y grueso.

Tabla 4: Tipos de agregados. Fuente: ACI 207.5R-11 Report on Roller-Compacted Mass Concrete.

Tipo de agregado	Descripción
Gruesos	<p>La selección del tamaño máximo nominal del árido (<math>D_n</math>) debe basarse en la necesidad de reducir los requerimientos de material cementante, controlar la segregación, economizar la producción de agregados y facilitar la compactación.</p> <p>La mayoría de los proyectos de HCR han utilizado un tamaño máximo nominal del árido de 37,5 a 75 [mm].</p>
Finos	<p>La clasificación del agregado fino influye en los requisitos de mortero y en la compactabilidad del HCR (incluso puede influir en el número de pasadas de un rodillo vibratorio necesarios para la compactación completa de un espesor de capa determinado).</p> <p>La función principal de los finos suplementarios, material que pasa el tamiz n°200 (tamaño 75 [µm]), es reducir el volumen de vacíos en los agregados finos sin aumentar significativamente la demanda de agua de la mezcla de HCR.</p> <p>Puede utilizarse la clasificación de áridos finos ASTM C33/C33M.</p> <p>Dependiendo del volumen de material cementante y del <math>D_n</math>, el total requerido de finos bajo malla200 puede ser hasta el 10% de la masa total del agregado.</p> <p>Los finos llenan el espacio vacío de los agregados, proporcionan una consistencia compactable, ayudan a controlar la segregación y disminuyen la permeabilidad.</p> <p>Las adiciones excesivas de finos después de rellenar los vacíos son perjudiciales para la mezcla de HCR debido a la disminución de trabajabilidad, el aumento de demanda de agua y en consecuencia la pérdida de resistencia.</p> <p>Por último, se debe considerar la naturaleza del fino.</p>

➤ Aditivos químicos:

Los aditivos químicos se utilizan en las mezclas de HCR para cambiar las propiedades de fraguado y, en algunos casos, producir un cambio en el contenido de agua. La eficacia de los aditivos químicos puede depender de la trabajabilidad de la mezcla, la granulometría de los áridos y el tipo de material cementante. Los aditivos químicos en el HCR, comúnmente se utilizan para retardar en tiempo de fraguado y reducir las juntas frías para mejorar la adherencia entre capas sucesivas.

La ACI (2011) menciona que:

- Los aditivos químicos más utilizados son los tipos A (reductores de agua) y D (reductores de agua y retardadores) de la norma ASTM C494-C494M. Los aditivos reductores de agua, usado en dosis muy altas, han demostrado reducir la demanda de agua, aumentar la resistencia, retardar el fraguado y la trabajabilidad de algunas mezclas de HCR
- Por otro lado, los aditivos aireantes no se utilizan habitualmente en las mezclas de HCR debido a la dificultad de generar vacíos del tamaño y distribución adecuados cuando la mezcla tiene una alta consistencia.
- La resistencia a la congelación y descongelación mejoran con la incorporación de aire. Sin embargo, para añadir aire se necesita una consistencia Vebe de menos de  $\approx 20$  [s] y los agregados deben estar libres de exceso de finos.

#### 3.2.4.4 Consideraciones de diseño

Las consideraciones fueron estudiadas de la norma ACI 207.5R-11 y se entregan los detalles más relevantes en el siguiente resumen.

El diseño de la estructura debe equilibrar el uso de los materiales disponibles, la selección de las características estructurales y los métodos de construcción.

- Cimientos: los cimientos que son adecuados para el hormigón masivo convencional también son adecuados para el HCR con propiedades similares. Las técnicas de construcción de bajo costo y las propiedades de los materiales de HCR hacen que sea práctico y económico utilizar una base más amplia y detalles especiales de diseño para acomodar cimientos que, de otro modo, serían inadecuados.
- Estructuras empotradas: es preferible ubicar desagües o desvíos de manera que no interfieran con el desarrollo general de colocación de HCR y que no provoquen agrietamiento dentro de la presa. Los desagües empotrados colocados en una zanja excavada que se rellena con hormigón pobre son ideales, sin embargo, otra ubicación podría ser en contacto con los estribos, especialmente si son empinados. Algunas presas de HCR se construyen con un sistema de cinta transportadora que se apoya en pilares (idealmente ubicadas aguas arriba de cara a la presa para evitar agrietamientos) que requieren una zapata considerable. Finalmente, se deberían evitar las rampas de hormigón a menos que se aborde adecuadamente su impacto en cuestiones de diseño, tal como la tensión y restricción térmica, potencial de propagación de la cara de la rampa como una grieta en el HCR, etc.
- Hormigón de nivelación: Algunos proyectos de HCR utilizan esto para cubrir los cimientos y proporcionar una base lisa desde la cual comenzar la colocación, sin perjuicio de lo anterior, otros proyectos parten directamente de los cimientos. El adecuado depende netamente de las condiciones del proyecto. El hormigón de nivelación simplifica el inicio de la colocación del HCR y su tasa de producción inicial, pero requiere un tiempo considerable de construcción, es costoso y tiene propiedades distintas a las del HCR.

#### 3.2.4.5 Consideraciones de la sección de la presa

Las consideraciones fueron estudiadas de la norma ACI 207.5R-11 y se entregan los detalles más relevantes en el siguiente resumen.

El diseño de la estructura debe equilibrar el uso de los materiales disponibles, la selección de las características estructurales y los métodos de construcción. Cada método debe considerarse en el contexto de los demás factores.

La sección básica de gravedad con una cara vertical aguas arriba, pendiente constante aguas abajo en la parte superior de la presa, se ha usado para muchas presas de HCR.

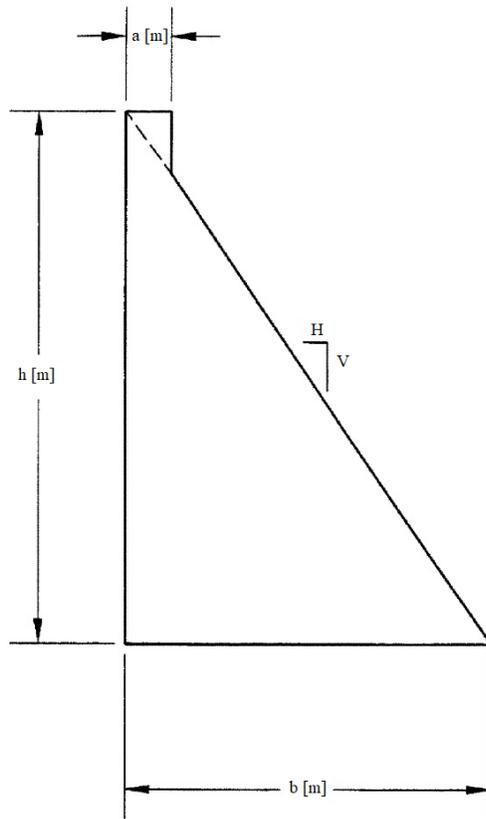


Ilustración 1: Sección presa típica de HCR. Fuente: ACI 207.5R – 11.

Para el caso de pequeñas presas de HCR sobre cimientos de suelo o permeables requieren tener en cuenta el asentamiento diferencial, la filtración, las tuberías y la erosión en la base aguas abajo.

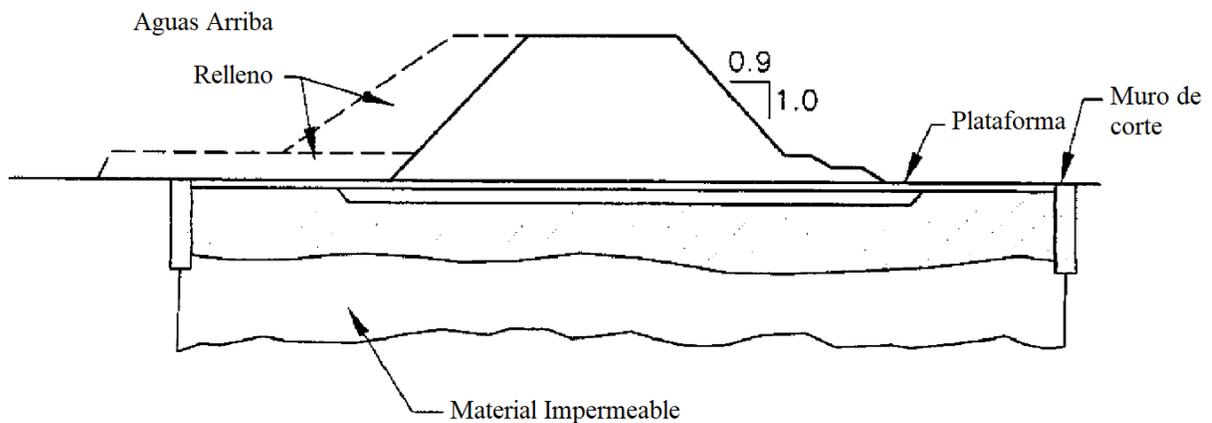


Ilustración 2: Sección presa baja típica de HCR sobre fundaciones en suelos no – rocosos. Fuente: ACI 207.5R – 11.

### 3.3 Sistemas de Agua Potable Rural (APR)

El programa de Agua Potable Rural (APR) de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), perteneciente al Ministerio de Obras Públicas (MOP), tiene por misión abastecer de agua potable a localidades rurales, contribuyendo al desarrollo económico y a la integración social del país (Dirección de Obras Hidráulicas, s.f.).

Sus objetivos, según la DOH, son:

- Dotar de agua potable a la población rural, según calidad, cantidad y continuidad de acuerdo con la normativa chilena vigente (NCh 409 Of. 84).
- Obtener de los beneficiados una participación responsable y permanente, para que sea la propia comunidad organizada quien efectúe la administración del servicio una vez construido.

Este programa nace en Chile en el año 1964, con la adopción del Plan Básico de Saneamiento Rural, a partir de la resolución de la XIIª Asamblea Mundial de la Salud, del año 1959 que estableció como prioritario el abastecimiento público de agua y el acuerdo “Carta de Punta del Este” del año 1961 firmada por los Ministros de Salud de América Latina, que estableció como meta el abastecimiento de agua potable al 50% de la población rural, en la década de 1960-1970 (Dirección de Obras Hidráulicas, s.f.).

A través del programa se provee de infraestructura de agua potable rural a localidades rurales concentradas y semi-concentradas<sup>2</sup> cumpliendo los requisitos establecidos en la metodología de formulación y evaluación de proyectos de agua potable rural del Ministerio del Desarrollo Social. Dicha infraestructura es entregada para su administración, operación y mantención a los respectivos comités<sup>3</sup> o cooperativas<sup>4</sup> de APR preexistentes o constituidos al efecto; realizándose la mantención e inversiones en mejoramiento y ampliación a los sistemas que así lo vayan requiriendo. Además, a través de concesionarios de servicios sanitarios se brinda asesoría, capacitación y supervisión a los citados comités y cooperativas en apoyo al desempeño de sus funciones (Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas, 2015).

Chile, según información del último censo<sup>5</sup> realizado el año 2017, tiene una población total aproximada de 17.5 millones de habitantes de los cuales por lo menos un 12% habita en áreas rurales. De un total aproximado de 6.5 millones de viviendas censadas, las que se encuentran en zonas rurales son aproximadamente un 15%.

En la siguiente tabla se expone en detalle lo mencionado anteriormente.

---

<sup>2</sup> Según la DOH los criterios técnicos que diferencian a las localidades, desde el punto de vista de viviendas por kilómetros de redes de distribución necesarias en los sistemas de APR son los siguientes: Las localidades concentradas son aquellas con 15 o más viviendas por km de red y población superior a 150 habitantes (pero menor a 3000 habitantes); las localidades semi-concentradas son aquellas con entre 8-15 viviendas por km de red y entre 80-150 habitantes y por último, las localidades dispersas son aquellas con densidad inferior a 8 viviendas por km de red y población inferior a los 80 habitantes.

<sup>3</sup> Según la Ley 20998 un comité de servicio sanitario rural es una organización comunitaria funcional, constituida y organizada conforme a las leyes respectivas, sobre Juntas de Vecinos y demás organizaciones comunitarias, a la que se le otorgue una licencia de servicio sanitario rural.

<sup>4</sup> Según la ley 20998 una cooperativa de servicio sanitario rural es la persona jurídica constituida y regida por la Ley General de Cooperativas, titular de una licencia de servicio sanitario rural. Estas cooperativas no tendrán fines de lucro.

<sup>5</sup> “Es el conteo y caracterización de todas las viviendas y habitantes del territorio nacional en un momento determinado” según el INE.

Tabla 5: Población chilena censada el año 2017. Fuente: Censo 2017

Área	Población total censada	Viviendas totales censadas	Viviendas particulares censadas con moradores presentes (hogares)
<b>Urbana</b>	15,424,263	5,533,945	4,815,675
<b>Rural</b>	2,149,740	965,410	692,766
<b>Total</b>	<b>17,574,003</b>	<b>6,499,355</b>	<b>5,508,441</b>

Es necesario diferenciar aquellas viviendas que al ser censadas se encuentran habitadas porque a partir de esas viviendas se tiene información del total de hogares que tienen acceso al agua mediante red pública, pozo o norias, camiones aljibes, cauces naturales, etc.

Tabla 6: Información del origen del agua potable en las viviendas censadas. Fuente: Censo 2017.

Área	Red pública	Pozo o noria	Camión Aljibe	Río, vertiente, estero, canal, lago, etc.	Origen de agua ignorado
<b>Urbana</b>	4,723,108	28,326	21,448	9,154	33,639
<b>Rural</b>	363,383	190,677	49,831	83,768	5,107
<b>Total</b>	<b>5,086,491</b>	<b>219,003</b>	<b>71,279</b>	<b>92,922</b>	<b>38,746</b>

Del cuadro anterior se tiene que las viviendas sin conexión a red pública en Chile totalizan 421.950.

Las estimaciones de habitantes por vivienda varían entre 3 a 4 personas, lo cual implica que la población sin conexión a red estaría entre 1.265.850 y 1.687.800 personas. La fundación Amulén estima que son más de 1.000.000 las personas sin acceso a red de agua potable. Independientemente de cuál sea el número más preciso y ajustado a la realidad, es posible entender que existe un problema importante a resolver.

Con la información del censo 2017, se pueden visualizar los datos correspondientes a cada región del país, y más específicamente a la IV Región de Coquimbo principalmente en la Provincia del Limarí que es el sector en el cual se enmarca este estudio.

Tabla 7: Información del origen del agua potable en las viviendas censadas IV Región de Coquimbo. Fuente: Censo 2017

Región	Área	Población total censada	Hogares censados	Acceso al agua mediante				
				Red pública	Pozo o noria	Camión Aljibe	Río, vertiente estero, canal, lago, etc.	Origen de agua ignorado
<b>Coquimbo</b>	<b>Urbana</b>	615,116	188,148	184,019	866	1,586	289	1,388
	<b>Rural</b>	142,470	47,157	30,687	6,141	7,265	2,639	425
	<b>Total</b>	<b>757,586</b>	<b>235,305</b>	<b>214,706</b>	<b>7,007</b>	<b>8,851</b>	<b>2,928</b>	<b>1,813</b>

Tabla 8: Información del origen del agua potable en las viviendas censadas comunas de la Provincia del Limarí. Fuente: Censo 2017

Comuna	Área	Población total censada	Hogares censados	Acceso al agua mediante				
				Red pública	Pozo o noria	Camión Aljibe	Río, vertiente estero, canal, lago, etc.	Origen de agua ignorado
Ovalle	Urbana	87,539	26,798	26,376	59	110	57	196
	Rural	23,733	7,896	5,235	951	1,473	173	64
Monte Patria	Urbana	15,338	4,827	4,691	14	80	8	34
	Rural	15,413	5,419	4,382	295	433	251	58
Combarbalá	Urbana	5,998	2,098	2,046	12	15	8	17
	Rural	7,324	2,793	1,620	434	537	171	31
Punitaqui	Urbana	5,848	1,914	1,737	62	92	6	17
	Rural	5,108	1,844	751	494	449	133	17
Río Hurtado	Urbana	0	0	0	0	0	0	0
	Rural	4,278	1,687	1,435	61	82	80	29
<b>Total Provincia</b>	Urbana	<b>114,723</b>	<b>35,637</b>	<b>34,850</b>	<b>147</b>	<b>297</b>	<b>79</b>	<b>264</b>
	Rural	<b>55,856</b>	<b>19,639</b>	<b>13,423</b>	<b>2,235</b>	<b>2,974</b>	<b>808</b>	<b>199</b>
<b>Total Provincia</b>		<b>170,579</b>	<b>55,276</b>	<b>48,273</b>	<b>2,382</b>	<b>3,271</b>	<b>887</b>	<b>463</b>

Sumando la cantidad total de viviendas en la provincia que presentan acceso al agua de forma diferente a la conexión a red pública, se desprende que 7.003 hogares de la Provincia del Limarí no cuentan con una fuente de abastecimiento de agua potable segura y continua, proveída por una red de agua potable, teniendo que recurrir a otras formas de abastecimiento cómo lo son los pozos o norias, camiones aljibes, ríos, vertientes, esteros, canales o lagos y otras fuentes que se desconocen.

Del total anterior, se tiene que en la ruralidad, las viviendas no conectadas a red de agua potable, en la provincia de Limarí, son 6.216 que representan un universo de personas entre 18.648 y 24.864.

Y tal cómo se menciona en el informe Pobres de Agua de la Fundación Amulén del año 2019 “Esta carencia puede afectar el desarrollo en múltiples dimensiones como son lo económico, la salud, la educación y la equidad de género.”

Para efectos de este trabajo en particular, se utilizará el dato oficial entregado por los resultados del Censo del año 2017 que muestra un promedio de 3,1 personas por hogar, cifra que se considerará de aquí en adelante para estimar población atendida por Sistemas de Agua Potable Rural.

Según la información expuesta por Amulén en 2019 de las 347 comunas de Chile, 194 registran un índice de pobreza multidimensional y una carencia de agua mayores que al promedio nacional.

Además, se puede ver que las viviendas pobres multidimensionalmente y carentes de agua se distribuyen a nivel nacional tal cómo se muestra en la Ilustración.

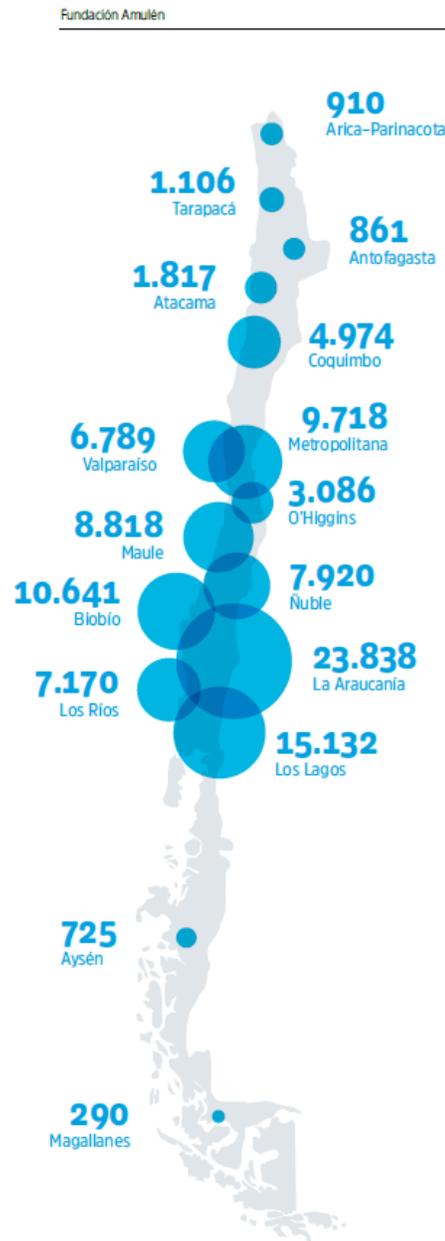


Ilustración 3: Viviendas pobres multidimensionalmente y carentes de agua distribuidas a nivel nacional. Fuente: elaboración de la Fundación Amulén informe Pobres de Agua 2019.

Donde se observa que en la Región de Coquimbo 4,974 viviendas presentan estas características. Por otro lado, se menciona que “La respuesta de cómo las zonas sin agua potable en Chile enfrentan esta situación se puede dividir en dos grandes verticales: las comunidades de población semi-

concentrada que tienen o no sistemas de APR y las comunidades dispersas, que son aquellas de baja densidad poblacional, con muy bajas o nulas posibilidades de tener este recurso básico.”<sup>6</sup>

Entonces, las localidades semi-concentradas o acceden al agua potable mediante sistemas de APR o en caso contrario deben recurrir a los mismos métodos que las comunidades dispersas: pozos, ríos, camiones aljibes u otro. El estudio realizado por la Fundación asegura que el 41% de las localidades semi-concentradas cuentan con la cobertura por red, y que además existe inversión estatal que busca una cobertura universal en este sector para los próximos años.

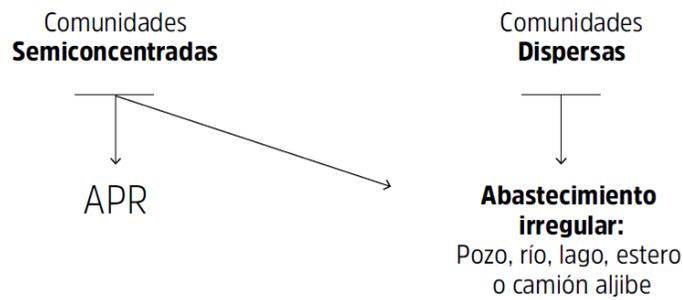


Ilustración 4. Fuente: elaboración de la Fundación Amulén informe Pobres de Agua año 2019.

Sin embargo, “en ambos casos se presentan problemas de abastecimiento. Las comunidades semi-concentradas que tienen sistemas de APR han tenido fallas o cortes en sus suministros, lo que ha afectado a los beneficiarios de estos sistemas. Estas fallas se deben principalmente a falta de mantenimiento, pero también a cambios en las condiciones climáticas.” (Amulén, 2019).

Hasta el año 2019, Chile tenía un total de 1,875 APRs en todo su territorio, en donde abastecen a cerca de 1,787,916 habitantes. En la Ilustración, extraída del informe Pobres de Agua, se puede ver en detalle la población cubierta en cada región.

---

<sup>6</sup> En el informe se menciona que “Según el Programa de APR del MOP, el abastecimiento de agua en las localidades concentradas está resuelto, teniendo un 100% de cobertura.”

## Cobertura agua potable población rural

Región	APR (N°)	Edad promedio APR (años)	Población rural con agua potable (N°)	Densidad poblacional (hab/km <sup>2</sup> )	Cobertura agua potable población rural (%)
Arica-Parinacota	27	18,1	16.348	14,17	42,0
Tarapacá	22	15,2	15.176	7,94	50,3
Antofagasta	15	16,3	12.592	4,94	57,1
Atacama	40	20,7	17.140	4,16	53,9
Coquimbo	192	26,0	158.192	19	65,7
Valparaíso	165	27,0	212.984	111,35	65,6
Metropolitana	109	26,5	185.904	474,9	58,8
O'Higgins	220	28,2	277.156	56,07	86,2
Maule	288	25,1	280.192	34,4	67,3
Ñuble	127	21,2	68.505	33,5	46,6
Biobío	88	22,2	57.620	64,38	32,4
La Araucanía	226	19,0	161.616	31,08	28,8
Los Ríos	117	13,8	84.252	17,31	38,1
Los Lagos	186	13,8	127.812	21,94	36,2
Aysen	42	20,7	24.140	0,99	51,7
Magallanes	11	16,4	3.292	1,24	41,6
<b>Total</b>	<b>1.875</b>	<b>20,6</b>	<b>1.787.916</b>		<b>52,8</b>

Fuente: INE, 2017; Base datos Programa APR.

*Ilustración 5: APRs Chile. Fuente: elaboración de la Fundación Amulén en su informe Pobres de Agua año 2019.*

Según se detalla en el informe de la Fundación Amulén a nivel nacional un 80% de los APR cuenta con una alta continuidad en el servicio, cumpliendo así con el objetivo de suministrar el agua potable en continuidad. No obstante, un 20% presenta interrupciones en el suministro de agua anualmente. Dentro de este porcentaje sólo un 6% representa un corte programado por mantención del sistema, y el otro 94% son cortes no-programados. La IV Región de Coquimbo presenta un porcentaje de APRs con cortes no-programados menor al 40%, sin embargo, no deja de ser una cifra importante. Por ejemplo, en el año 2017, 51 de los 190 APRs de la IV Región presentaron algún tipo de problema en la continuidad del servicio.

Los cortes no-programados pueden ocurrir por diversos motivos y la Fundación Amulén logró identificar las causas asociadas a estas fallas. A continuación, se mencionan algunas relevantes:

- Causas de fuerza mayor como fenómenos de la naturaleza imposibles de prever (terremotos, crecidas de ríos, etc.)
- Fallas en la infraestructura como roturas de cañerías, obstrucciones u otros. Y también fallas en equipos como en los equipos de bombeo, tableros eléctricos, etc.
- Fallas de impulsión y matriz, fatigas de material, rotura espontánea, etc.

- Problemas en arranques, conexiones, uniones, válvulas u otros elementos presentes en la red. Además, pueden ocurrir fallas por fa
- Bajo nivel de agua en los estanques (lugar en donde almacenan el agua), deficiencias de producción, disminución del caudal de producción, disminución del caudal de producción debido a la sequía.
- Red de distribución sin agua.

Estos últimos nos hacen ver que otro problema existente que debe ser considerado es el abastecimiento de agua a los Sistemas de Agua Potable Rural.

### 3.4 Sustentabilidad

El concepto sustentabilidad lo define la Comisión Brundtland en 1987 como lo que permite “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus necesidades propias.”

En esta sección se revisan aspectos importantes sobre el significado de sustentabilidad y sus distintos aspectos. Esto se revisa tanto en el ámbito internacional como a nivel nacional ya que Chile es un país activo en la materia, en donde ha tomado compromisos internacionales al respecto y también posee un marco institucional ambiental y social de sustentabilidad.

#### 3.4.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible

Dentro del ámbito internacional, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) el 25 de Septiembre 2015 adoptó “un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible.” (ONU, 2015) La agenda cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) entre los cuales el sexto objetivo busca garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Este objetivo presenta metas al año 2030 que consisten en:

1. Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable con precio asequible para todos.
2. Lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner en fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad.
3. Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.
4. Aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren de falta de agua.
5. Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza.
6. Proteger y reestablecer los ecosistemas relacionados con el agua.
  - a. Ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los

recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización.

- b. Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

De los cuales se desprende que para garantizar la disponibilidad del agua y mejorar su gestión, es necesario proponer metas que puedan guiar a las autoridades, al sector privado y a las personas a cumplir el objetivo. Además, introduce ideas importantes cómo la gestión integrada de los recursos hídricos, la protección de los ecosistemas que involucran el agua y fomentar al apoyo a las comunidades. Esto último es primordial para el caso de las comunidades rurales, ya que al encontrarse más alejadas y dispersas suelen ser las más afectadas ante los problemas de abastecimiento de agua.

Por otro lado, lo descrito en las metas se pueden relacionar a otros Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que se encuentran en la agenda como lo son:

Tabla 9: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: ONU.

Relación	Objetivo N°	Metas a 2030
Directa	1 Fin de la pobreza: Poner fin a la pobreza en todas sus formas	Garantizar que todos los hombres y mujeres, en particular los pobres y más vulnerables, tengan los mismos derechos a los recursos económicos, <u>así como a los servicios básicos</u> , la propiedad y el control de las tierras y otros bienes, la herencia, los recursos naturales, las nuevas tecnologías y los servicios económicos, incluida la micro financiación.
	9 Industria, Innovación e Infraestructuras: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.	<u>Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad</u> , incluidas infraestructuras regional y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos.
	11 Ciudades y comunidades sostenibles: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.	Asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y <u>servicios básicos adecuados</u> , seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales. Aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el <u>uso eficiente de los recursos</u> , la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres.
	12 Producción y consumo responsable: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.	Lograr la gestión sostenible y el <u>uso eficiente de los recursos naturales</u> .

Al ver las metas que proponen los Objetivos anteriores, se puede desprender que tienen una relación directa con las metas del Objetivo N°6 ya que mencionan el acceso a los servicios básicos, dentro del cual se encuentra el acceso al agua potable, y la gestión o el uso eficiente de los recursos, que en este caso sería el agua, y para eso se debe contar con la infraestructura necesaria que lo asegure.

Tabla 10: Otros Objetivos del Desarrollo Sostenible. Fuente: ONU.

Relación	Objetivo N°	Metas a 2030
Indirecta	3 La salud y el bienestar	Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades. Incluso con la pandemia de COVID – 19 se espera: “financiación más eficiente de los sistemas sanitarios, un mayor saneamiento e higiene...”
	4 Educación de Calidad	Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.
	5 Igualdad de género	Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas.
	8 Trabajo decente y crecimiento económico: Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos.	Mejorar progresivamente, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente.
	10 Reducción de desigualdades	Reducir la desigualdad en y entre los países.

Respecto a los objetivos mostrados en la tabla anterior, se puede decir que son indirectos, ya que son una consecuencia de lo que significa tener asegurado el acceso al agua. Por ejemplo, si hay agua de forma continua y segura en las comunidades rurales en donde hay escuelas, colegios, centros de salud familiar, etc. asegura que los habitantes de las comunidades puedan tener acceso a la educación y a la salud de forma segura. Esto toma más relevancia en el contexto de la pandemia del COVID-19 ya que una de las recomendaciones más sugeridas es lavarse las manos con frecuencia, utilizando agua y jabón.

Por otro lado, respecto al Objetivo N°5, se puede citar a la Fundación Amulén en su informe donde mencionan que “...la equidad de género se ve afectada, pues son las mujeres las que suelen cargar con el peso de proveer a sus comunidades, tras interminables recorridos en busca de pozos y ríos. Por ende, sin acceso al agua potable no hay desarrollo ni salida de la pobreza.”

Respecto al crecimiento económico y la reducción de desigualdades, se puede ver claramente al comparar un asentamiento rural y uno urbano, las diferencias que hay entre tener resueltos los servicios básicos en los hogares y además tener acceso seguro a salud, educación y trabajo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) calcula que por cada dólar invertido en suministro de agua potable se ahorran entre 3 y 34 en sanidad (Amulén, 2019).

### 3.4.2 Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico OCDE

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico consiste en una organización internacional que define su misión como “diseñar mejores políticas para una vida mejor”. Además, definen su principal objetivo como “promover políticas que favorezcan la prosperidad, la igualdad, las oportunidades y el bienestar para todas las personas.” (OCDE, 2017)

Esta organización reúne a 38 países los cuales concretamente “comparan e intercambian experiencias en políticas públicas, identifican mejores prácticas, y promueven decisiones y recomendaciones orientadas a fomentar el desarrollo económico y el bienestar de la población. El diálogo, el consenso, el análisis y comparación de información y datos, las evaluaciones y las revisiones entre pares conforman el núcleo del trabajo de la OCDE.” (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2017)

Algunos temas claves, de los cuales los miembros y directores de esta organización cooperan es sobre comercio e inversiones, agricultura, transporte, cambio climático e impuestos relacionados con el medio ambiente, además de producir estudios sobre el desarrollo sostenible. Bajo ese contexto, la Evaluación de Desempeño Ambiental (EDA)<sup>7</sup> y la Estrategia de Crecimiento Verde<sup>8</sup> son herramientas que la OCDE sugiere aplicar a los diferentes países miembros, para alcanzar un desarrollo sostenible.

Chile forma parte de esta organización desde el 7 de mayo de 2010, fecha desde la cual se han alcanzado hitos importantes como la creación del Ministerio del Medio Ambiente, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente, incorporación como miembro del Foro Internacional de Transporte (ITF), creación del SERNAC financiero, implementación de créditos CORFO para el desarrollo de distintos proyectos relacionados a fuentes energéticas y energía renovables no convencionales, la creación del Ministerio de la Mujer y Equidad de Género, la creación del Consejo Fiscal Autónomo (CFA), avances en políticas nacionales para el desarrollo de territorios rurales, entre otros.

Entonces, se entiende que lo que busca la organización es ayudar a los diferentes países miembros a encontrar un equilibrio en la interacción de temas medioambientales con los desafíos económicos y sociales.

#### 3.4.3 Ministerio del Medio Ambiente y marco institucional sobre sustentabilidad en Chile

En el ámbito nacional, la institución que lidera la sustentabilidad tanto ambiental como social es el Ministerio del Medio Ambiente (MMA). La Ley 20.417, en el año 2010, crea este ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) cuyo interés es “mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, contribuir al ingreso de Chile a la OCDE y centralizar la fiscalización en materias medioambientales.” (Ley N° 20.417, 2010)

Sin embargo, a partir de las nuevas exigencias, la evolución del enfoque de sustentabilidad y los distintos requerimientos de los últimos 12 años ha sido necesario introducir otras instituciones, regulaciones, fiscalización, planes, programas y acciones políticas, iniciativas como leyes y normas que construyan una institucionalidad sobre sustentabilidad ambiental y social en el país.

---

<sup>7</sup> Según el Ministerio de Energía la Evaluación de Desempeño Ambiental (EDA) es una herramienta que proporciona una análisis independiente y recomendaciones específicas para mejorar las políticas que tienen un impacto sobre el medio ambiente. Estas evaluaciones se basan en datos económicos y ambientales de fuentes nacionales e internacionales.

<sup>8</sup> Según el Ministerio de Energía la Estrategia de Crecimiento Verde implica una agenda operativa de política que puede ayudar a obtener un avance concreto y medible en la interacción de la economía y el medio ambiente. Además, fomenta las condiciones necesarias para la innovación, la inversión y la competencia que pueden hacer surgir nuevas fuentes de crecimiento económico, consistente con los ecosistemas adaptables.

### 3.4.3.1 Ley 19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente

La Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente establece un marco general de regulación sobre materia medioambiental en Chile, en conjunto con la publicación de la modificación de la ley N°20.417 renuevan la institución a cargo de la promoción, cuidado, vigilancia y patrocinio del cuidado y cumplimiento de las políticas medioambientales en Chile, llamada Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), vigente entre los años 1994 y 2010, año en el cual se realiza un cambio en las bases e instituciones y la comisión se disuelve y sus funciones fueron transferidas al MMA, el SEA y la SMA.

En cuanto a la Ley N°19.300 en sí, su resumen especifica que “tiene por objeto darle un contenido concreto y un desarrollo jurídico adecuado a la garantía constitucional que asegura a todas las personas el derecho de vivir en un medio ambiente libre de contaminación.” Además, especifica que los principios de esta ley son los siguientes:

1. Principio preventivo: con este principio se pretende evitar que se produzcan problemas ambientales. En otras palabras, se espera que se tomen acciones antes de se produzcan deterioros medioambientales, mediante estudios o medidas apropiadas que incluso pueden ser más económicas que reparar el daño.
2. El que contamina paga: este principio tiene como propósito hacer que aquel que contamine actualmente o que lo haga a futuro incorpore en sus costos de producción todas las inversiones necesarias para evitar la contaminación. Esto también se traduce en que los primeros responsables en disminuir la contaminación son los particulares.
3. Gradualismo: se refiere a que la ley no pretende exigir al instante los estándares ambientales más exigentes, ni tampoco someter a todas las actividades del país (sin importar sus características) a los procedimientos de evaluación ambiental.
4. Principio de responsabilidad: con este principio se pretende que los responsables de daños ambientales reparen a sus víctimas de todo daño.

### 3.4.3.2 Sistema de Evaluación de Impactos Ambientales (SEIA)

El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) es un organismo público cuya función principal es administrar el Sistema de Evaluación de Impactos Ambientales (SEIA) que es un instrumento de gestión ambiental de carácter preventivo, es decir, permite a la autoridad determinar antes de la ejecución de un proyecto si este cumple con la legislación ambiental vigente; y si se hace cargo de los impactos ambientales significativos (SEA, sf).

Un punto importante es que esta herramienta permite que en el diseño y ejecución de los proyectos se incluya la variable del impacto ambiental, y se pueda trabajar desde etapas tempranas del proyecto en acciones de mitigación, reparación y/o compensación.

Tal cómo se mencionó anteriormente, el SEA es el organismo encargado de la evaluación y posterior aprobación o rechazo del proyecto lo que se oficializa mediante una Resolución de Calificación Ambiental (RCA). Por otro lado, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) representa la institución que está a cargo de fiscalizar y hacer seguimiento de las resoluciones de los proyectos y normativas ambientales.

Uno de los sistemas que tiene el SEA para cumplir su función evaluadora es la elaboración de guías que uniforman los criterios, requisitos, condiciones, antecedentes y exigencias técnicas de la evaluación de impacto ambiental de proyectos y actividades. Estas se dividen en distintos aspectos y tipos dependiendo de lo que se requiera precisar:

- Descripción del proyecto, esto se refiere derechamente a documentos de carácter indicativo y referencial que establecen el nivel de desagregación y detalle de la información necesaria de presentar al SEIA en función de las características propias del proyecto (SEA, 2012).
- Artículo 11 de la Ley 19.300, esto se refiere a guías para orientar proyectos que requieren la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) según si generan a lo menos uno de los efectos descritos dentro del artículo como lo son el riesgo para la salud de las personas, efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de recursos naturales renovables, reasentamiento o alteración significativa de los sistemas de vida de comunidades humanas, localización próxima a recursos o áreas protegidas, alteración significativa del valor paisajístico o turístico, alteración de sitios con valor antropológico/arqueológico/histórico, etc. Cabe mencionar, que en el artículo 10 de la Ley N° 19.300 se detallan los proyectos o actividades susceptibles a causar impacto ambiental en cualquiera de sus fases, lo cual se traduce en someterse a la evaluación de impacto ambiental presentando una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o un EIA.

La DIA es mucho menos detallada que el EIA y la diferencia recae en que son proyectos con consecuencias leves o mínimas comparadas a los proyectos cuyas consecuencias son significativas y perjudiciales para la población y/o el medio ambiente.

- Aplicación de Norma/Reglamento, como por ejemplo, Norma de emisión de Ruidos Generados por Fuentes que Indica o el Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los lugares de trabajo.
- Descripción del área de influencia, se refiere a guías que entregan lineamientos respecto a los contenidos a considerar en la descripción o caracterización del uso del territorio del área de influencia de un proyecto (SEA, 2013). Existen guías para la descripción del Uso del Territorio y la evaluación de los posibles impactos sobre elementos socioculturales de las comunidades, la descripción de los componentes Suelo, Flora y Fauna de Ecosistemas Terrestres, de la Calidad del Aire en el Área de Influencia, para la descripción del Área de Influencia de los Sistemas de Vida y Costumbres, etc.
- Participación Ciudadana (PAC), esto es fundamental, ya que son documentos que presentan metodologías de actividades o buenas prácticas en las relaciones entre los actores involucrados en proyectos que entran al SEIA.
- Metodología/Modelos, estas son guías técnicas que pretenden orientar a los proyectos, por ejemplo, en la modelación hidrogeológica del mismo o el uso de modelos de calidad del aire o, por otro lado, presentar metodologías para la realización de cálculos específicos, procedimientos y/o actividades compensatorias.
- Permisos Ambientales Sectoriales (PAS), son documentos que guían en los trámites PAS según Artículos específicos del Reglamentos del SEIA como lo son las

modificaciones de un cauce, construcción de obras hidráulicas, corta de bosque nativo, construcción y operación de depósitos de relaves, entre otros.

Entonces, existen una serie de documentos que presentan orientación y dirección para los encargados de los proyectos o actividades que ingresan al SEIA y que complementan la función evaluadora del SEA.

#### 3.4.3.3 Programa Nacional de Consumo y Producción Sustentables

“El Programa Nacional de Consumo y Producción Sustentables (PNCPS) tiene como objetivo ser un instrumento, que por medio de sus doce líneas de acción, impulse un crecimiento económico que contribuya a la protección del medio ambiente y equidad social, modificando los actuales patrones de consumo y producción, para de esta manera desacoplar el crecimiento y desarrollo del país de la degradación del medio ambiente.” (MMA, 2016)

Los principios a los que se refiere son los siguientes, que se describen en el documento del PNCPS:

- La Equidad Ambiental que se refiere a que los impactos ambientales no ocurran de forma desproporcionada en lugares donde habitan las comunidades más vulnerables del país y a su vez entregar la posibilidad de que ellas se hagan partícipes de las decisiones, el desarrollo de las acciones y en la entrega de beneficios que mejoren su calidad de vida.
- La cultura de sustentabilidad que se refiere a fomentar y fortalecer una cultura de responsabilidad social, económica y ambiental entre los ciudadanos. Para esto es necesario el acceso a la información completa, clara y fidedigna que permita comprobar la sustentabilidad de productos y servicios.
- La competitividad e innovación principio que busca reforzar la competitividad de las empresas chilenas a través de la gestión eficiente de recursos y la implementación de soluciones innovadoras que mejoren la sustentabilidad de sus productos y/o servicios.
- La eficiencia en el uso de recursos
- La gobernanza y la participación que apunta a la coordinación, tanto del sector público como de actores externos nacionales e internacionales.

Con el fin de conseguir los objetivos propuestos en el PNCPS, proponen líneas de acción principales y transversales que se relacionan entre sí por medio de dos mecanismos:

1. Aplicación de metas, como por ejemplo de eficiencia y gestión de recursos, reducción de contaminación, etc.
2. A través de iniciativas y herramientas

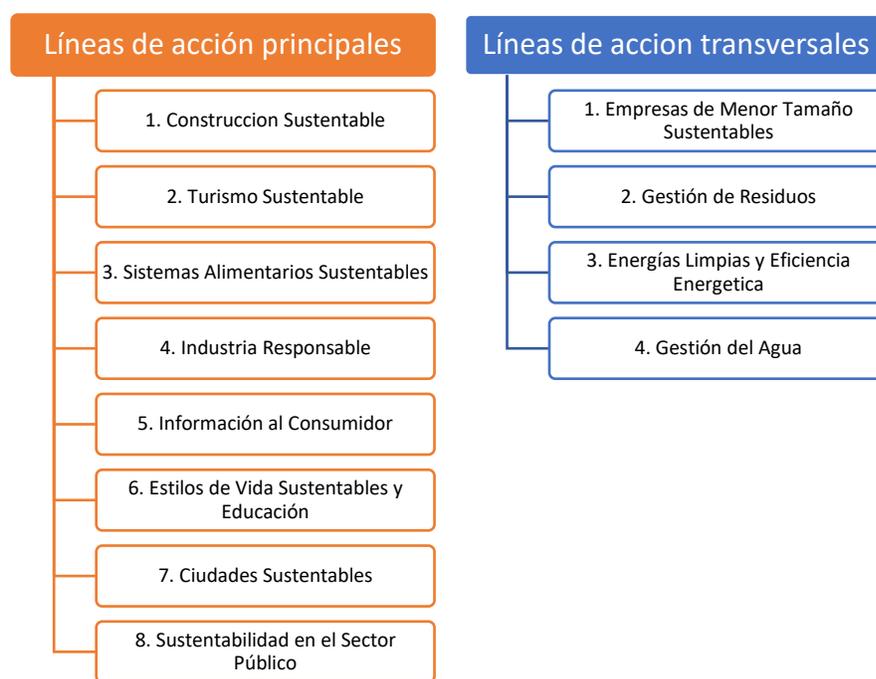


Ilustración 6: Líneas de acción PNCPs. Fuente: PNCPs.

Cómo se observa en las líneas de acción transversal, en el cuarto punto se encuentra la gestión del agua que según el programa tiene por objetivo “garantizar la disponibilidad y el acceso al agua con estándares de calidad y cantidad adecuados, promoviendo una gestión sustentable... en los procesos de consumo y producción del país.”

#### 3.4.3.4 Propuesta de principios y criterios para un documento de referencia de buenas prácticas en hidroelectricidad sustentable en Chile, para la contribución de los compromisos de la Política Energética 2050

En marzo de 2017, el Ministerio de Energía en conjunto con la empresa consultora Rubik sustentabilidad publican el informe de “Propuesta de principios y criterios para un documento de referencia de buenas prácticas en hidroelectricidad sustentable en Chile, para la contribución de los compromisos de la Política Energética 2050” que a través de un estudio detallado de un marco general de sustentabilidad, un levantamiento de buenas prácticas de sustentabilidad en la industria hidroeléctrica y consultar a expertos en la materia identificaron principios y criterios de sustentabilidad para la industria hidroeléctrica. Algo rescatable del documento es que a pesar de tener un enfoque en energía e hidroelectricidad, es extrapolable a otros proyectos, pues son buenas prácticas que se deberían tener en consideración en el diseño y la ejecución de un proyecto, teniendo como premisa que su realización siempre afectara de alguna manera o forma a las personas y al medio ambiente.

Estos se dividen en 5 Principios los cuales se desglosan en criterios que se presenta a continuación:

1. Buena fe y responsabilidad en toda la estructura organizacional:
  - a. Buena fe para el desarrollo de proyectos.
  - b. Riguroso cumplimiento de la legislación y los acuerdos internacionales.

- c. Mecanismos internos de control y reporte: monitoreo y reporte del desempeño ambiental y social así como el cumplimiento de la legislación.
  - d. Monitoreo participativo: establecer mutuo acuerdo con las comunidades y los actores relevantes del territorio.
2. Gestión integral de impactos ambientales y sociales:
    - a. Jerarquía de gestión de impactos: todo proyecto, desde su concepción, debe evitar impactos negativos tanto sociales como ambientales en el territorio. Los que no pueden ser evitados, deben ser evaluados en etapas tempranas del desarrollo del proyecto para identificar adecuadamente los mecanismos de mitigación.
    - b. Localización para la minimización de impactos negativos, para esto tener en consideración instrumentos de planificación territorial.
    - c. Compensación ante impactos negativos no esperados.
  3. Relacionamiento temprano, simétrico y permanente con las comunidades locales:
    - a. Proceso continuo de construcción de confianzas. El diseño del proyecto debe considerar procesos de diálogos con las comunidades, respetando sus tiempos, para llegar a acuerdos que sean sentidos legítimos por las partes involucradas.
    - b. Proximidad en la toma de decisiones.
    - c. Representatividad y legitimidad en el dialogo.
    - d. Contrapartes empoderadas y habilitadas.
    - e. Consideraciones culturales y reconocimiento de derechos en el relacionamiento con comunidades indígenas.
  4. Enfoque ecosistémico para la gestión ambiental:
    - a. Gestión de impactos ambientales mediante enfoque ecosistémica. Se recomienda una mirada integral al ecosistema del territorio en donde se inserta el proyecto y los diferentes subsistemas que lo componen.
    - b. Utilización de la mejor tecnología disponible.
    - c. Caudal ambiental como régimen de caudales.
    - d. Pérdida de biodiversidad neta cero.
    - e. Investigación científica local.
  5. Generación de valor en el territorio:
    - a. Gestión de impactos sociales.
    - b. Desarrollo local autodefinido y autogestionado.
    - c. Trabajo conjunto.
    - d. Compromiso con un desarrollo endógeno de largo plazo: inversión social de la empresa en el territorio debe propiciar la generación de capacidades y entrega de herramientas que promuevan el desarrollo.
    - e. Sinergias en la generación de valor. Existiendo las oportunidades, se debe propiciar que el desarrollo de la infraestructura y otro tipo de inversiones que se realicen en el marco de la construcción del proyecto sean mutuamente beneficiosas.
    - f. Generación de capacidades de empleo y emprendimiento local.
    - g. Empoderamiento de las mujeres y otros grupos vulnerables. Resulta necesario un énfasis en el enfoque de género, ya que, mayoritariamente son mujeres las lideres de las organizaciones comunitarias en zonas rurales (comités de vivienda, centros de madres, juntas de vecinos, asociaciones de agua potable rural, etc.).

#### 4. Caracterización de los Sistemas de Agua Potable Rural (APR) de la Provincia del Limarí

La IV Región de Coquimbo se divide en 3 provincias: Elqui, Limarí y Choapa. La provincia del Limarí se encuentra, geográficamente, al centro de la Región y la componen 5 comunas, de norte a sur: Río Hurtado, Ovalle, Monte Patria, Punitaqui y Combarbalá, siendo Ovalle la capital provincial. Según el Censo del año 2017 contaba con 170.579 habitantes, de los cuales 55.856 habitan en zonas rurales. En cuanto a superficie, la provincia tiene un total de 13.553 [km<sup>2</sup>] según la gobernación provincial del Limarí.

A continuación, se mostrará el mapa geográfico de la Provincia, en donde se puede apreciar cada comuna y los límites entre ellas.

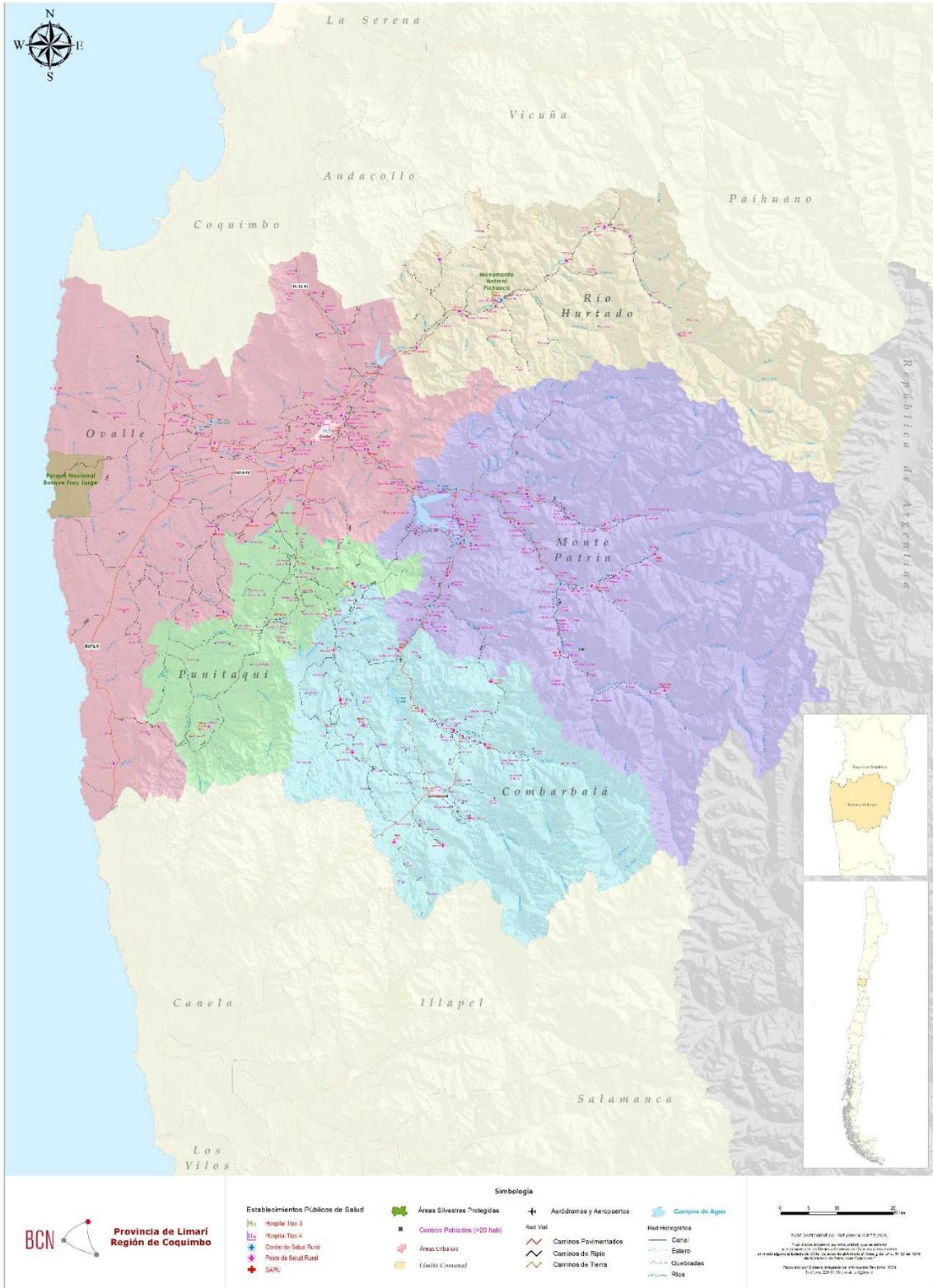


Ilustración 7: Mapa geográfico de la Provincia del Limarí. Fuente: Sistema Integral de Información Territorial – Mapoteca – BCN.

En este capítulo se caracterizarán los Sistemas de Agua Potable Rural (APR) de la Provincia, por lo que primeramente se presenta una tabla resumida con información de los APRs que existen en la zona, que además se dividen por cada comuna.

Tabla 11: Resumen de información sobre APRs.

Comuna	Total APRs	Total de Arranques	Población Atendida Estimada
Río Hurtado	9	2.329	9.316
Ovalle	42	8.638	34.552
Punitaqui	6	1.121	4.484
Monte Patria	27	6.411	25.552
Combarbalá	21	3.263	10.552
<b>Totales</b>	<b>105</b>	<b>21.762</b>	<b>84.456</b>

Cabe aclarar que un arranque es la instalación desde la cañería matriz hasta el medidor de cada vivienda asociada. Considerando que, en promedio, en cada vivienda habita una familia de 4 personas se puede estimar la población atendida.

En los siguientes subcapítulos se presentarán tablas e información detallada de los Sistemas de APR que en su mayoría son comités de agua potable rural, dividida en sus cinco comunas: Río Hurtado, Ovalle, Monte Patria, Punitaqui y Combarbalá. Esta información fue otorgada por el Sr. Luis Alfaro Arredondo quien es el actual Presidente de la Asociación Gremial de APRs de la provincia del Limarí, actualizada al año 2021 y complementada con la información brindada por el Sr. Darío Valenzuela Van Treek quien es Secretario Técnico de la Comisión Hídrica de la IV Región de Coquimbo.

#### 4.1 Sistemas de APR comuna de Río Hurtado

La comuna de Río Hurtado es la que se encuentra más al norte de la Provincia y la habitan 4.278 personas según el Censo del 2017, siendo la única comuna que tiene toda su población en zonas rurales. Se estima que la población haya crecido en un 1,4 - 1,2 - 0,9 y 0,5% en los últimos cuatro años según datos del Banco Mundial. Lo anterior, se puede traducir en una población actual estimada de 4.452 personas<sup>9</sup>.

Cómo se expuso anteriormente, la cantidad total de APRs de la comuna son nueve, los cuales están todos ubicados a lo largo del Río Hurtado que comienza al noreste de la comuna de Ovalle.

En la siguiente tabla se presenta la localidad rural de ubicación, las coordenadas geográficas y el número de arranques existentes en cada APR de la comuna a la fecha Junio del 2021, según información que maneja el Comité Técnico Hídrico de la Región de Coquimbo.

<sup>9</sup> Cálculo realizado a partir de la fórmula de tasa de crecimiento anual acumulativo  $P^{(t+n)} = P^t(1 + r)^n$  donde  $P^t$  es la población inicial,  $r$  la tasa de crecimiento anual,  $n$  la cantidad de periodos a considerar, en este caso años, y  $P^{(t+n)}$  sería la población final estimada. Aquí se aplica un “crecimiento geométrico” a partir de la población inicial conocida. Cabe destacar que sólo considera crecimiento de población.

Tabla 12: APRs comuna de Río Hurtado

N°	Nombre Comité APR comuna de Río Hurtado	Localidad rural	Número de arranques	Coordenada geográfica Latitud [°]	Coordenada geográfica Longitud [°]
1	Fundina	Fundina Sur Poniente	260	-30,3818704325	-70,8412870258
2	Huampulla	Huampulla	109	-30,4303195332	-70,9785872393
3	Hurtado– El Chañar	El Chañar	406	-30,2833081059	-70,6295765514
4	Las Breas	Las Breas	165	-30,3883068981	-70,5947568312
5	Pichasca	Pichasca	580	-30,3976329097	-70,8684962386
6	Quebrada Santander	Quebrada Santander	44	-30,417019369	-70,9262938086
7	Samo Alto	Río Hurtado	235	-30,4077454884	-70,9402876521
8	Serón	Serón	330	-30,3295064428	-70,738570108
9	Tabaqueros	Villorio Mirador	200	-30,4748338495	-71,0317711178
<b>TOTAL</b>			<b>2.329</b>	<b>arranques</b>	

Además, en la siguiente ilustración, se muestra la ubicación geográfica de cada sistema en la aplicación Google Earth Pro, en donde efectivamente se logra percibir que los APRs se encuentran a lo largo de la cuenca formada por el Río Hurtado.

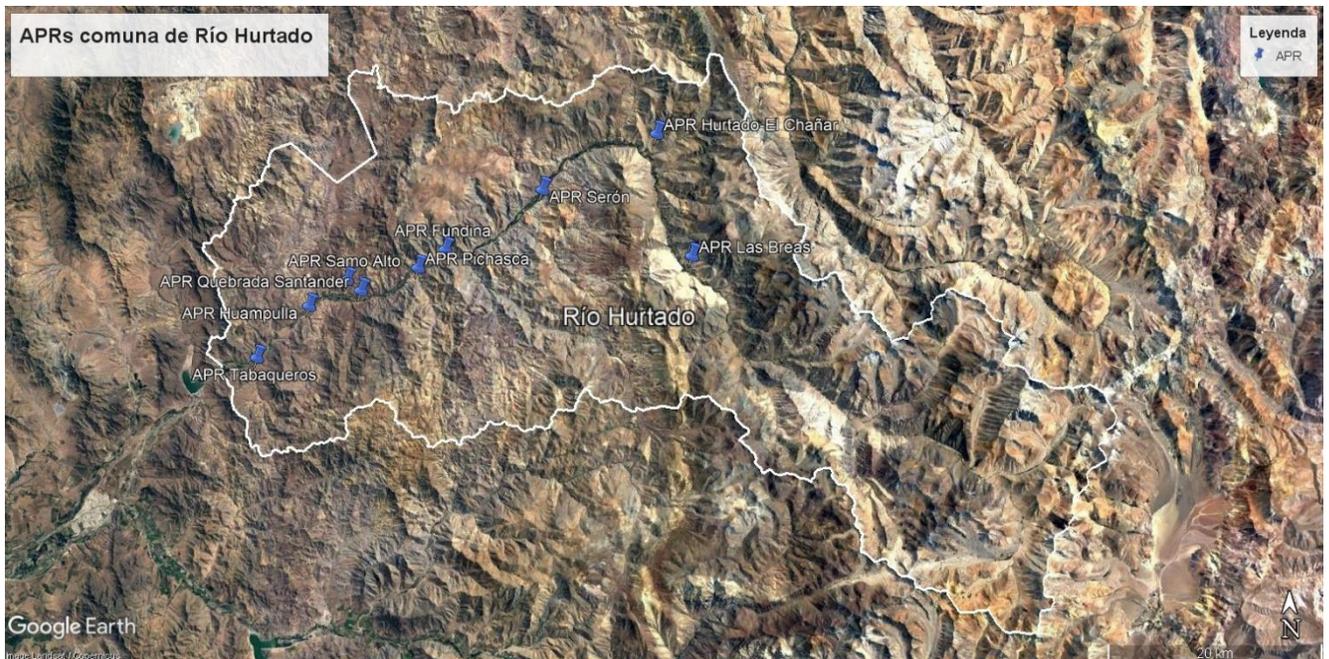


Ilustración 8: Ubicación geográfica de los APRs de la comuna de Río Hurtado. Fuente: elaboración en Google Earth Pro.

Cabe destacar que estos APR se encuentran a cotas superiores a 450 [m.s.n.m.], en donde al APR Las Breas es el que se encuentra a la cota mayor, encontrándose a 1.750 [m.s.n.m.].

Por otro lado, se obtiene información importante sobre producción, consumo y pérdida de agua potable de estos sistemas de APRs, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 13: Información sobre producción, consumo y pérdida de agua potable mensual en los APRs de la comuna de Río Hurtado.

N°	APR	Beneficiarios estimados 3,1 personas/arranque	Agua producida [m <sup>3</sup> ]	Agua facturada (consumo) [m <sup>3</sup> ]	Agua perdida [m <sup>3</sup> ]	% de pérdida
1	Fundina	806	76.187	28.424	47.763	62,69
2	Huampulla	338	14.580	11.338	3.242	22,24
3	Hurtado– El Chañar	1259	78.727	42.660	36.067	45,81
4	Las Breas	512	17.390	12.671	4.719	27,14
5	Pichasca	1798	109.675	88.154	21.521	19,62
6	Quebrada Santander	137	3.400	2.772	628	18,47
7	Samo Alto	729	47.081	32.635	14.446	30,68
8	Serón	1023	54.347	38.756	15.591	28,69
9	Tabaqueros	620	59.700	28.908	30.792	51,58
<b>TOTAL</b>		<b>7.222</b>	<b>461.087</b>	<b>286.318</b>	<b>174.769</b>	<b>37,90</b>

De esta tabla se desprende que:

1. En todos los Sistemas de APR de la comuna de Río Hurtado se pierde agua.
2. La cantidad de metros cúbicos de agua que se pierden al mes es un 37,9% de la producción total mensual de todos los Sistemas de APR.
3. Los Sistemas de APR Fundina y Tabaqueros son los que muestran una mayor pérdida de agua en comparación al consumo de sus usuarios. Lo anterior se traduce en más del 50% de pérdidas de agua potable respecto a sus capacidades de producción.

#### 4.2 Sistemas de APR comuna de Ovalle

La comuna de Ovalle es la capital provincial del Limarí y se encuentra a aproximadamente 90 kilómetros de La Serena que es la capital Regional. Según el Censo del año 2017 en esta comuna habitaban 111.272 personas, de las cuales 23.733 se encontraban en las zonas rurales de la comuna. Utilizando los datos estadísticos de crecimiento demográfico del Banco Mundial, se estima que la población actual sea de 115.788 personas.

La cantidad total de APRs de la comuna son 42, los cuales se encuentran ubicados en las siguientes zonas:

- Cuenca del Río Limarí desde la comuna hasta su cruce por la Ruta 5 hacia el Poniente.
- Cuenca del Río Limarí desde la comuna hasta el embalse Recoleta hacia el Nororient.
- Cuenca del Río Grande desde la comuna hasta el embalse La Paloma hacia el Surorient.
- A las orillas de los Esteros Cachaco y Punitaqui.

- Dentro de la zona formada por las Quebradas Las Mojadas, Potrerillos e Infiernillo.
- Otras zonas distintas a las descritas anteriormente pero a las cuales se accede por carreteras o caminos públicos como las rutas D-505, D-525, D-540, D-555, D-605, D-615, D,635, D-655, Ruta 5, etc.

A continuación, de forma tabulada se presenta información sobre la localidad rural de ubicación, las coordenadas geográficas y el número de arranques existentes en cada APR de la comuna a la fecha Junio del 2021, según información que maneja el Comité Técnico Hídrico de la Región de Coquimbo.

Tabla 14: APRs comuna de Ovalle.

N°	Nombre Comité APR comuna de Ovalle	Localidad rural	Número de arranques	Coordenada geográfica Latitud [°]	Coordenada geográfica Longitud [°]
1	Agua de la Vida	Alcones Bajos	139	-30,7728450445	-71,5437196035
2	Algarrobos de Recoleta	Algarrobo Oriente	62	-30,5040672131	-71,0991899363
3	Barraza	Pueblo de Barraza	522	-30,6614660133	-71,4830888258
4	Barraza Alto-Socos	Barraza Alto Socos	182	-30,7153389587	-71,4845523597
5	Camarico Chico-Camarico Viejo	Camarico Chico	149	-30,767736071	-71,3756703155
6	Carachilla	Carachilla	150	-30,6681100113	-71,0757115432
7	Cerrillos de Tamaya	Cerrillos de Tamaya	971	-30,5770162571	-71,4047606976
8	Chalinga	Chalinga	205	-30,7557458741	-71,4046920899
9	El Guindo	Santa Berta	454	-30,6456886469	-71,1023690151
10	El Porvenir	Unión Campesina	282	-30.7226613246	-71.302262362
11	El Trapiche	Trapiche	129	-30,6263195266	-71,3269398467
12	Higueritas Unidas	Higueritas Unidas	105	-30,407724841	-71,1939670962
13	La Portada de Sotaquí	La Portada de Sotaquí	102	-30,5990807671	-71,1310294264
14	La Silleta	La Silleta	66	-30,6150256122	-71,2344229274
15	La Torre- Las Sossas	La Torre	425	-30,6132353309	-71,3711473242
16	La Unión Yaconi	-	201	-30,64106459	-71,2119245681
17	Lagunillas	Galleguillos	254	-30,5408930422	-71,1743517892
18	Limarí	Limarí	636	-30,6381008879	-71,2836594358
19	Los Nogales	Camarico	286	-30,7374945035	-71,3413351726
20	Nueva Aurora	Nueva Aurora	287	-30,7143572856	-71,2391745676
21	Nueva Esperanza	Valdivia de Punilla	144	-30,584870867	-71,5653680253

22	Nuevo Futuro	Potrerillos Altos	314	-30,7121659823	-71,2249778926
23	Oruro Alto	Oruro Alto	171	-30,617819517	-71,4991184037
24	Peral- Ojo de Agua	Peral Ojo de Agua	31	-30,5666564832	-71,645300426
25	Potrerillos Bajos	Potrerillo Bajo	211	-30,6247313631	-71,1791763535
26	Recoleta	Recoleta	218	-30,502098576	-71,1452875646
27	Samo Bajo	Samo Bajo	75	-30,5279787804	-71,1160954775
28	San Julián	San Julián	218	-30,6440729017	-71,3464037089
29	Santa Catalina	Santa Catalina	152	-30,6060238926	-71,1574619071
30	Sol del Pacífico	Talhuén	203	-30,5866830106	-71,2270785056
31	Sonora- Los Acacios	Los Acacios	277	-30,6812419314	-71,2955804383
32	Tabalí	Tabalí	164	-30,6404301583	-71,426868488
33	Unión Paloma	La Paloma	115	-30,69085183	-71,0404057869
34	Vida Nueva	Llanos de la Chimba	122	-30,6609970967	-71,2210704489
35	Villaseca	Canelilla Baja	496	-30,569390897	-71,1476433291
36	Villorio El Talhuén	Villorio El Talhuén	120	-30,5618725751	-71,2758047807
37	Caleta El Toro	Caleta El Toro	-	-	-
38	La Calera	La Calera	-	-	-
39	La Ribera del Olivo	-	-	-	-
40	Las Pajas de Peñablanca	-	-	-	-
41	Peñablanca	Peñablanca	-	-	-
42	La Placa	La Placa	-	-	-
<b>TOTAL</b>			<b>8.638</b>	<b>arranques</b>	

Además, en la siguiente ilustración, se muestra la ubicación geográfica de cada sistema en la aplicación Google Earth Pro.

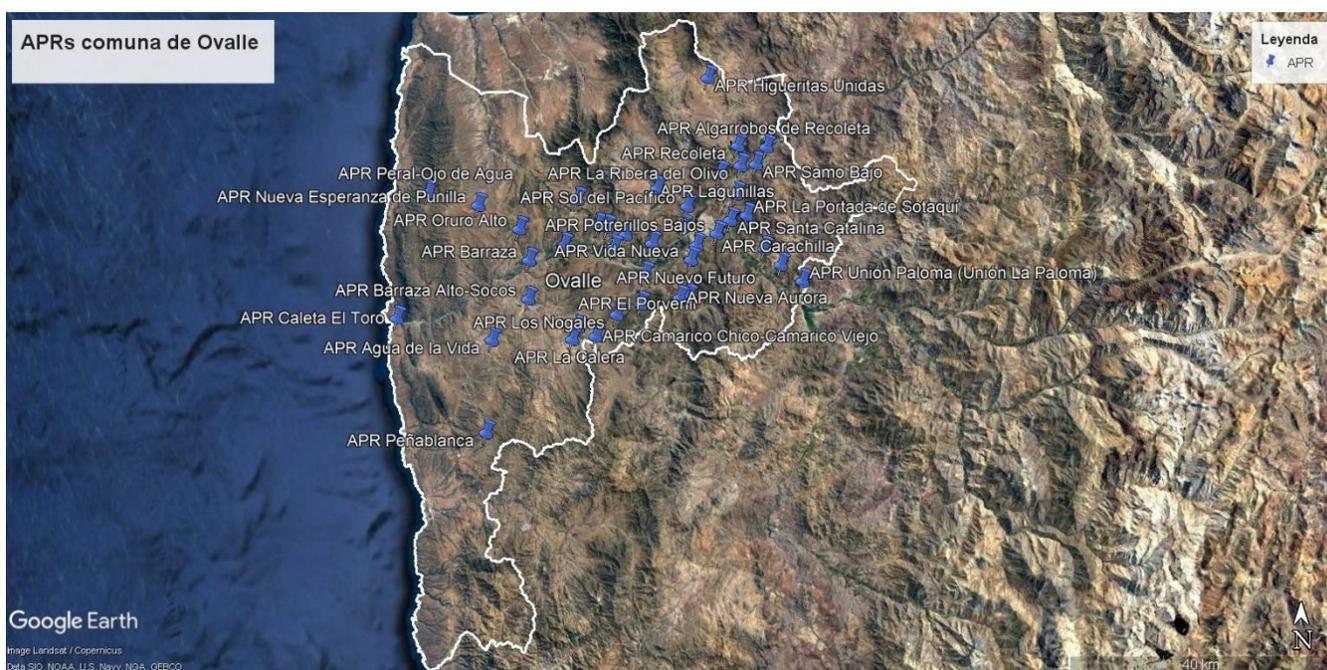


Ilustración 9: Ubicación geográfica de los APRs de la comuna de Ovalle. Fuente: elaboración en Google Earth Pro.

Por otro lado, se obtiene información importante sobre producción, consumo y pérdida de agua potable de estos sistemas de APRs, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 15: Información sobre producción, consumo y pérdida de agua potable mensual en los APRs de la comuna de Ovalle.

Nº	APR	Beneficiarios estimados 3,1 personas/ arranque	Agua producida [m <sup>3</sup> ]	Agua facturada (consumo) [m <sup>3</sup> ]	Agua perdida [m <sup>3</sup> ]	% de pérdida
1	Agua de la Vida	431	12.882	10.551	2.331	18,10
2	Algarrobos de Recoleta	193	-	8.761	-	-
3	Barraza	1.619	116.388	78.007	38.381	32,98
4	Barraza Alto-Socos	565	36.790	32.086	4.704	12,79
5	Camarico Chico-Viejo	462	19.783	16.914	2.869	14,50
6	Carachilla	465	33.094	25.462	7.632	23,06
7	Cerrillos de Tamaya	3.011	-	142.342	-	-
8	Chalinga	636	30.303	25.573	4.730	15,61
9	El Guindo	1.408	85.294	79.165	6.129	7,19
10	El Porvenir	875	85.294	79.165	6.129	7,19
11	El Trapiche	400	46.034	16.783	29.251	63,54
12	Higueritas Unidas	326	21.911	14.353	7.558	34,49
13	La Portada de Sotaquí	317	26.113	22.739	3.374	12,92
14	La Silleta	205	-	10404	-	-
15	La Torre- Las Sossas	1.318	107.587	70.087	37.500	34,86
16	La Unión Yaconi	624	38907	35118	3789	9,74

17	Lagunillas	788	50.157	40.059	10.098	20,13
18	Limarí	1.972	166.828	120.063	46.765	28,03
19	Los Nogales	887	57.151	44.895	12.256	21,44
20	Nueva Aurora	890	53.637	41.839	11.798	22,00
21	Nueva Esperanza	447	-	7.605	-	-
22	Nuevo Futuro	974	-	54.283	-	-
23	Oruro Alto	531	24.642	21.978	2.664	10,81
24	Peral- Ojo de Agua	97	2.801	2.708	93	3,32
25	Potreros Bajos	655	48.251	32.600	15.651	32,44
26	Recoleta	676	54.387	46.166	8.221	15,12
27	Samo Bajo	233	17.662	10.035	7.627	43,18
28	San Julián	676	29.947	27.954	1.993	6,66
29	Santa Catalina	472	76.351	46.991	29.360	38,45
30	Sol del Pacífico	630	37.241	32.379	4.862	13,06
31	Sonora- Los Acacios	859	52.882	44.748	8.134	15,38
32	Tabalí	509	102.516	18.242	84.274	82,21
33	Unión Paloma	357	20.338	17.311	3.027	14,88
34	Vida Nueva	379	23.892	20.155	3.737	15,64
35	Villaseca	1538	109.953	80.943	29.010	26,38
36	Villorio El Talhuén	372	22.452	19.378	3.074	13,69
37	Caleta El Toro	-	-	-	-	-
38	La Calera	-	-	-	-	-
39	La Ribera del Olivo	-	-	-	-	-
40	Las Pajas de Peñablanca	-	-	-	-	-
41	Peñablanca	-	-	-	-	-
42	La Placa	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>		<b>26.797</b>	<b>1.611.468</b>	<b>1.397.842</b>	<b>437.021</b>	<b>27,12</b>

De esta tabla se desprende que:

1. No se tiene información de todos los Sistemas de APR de la comuna de Ovalle, por lo que en algunos casos no se sabe cuánta agua potable se está produciendo mensualmente y por ende se desconoce el porcentaje de pérdida que se podría estar ocasionando.
2. Sin considerar el punto anterior, en todos los Sistemas de los que cuales se tiene información se están ocasionando pérdidas de agua potable.
3. La cantidad de metros cúbicos de agua que se pierden al mes es un 27,12% de la producción total de los 31 Sistemas de APR que se muestran en la tabla con toda la información disponible.
4. A pesar de no contar con toda la información de estos APRs, se puede concluir que la cifra de pérdida es considerable respecto a las capacidades de producción que presentan los sistemas, promediando 22,90% en todos estos.

5. Los Sistemas de APR El Trapiche y Tabalí son los que muestran una mayor pérdida de agua en comparación al consumo que presentan sus usuarios. En el caso de Tabalí es llamativo que la cantidad de agua que se pierda sea tan elevada, pues el nivel de pérdida mensual equivale al consumo de 4,6 meses. Recuperar esta pérdida resultaría fundamental para asegurar el abastecimiento de agua en este APR, sin embargo, existe la posibilidad de que haya alteraciones en estos datos que no se estén considerando.

#### 4.3 Sistemas de APR comuna de Monte Patria

La comuna de Monte Patria se encuentra al oriente de la provincia entre Punitaqui y Combarbalá, y en la comuna se desarrollan los ríos Guatulame, Rapel, Grande, Mostazal y Tulahuencito. En la comuna habitan 30.751 personas según el Censo del 2017, siendo la segunda comuna más poblada de la Provincia. Utilizando los datos estadísticos de crecimiento demográfico del Banco Mundial, se estima que la población actual sea de 31.751 personas.

Cómo se expuso anteriormente, la cantidad total de APRs de la comuna son 27, los cuales están ubicados en diferentes zonas:

- En la cuenca formada por el Río Guatulame, hacia el Sur del embalse La Paloma.
- En la cuenca formada por el Río Rapel, hacia el Oriente del embalse La Paloma.
- En la cuenca formada por el Río Grande, hacia el Sureste del embalse La Paloma.
- En la cuenca formada por el Río Mostazal, hacia el Oriente después de la confluencia entre los ríos Mostazal y Grande.
- A la orilla del Río Tulahuencito.

En la siguiente tabla se presenta la localidad rural de ubicación, las coordenadas geográficas y el número de arranques existentes en cada APR de la comuna a la fecha Junio del 2021, según información que maneja el Comité Técnico Hídrico de la Región de Coquimbo.

Tabla 16: APRs comuna de Monte Patria.

N°	Nombre Comité APR comuna de Monte Patria	Localidad rural	Número de arranques	Coordenada geográfica Latitud	Coordenada geográfica longitud
1	Bellavista de Carén	Bellavista de Carén	34	-30,8166733218	-70,7666738329
2	Caren	Carén	278	-30,855785911	-70,7669827907
3	Cerrillos de Rapel	Cerrillos de Rapel	272	-30,7122991546	-70,818602998
4	Colliguay	Colliguay	291	-30,8502260933	-70,7412106826
5	Chañaral de Carén	Chañaral de Carén	302	-30,8846533552	-70,7736421383
6	Chilecito-Mialqui	Chilecito	526	-30,7545549999	-70,8371963929
7	El Coipo	El Coipo	149	-30,7813042737	-70,8179255624
8	El Maitén	El Maitén	82	-30,806503222	-70,5987898846
9	El Maqui- Pampa Grande	El Maqui	254	-30,8307510941	-70,6529068597
10	El Tome Alto	El Tomé Alto	242	-30,8049419708	-70,9761487012

11	Flor del Valle- Agua Chica	Flor del Valle Abajo	401	-30,7003264637	-70,9305218208
12	Huatulame	Huatulame	542	-30,8403826457	-70,9774916667
13	Juntas- Dos Ríos	Juntas	195	-30,7099020465	-70,8773503134
14	Las Mollacas	Las Mollacas	169	-30,7549801878	-70,6562488879
15	Las Ramadas-Pejerreyes	Las Ramadas	182	-31,0260168393	-70,5747155882
16	Los Clonquis	Los Clonquis	159	-30,7659608102	-70,7007650013
17	Los Morales	Los Morales	167	-30,89307249	-71,0230508623
18	Los Tapias	Los Tapia	129	-30,8676476464	-70,9925245508
19	Panguesillo	Panguesillo	50	-30,7784741699	-70,8286445282
20	Pedregal	Pedregal	179	-30,8549700473	-70,7060776639
21	Rapel	Rapel	481	-30,7190763032	-70,7734747491
22	Semita	Semita	111	-30,8276169142	-70,7961447356
23	Sol de las Praderas	Las Condes	149	-30,7391563315	-70,75036393
24	Tome Bajo- Palos Quemados	El Tomé Bajo	97	-30,7842120954	-70,9654536864
25	Tulahuén	Tulahuén	861	-30,9691825237	-70,7637709517
26	Vado Hondo- Barranco	El Barranco	77	-30,9155239678	-70,7716898605
27	La Tranquita	Las Tranquitas	32	-30,8922683506	-70,6614529098
<b>TOTAL</b>			<b>6.411</b>	<b>arranques</b>	

Además, en la siguiente ilustración, se muestra la ubicación geográfica de cada sistema en la aplicación Google Earth Pro.

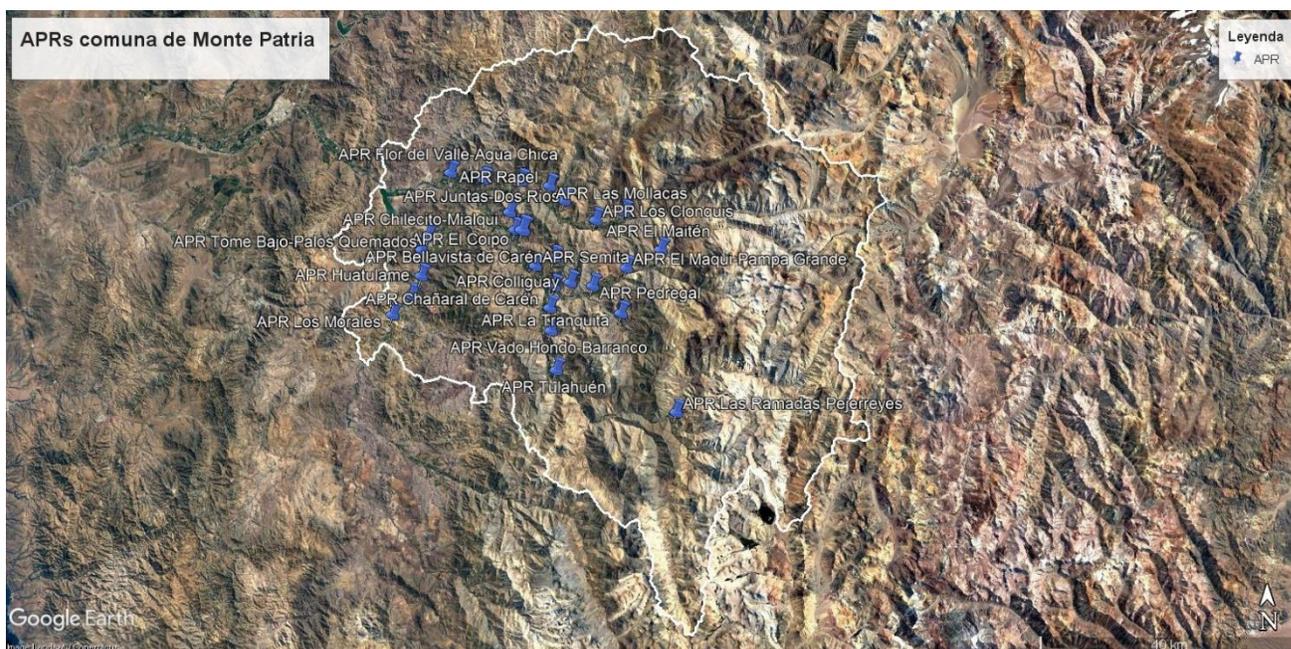


Ilustración 10: Ubicación geográfica de los APRs de la comuna de Monte Patria. Fuente: elaboración en Google Earth Pro.

A través de Google Earth se puede verificar que las zonas en donde se ubican estos sistemas de APRs son, como se indicó anteriormente, principalmente en las cuencas formadas por los principales ríos que pasan por la comuna de Monte Patria que son el Río Grande, Guatulame, Rapel y Mostazal.

Por otro lado, se obtiene información importante sobre producción, consumo y pérdida de agua potable de estos sistemas de APRs, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 17: Información sobre producción, consumo y pérdida de agua potable mensual en los APRs de la comuna de Monte Patria.

Nº	APR	Beneficiarios estimados 3,1 personas/ arranque	Agua producida [m <sup>3</sup> ]	Agua facturada (consumo) [m <sup>3</sup> ]	Agua perdida [m <sup>3</sup> ]	% de pérdida
1	Bellavista de Carén	106	6.479	4.652	1.827	28,20
2	Caren	862	63.932	52.100	11.832	18,51
3	Cerrillos de Rapel	844	47.897	37.380	10.517	21,96
4	Colliguay	903	-	30.691	-	-
5	Chañaral de Carén	937	-	57.126	-	-
6	Chilecito-Mialqui	1.631	112.828	74.675	38.153	33,82
7	El Coipo	462	24.623	19.024	5.599	22,74
8	El Maitén	255	10.464	8.037	2.427	23,19
9	El Maqui- Pampa Grande	788	41.130	27.869	13.261	32,24
10	El Tome Alto	751	50.238	38.686	11.552	22,99

11	Flor del Valle- Agua Chica	1.244	83.707	65.989	17.718	21,17
12	Huatulame	1.681	-	83.208	-	-
13	Juntas- Dos Ríos	605	28.416	25.172	3.244	11,42
14	Las Mollacas	524	33.413	20.559	12.854	38,47
15	Las Ramadas- Pejerreyes	565	29.860	17.142	12.718	42,59
16	Los Clonquis	493	-	17.208	-	-
17	Los Morales	518	27.462	24.242	3.220	11,73
18	Los Tapias	400	29.654	22.430	7.224	24,36
19	Panguesillo	155	6.355	5.759	596	9,38
20	Pedregal	555	36.730	20.993	15.737	42,85
21	Rapel	1.492	92.551	75.044	17.507	18,92
22	Semita	345	20.736	17.707	3.029	14,61
23	Sol de las Praderas	462	40.857	26.441	14.416	35,28
24	Tome Bajo- Palos Quemados	301	11.838	10.427	1.411	11,92
25	Tulahuén	2670	171.922	127.890	44.032	25,61
26	Vado Hondo- Barranco	239	-	645	-	-
27	La Tranquita	100	-	1.433	-	-
<b>TOTAL</b>		<b>19.888</b>	<b>971.092</b>	<b>912.529</b>	<b>248.874</b>	<b>25,63</b>

De esta tabla se desprende que:

1. No se tiene información de todos los Sistemas de APR de la comuna de Monte Patria, por lo que en algunos casos no se sabe cuánta agua potable se está produciendo mensualmente y por ende se desconoce el porcentaje de pérdida que se podría estar ocasionando. Sin embargo, aquellos APRs que están subrayados de color damasco presentan una particularidad, los datos disponibles en la plataforma del Comité Técnico Hídrico no tienen consistencia, lo que significa que la cantidad de agua potable que tienen señalada en la producción es menor a la que están consumiendo los usuarios. Esto último no tiene sentido, ya que hay agua que no se está contabilizando dentro de la producción. Esto puede deberse a múltiples factores, uno de esos puede ser que el APR no esté realizando la toma de datos correspondientes a la producción de agua, por ejemplo, no se están anotando los caudales que muestran los caudalímetros en sus plantas de tratamiento de agua potable (si es que poseen) o directamente desde sus pozos, norias u otra fuente de abastecimiento de agua. Otro caso puede ser el contrario, que si se estén tomando los datos, pero el equipo, que en este caso sería el caudalímetro, este en mal estado o necesite ser reparado o reemplazado y no se haya realizado debido a temas económicos o incluso por una falta de conocimiento al respecto.
2. Sin perjuicio de lo descrito en el punto anterior, se puede concluir que en todos los Sistemas de APR de la comuna que si muestran información se están ocasionando pérdidas de agua potable.

3. La cantidad de metros cúbicos de agua que se pierden al mes representan un 25,63% de la producción total de los 21 Sistemas de APR que se muestran en la tabla con toda la información disponible.
4. En el caso de la comuna de Monte Patria, las pérdidas de agua potable de los Sistemas de APR se han mantenido dentro de su promedio que es del 24,38%, sin embargo, hay algunos APRs como Las Mollacas, Las Ramadas – Pejerreyes y Pedregal que están muy por sobre este promedio de pérdida mensual. Por otro lado, ninguno de estos sistemas presenta una pérdida mayor al consumo de agua de los usuarios, es decir, están todos por debajo del 50% de pérdidas, lo cual es una diferencia relevante en comparación a otros APRs de las primeras dos comunas analizadas.

#### 4.4 Sistemas de APR comuna de Punitaqui

La comuna de Punitaqui se ubica a 28 [km] al norponiente de Ovalle y la habitan cerca de 10.956 personas según el Censo del 2017. Utilizando los datos estadísticos de crecimiento demográfico del Banco Mundial, se estima que la población actual sea de 11.401 personas.

En la siguiente tabla se presenta la localidad rural de ubicación, las coordenadas geográficas y el número de arranques existentes en cada APR de la comuna a la fecha Junio del 2021, según información que maneja el Comité Técnico Hídrico de la Región de Coquimbo.

Tabla 18: APRs comuna de Punitaqui

N°	Nombre Comité APR comuna de Punitaqui	Localidad rural	Número de arranques	Coordenada geográfica latitud	Coordenada geográfica longitud
1	El Hinojo	El Hinojo	111	-30,7568433967	-71,2506023212
2	Graneros	Graneros	99	-30,7690898445	-71,2858289474
3	Granjita Morro Alegre	Morro Alegre	133	-30,7287518718	-71,2842912663
4	La Higuera de Punitaqui	La Higuera	207	-30,8754055458	-71,252083458
5	La Silleta – Las Turquezas	Calle La Silleta	161	-30,8289138202	-71,2501293817
6	Las Ramadas	Las Ramadas	410	-30,7944889251	-71,249838791
<b>TOTAL</b>			<b>1.121</b>	<b>arranques</b>	

Además, en la siguiente ilustración, se muestra la ubicación geográfica de cada sistema en la aplicación Google Earth Pro.

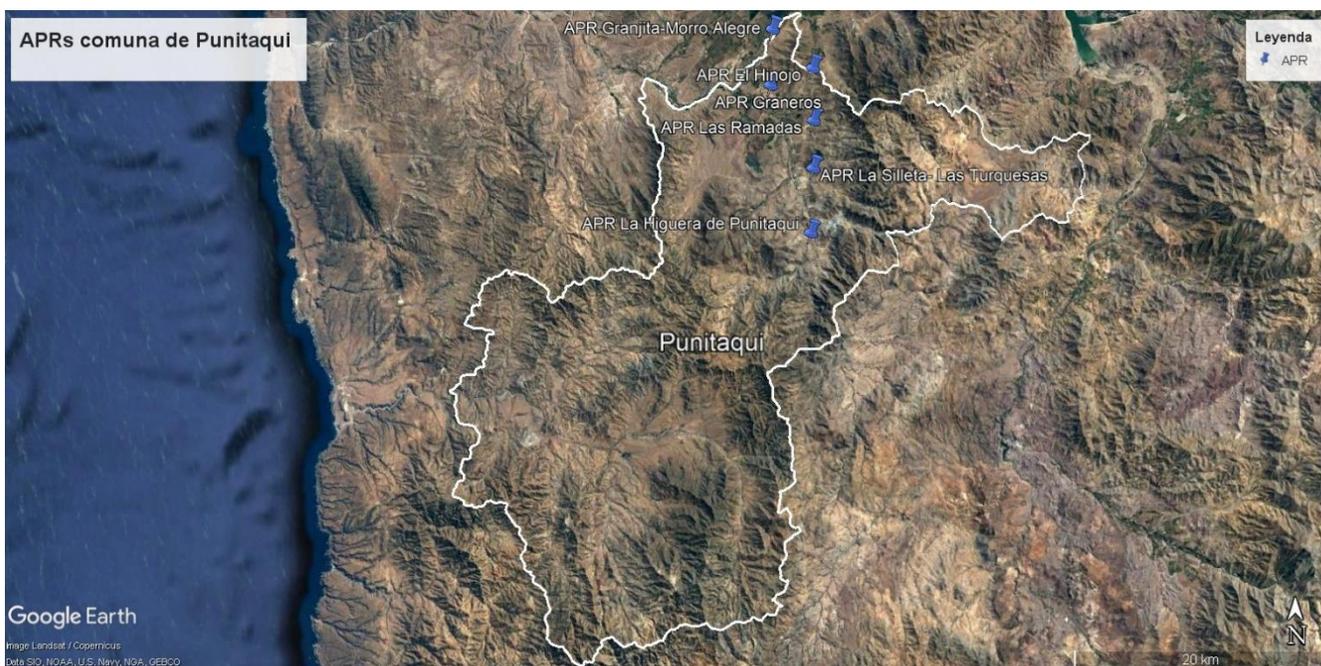


Ilustración 11: Ubicación geográfica de los APRs de la comuna de Punitaqui. Fuente: elaboración en Google Earth Pro.

A partir de la Ilustración, podemos notar que estos Sistemas de APR están relativamente cerca entre ellos, ubicados a lo largo de una distancia aproximada de 18 [km] todos en el norte de la comuna. También, a través de Google Earth se logran distinguir rutas a lo largo de la zona en donde se ubican, que son las D-555 y D-605 por las cuales se puede transitar para llegar a cada una de las localidades rurales en donde se ubican estos APRs.

Por otro lado, se obtiene información importante sobre producción, consumo y pérdida de agua potable de estos sistemas de APRs, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 19: Información sobre producción, consumo y pérdida de agua potable mensual en los APRs de la comuna de Punitaqui.

N°	APR	Beneficiarios estimados 3,1 personas/ arranque	Agua producida [m <sup>3</sup> ]	Agua facturada (consumo) [m <sup>3</sup> ]	Agua perdida [m <sup>3</sup> ]	% de pérdida
1	El Hinojo	345	16.680	13.893	2.787	16,71
2	Graneros	307	-	16.651	-	-
3	Granjita Morro Alegre	413	29.556	23.255	6.301	21,32
4	La Higuera de Punitaqui	642	18.031	16.314	1.717	9,52
5	La Silleta – Las Turquesas	500	16.920	15.130	1.790	10,58
6	Las Ramadas	1.271	78.387	52.995	25.392	32,39
<b>TOTAL</b>		<b>3.478</b>	<b>159.574</b>	<b>138.238</b>	<b>37.987</b>	<b>23,81</b>

De esta tabla se desprende que:

1. No se tiene información de todos los Sistemas de APR de la comuna de Punitaqui, por lo que en algunos casos no se sabe cuánta agua potable se está produciendo mensualmente y por ende se desconoce el porcentaje de pérdida que se podría estar ocasionando.
2. Sin considerar el punto anterior, en todos los Sistemas de los que cuales se tiene información se están ocasionando pérdidas de agua potable.
3. La cantidad de metros cúbicos de agua que se pierden al mes es un 23,81% de la producción total de los 5 Sistemas de APR que se muestran en la tabla con toda la información disponible. En promedio, la pérdida de estos 5 APR es de 18,10%.
4. El Sistema de APR que presenta más pérdida en comparación al consumo que presentan sus usuarios es Las Ramadas, que a su vez, es el más grande de la comuna, teniendo una población beneficiada estimada de 1.271 habitantes. Su pérdida es equivalente a medio mes de consumo aproximadamente, lo que representa una cantidad importante de agua potable.

#### 4.5 Sistemas de APR comuna de Combarbalá

La comuna de Combarbalá se encuentra al sur de la Provincia, y la habitan 13.322 personas según el Censo del 2017. Utilizando los datos estadísticos de crecimiento demográfico del Banco Mundial, se estima que la población actual sea de 13.863 personas.

Cómo se expuso anteriormente, la cantidad total de APRs de la comuna son 21, los cuales están ubicados en diferentes zonas que se mencionan a continuación:

- Cuenca del Río Guatulame y Río Cogotí.
- Cuenca del Río Combarbalá.
- Laderas del Estero Valle Hermoso.
- Sobre la Quebrada Media Luna.
- En la zona que se encuentra al Poniente del Embalse Cogotí y el Estero Valle Hermoso.

En la siguiente tabla se presenta la localidad rural de ubicación, las coordenadas geográficas y el número de arranques existentes en cada APR de la comuna a la fecha Junio del 2021, según información que maneja el Comité Técnico Hídrico de la Región de Coquimbo.

Tabla 20: APRs comuna de Combarbalá

N°	Nombre Comité APR comuna de Combarbalá	Localidad rural	Número de arranques	Coordenada geográfica latitud	Coordenada geográfica longitud
1	Cogotí 18	Cogotí	530	-31,0873607062	-70,9568363203
2	El Durazno	El Durazno	73	-31,1207696041	-70,8313080533
3	El Huacho	El Huacho	110	-31,0323061368	-71,170106316
4	El Sauce	El Sauce	144	-31,0783615809	-71,1339796615
5	El Soruco	El Soruco	103	-31,108581586	-71,113583819
6	La Cantera	Combarbalá Oriente	53	-31,1761713887	-70,9825602429
7	La Capilla	La Capilla	36	-31,2036202015	-70,9661318077
8	La Colorada	-	75	-31,0730260024	-71,0492059328
9	La Isla	La Isla	171	-31,0711272128	-71,0047420531

10	La Ligua de Cogotí	La Ligua de Cogotí	353	-31,0413843656	-71,0394027224
11	Las Barrancas-El Chineo-La Fragueta	Barranca	276	-31,1111731441	-70,9076500714
12	Manquehua	Manquehua	185	-30,942238348	-71,1873023945
13	Medialuna	Media Luna	45	-30,9095123688	-71,1878755116
14	Quilitapia	Quilitapia	365	-31,1151942931	-71,155981466
15	Ramadilla	Ramadilla	119	-31,2240619071	-70,9369227557
16	San Marcos	San Marcos	450	-30,9592591179	-71,0679263351
17	Sueño Cumplido	Pama Arriba	60	-31,2299207194	-71,0398524449
18	Valle Hermoso	Valle Hermoso	115	-31,2623673348	-71,0019495097
19	Matancilla	Matancilla	-	-	-
20	Pueblo Hundido	Pueblo Hundido	-	-	-
21	Puente La Higuera	Puente La Higuera	-	-	-
<b>TOTAL</b>			<b>3.263</b>	<b>arranques</b>	

Además, en la siguiente ilustración, se muestra la ubicación geográfica de cada sistema en la aplicación Google Earth Pro.

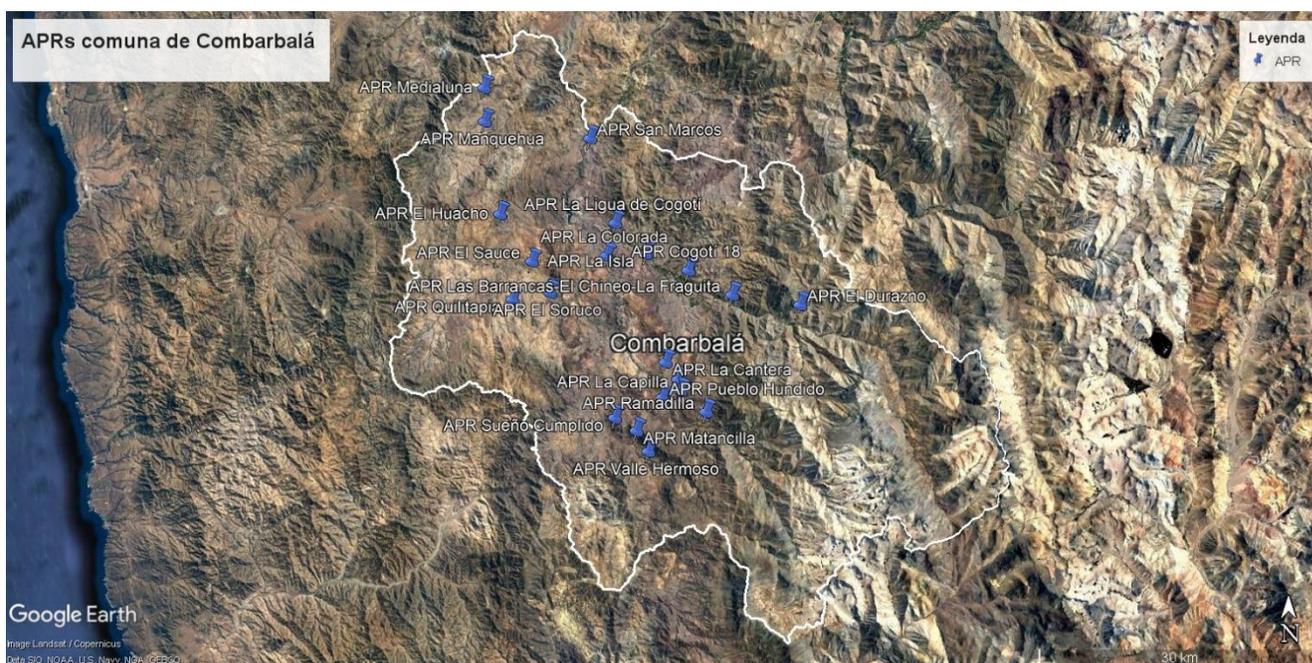


Ilustración 12: Ubicación geográfica de los APRs de la comuna de Combarbalá. Fuente: elaboración en Google Earth Pro.

Por otro lado, se obtiene información importante sobre producción, consumo y pérdida de agua potable de estos sistemas de APRs, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 21: Información sobre producción, consumo y pérdida de agua potable mensual en los APRs de la comuna de Combarbalá.

Nº	APR	Beneficiarios estimados 3,1 personas/ arranque	Agua producida [m³]	Agua facturada (consumo) [m³]	Agua perdida [m³]	% de pérdida
1	Cogotí 18	1.643	105.245	79.469	25.776	24,49
2	El Durazno	227	9.596	7.993	1.603	16,70
3	El Huacho	341	-	-	-	-
4	El Sauce	447	132.173	108.159	24.014	18,17
5	El Soruco	320	13.191	11.391	1.800	13,65
6	La Cantera	165	9.094	6.670	2.424	26,65
7	La Capilla	112	5.475	4.351	1.124	20,53
8	La Colorada	233	6.523	6.129	394	6,04
9	La Isla	531	26.669	24.017	2.652	9,94
10	La Ligua de Cogotí	1.095	34.387	32.878	1.509	4,39
11	Las Barrancas-El Chineo-La Fragueta	856	46.824	37.452	9.372	20,02
12	Manquehua	574	14.160	12.065	2.095	14,80
13	Medialuna	140	4.032	-	-	-
14	Quilitapia	1.132	18.043	17.938	105	0,58
15	Ramadilla	369	13.647	11.676	1.971	14,44
16	San Marcos	1.395	77.327	52.416	24.911	32,22
17	Sueño Cumplido	186	-	-	-	-
18	Valle Hermoso	357	37.696	17.120	20.576	54,58
19	Matancilla	-	-	-	-	-
20	Pueblo Hundido	-	-	-	-	-
21	Puente La Higuera	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>		<b>10.123</b>	<b>554.082</b>	<b>429.724</b>	<b>120.326</b>	<b>21,72</b>

De esta tabla se desprende que:

1. No se tiene información de todos los Sistemas de APR de la comuna de Combarbalá, por lo que en algunos casos no se sabe cuánta agua potable se está produciendo mensualmente y por ende se desconoce el porcentaje de pérdida que se podría estar ocasionando.
2. Sin considerar el punto anterior, en todos los Sistemas de los que cuales se tiene información se están ocasionando pérdidas de agua potable.
3. La cantidad de metros cúbicos de agua que se pierden al mes es un 21,72% de la producción total de los 15 Sistemas de APR que se muestran en la tabla con toda la información disponible. En promedio, la pérdida de estos 15 APR es de 18,48%.
4. El Sistema de APR que presenta más pérdida en comparación al consumo que presentan sus usuarios es Valle Hermoso. Su pérdida es equivalente a un mes de consumo aproximadamente, lo que representa una cantidad importante de agua potable.

#### 4.6 Déficit de agua potable en los Sistemas de APR de la Provincia del Limarí

El estado actual del recurso hídrico para consumo humano, en muchas de las comunidades rurales, es crítico por lo que se tienen que tomar medidas provisorias y de emergencia para poder abastecer a los hogares de agua potable. Esto ha significado tener que movilizar camiones aljibes a las comunidades afectadas, lo que también se traduce en costos para las municipalidades y el Estado. Actualmente, según la información disponible, prácticamente todas las comunas de la provincia del Limarí ocupan camiones aljibes mensualmente, en donde la que más requiere es la comuna de Combarbalá. Cabe mencionar que un camión transporta aproximadamente entre 10.000 [lt] y 20.000 [lt] (equivalente a 10-20 [m<sup>3</sup>]) de agua, lo que permite dimensionar la demanda de agua que presentan estas comunas actualmente.

Tabla 22: Cantidad de Camiones Aljibes

Comuna	N° de Camiones Aljibes	Demanda mensual [m <sup>3</sup> ]
Combarbalá	14	140-280
Punitaqui	9	90-180
Monte Patria	8	80-160
Ovalle	6	60-120
Río Hurtado	2	20-40
<b>TOTAL</b>	<b>39</b>	<b>390-780</b>

De forma gráfica y porcentual, se presenta la demanda mensual de camiones aljibes en la Provincia del Limarí en la siguiente Ilustración.

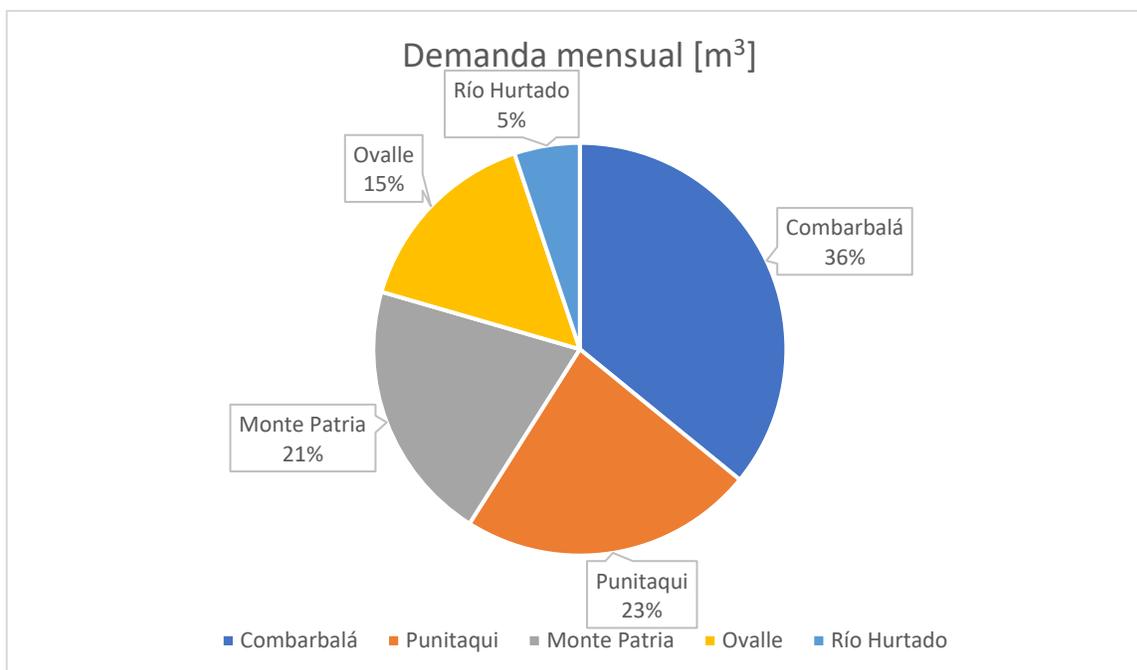


Ilustración 13: Porcentaje de demanda mensual de agua potable mediante camiones aljibe respecto a la demanda total de las comunas de la Provincia del Limarí. Fuente: Comité Técnico Hídrico de la Región de Coquimbo.

La información que maneja el Comité Técnico Hídrico de la Región de Coquimbo es que algunos Sistemas de APR se mantenían y/o mantienen con la entrega de camiones aljibes periódicamente, en donde se conoce los casos de (información no actualizada y sólo considera hasta inicios del año 2022, además no necesariamente coincide con la cantidad de camiones descritos en la Tabla 24: Cantidad de Camiones Aljibes, sin embargo, muestra la realidad de diferentes APR en los últimos años):

- Río Hurtado:

El Comité de APR Pichasca recibía un camión de 10 [m<sup>3</sup>] diarios, lo que significaba una forma de aliviar el problema de insuficiencia de agua, sin embargo, no era suficiente para cubrir esta necesidad.

- Ovalle:

En la comuna de Ovalle se presentaron varios Sistemas con problemas de abastecimiento de agua, entre los cuales se encuentran los mostrados en la Tabla 23.

Tabla 23: Problemas que se presentaron en Sistemas de APR de la comuna de Ovalle que requerían ser apoyados mediante camiones aljibes.

Sistema de APR	Situación que se atiende
Agua de la Vida	<p>APR presenta escasez hídrica, por lo que se le hace entrega de agua mediante camiones aljibes.</p> <p>Se le hace entrega de agua cinco días a la semana, que se distribuyen de la siguiente forma:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lunes: 40 [m<sup>3</sup>]</li> <li>- Martes: 20 [m<sup>3</sup>]</li> <li>- Miércoles: 40 [m<sup>3</sup>]</li> <li>- Jueves: 20 [m<sup>3</sup>]</li> <li>- Viernes: 40 [m<sup>3</sup>]</li> </ul> <p>El mismo comité debe costear el agua faltante los días que sólo se les hace entrega de 20 [m<sup>3</sup>] que son los martes y jueves. Esto significa un gasto elevado para el Sistema y el recurso económico es escaso.</p> <p>En un periodo de tiempo, el comité recibió de forma intermitente el agua, es decir, una semana recibía dos camiones de 20 [m<sup>3</sup>] los martes y jueves, y la semana siguiente recibía los mismos dos camiones los lunes, miércoles y viernes. Este caso fue crítico, ya que no era suficiente, sobre todo aquellas semanas en que sólo iban camiones dos veces.</p> <p>Por otro lado, este APR cuenta con Planta de Ósmosis Inversa, la cual entrega un caudal de 7 [m<sup>3</sup>/H] y se deben esperar 24 [hrs] para su recuperación (no es suficiente).</p> <p>El 09/2020 se realizó una revisión de posibles nuevos sondajes en la zona, el operador y personal de la ONEMI Santiago, sin embargo, se desconoce en que quedó esta revisión.</p>
Alcones Bajos	<p>Recibía un camión de 22 [m<sup>3</sup>] diarios durante 5 días a la semana.</p>
Higueritas Unidas	<p>APR que a la fecha 08/2020 presenta escases hídrica debido a que su noria se encontraba seca.</p> <p>Este Sistema requería de 49 [m<sup>3</sup>] y sólo producía 10 [m<sup>3</sup>]. Por lo tanto, eran abastecidos con 40 [m<sup>3</sup>] diarios los lunes, miércoles y viernes; martes y jueves recibían la misma cantidad de agua pero sólo semana por medio.</p> <p>Este comité, con recursos propios, habilitó y profundizó sondaje de prospección de la noria. Esta nueva fuente de abastecimiento tenía las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diámetro 110 [mm] y profundidad de 48 [m].</li> <li>- Caudal de 1,5 [lt/s] aproximadamente.</li> </ul> <p>Luego de esta inversión del APR, presentaron un problema con la bomba sumergible, lo cual tuvo que ser apoyado.</p>

- Monte Patria:

Tabla 24: Problemas que se presentaron en Sistemas de APR de la comuna de Monte Patria que requerían ser apoyados mediante camiones aljibes.

Sistema de APR	Situación que se atiende
Huatulame	Este Sistema de APR requería de 216 [m <sup>3</sup> /día], de los cuales 205 [m <sup>3</sup> ] producían ellos mismos de sus fuentes propias, lo cual no era suficiente. Al presentar escases hídrica, fueron apoyados con camiones aljibes de 15 [m <sup>3</sup> ] de lunes a viernes. También recibían agua del canal de Cogotí uno o dos turnos al mes, dependiendo de los accionistas, lo cual fue relativo e inconstante.
Las Mollacas	Este comité recibió 10 [m <sup>3</sup> ] diarios y esto no era suficiente para solucionar sus escases de agua.

- Punitaqui:

Tabla 25: Problemas que se presentaron en Sistemas de APR de la comuna de Punitaqui que requerían ser apoyados mediante camiones aljibes.

Sistema de APR	Situación que se atiende
El Hinojo	Este Sistema de APR requería de 44 [m <sup>3</sup> /día]. Al presentar escases hídrica, fueron apoyados con camiones aljibes de 20 [m <sup>3</sup> ] de lunes a viernes. El problema fue que su noria principal no estaba dando abasto de acuerdo con las necesidades de agua potable, además de ser artesanal y no contar con la resolución sanitaria. Se desconoce el estado actual de la situación descrita en este APR.
La Higuera de Punitaqui	Este Sistema de APR requería de 80 [m <sup>3</sup> /día]. De estos, 20 [m <sup>3</sup> ] fueron abastecidos mediante camiones aljibes que eran distribuidos de lunes a sábado. Adicionalmente, el comité debía complementar lo anterior comprando el servicio de camiones aljibes de 12 [m <sup>3</sup> ] los lunes, sábados y domingos.
Las Ramadas	Este APR recibía dos camiones aljibes semanales (lunes y jueves) de 20 [m <sup>3</sup> ]. Además de sacar agua de su pozo que se abastece con la ayuda del río, con esto último pueden abastecer de agua a sus usuarios durante 5 horas al día.

- Combarbalá:

Esta es la comuna que más presenta problemas de abastecimiento de agua, y a continuación se detallaran alguno de los problemas que comúnmente se ven enfrentados a resolver tanto los propios comités como los municipios.

Tabla 26: Problemas que se presentaron en Sistemas de APR de la comuna de Combarbalá que requerían ser apoyados mediante camiones aljibes.

Sistema de APR	Situación que se atiende
El Sauce	Este Sistema de APR requería de 57,6 [m <sup>3</sup> /día], de los cuales 15 [m <sup>3</sup> ] producían ellos mismos de sus fuentes propias, lo cual no era suficiente. Fueron apoyados con camiones aljibes de 20 [m <sup>3</sup> ] los lunes y martes, lo cual es insuficiente para mantener la continuidad del servicio por lo que el comité debe realizar cortes programados del suministro diariamente. Otro problema existente es que los sectores altos y bajos de la comunidad presentaron problemas de presión de agua.
El Huacho	Presenta apoyo de camiones aljibes pero se desconoce su cantidad y periodicidad.
La Colorada	Este comité recibió el apoyo de un camión de 20 [m <sup>3</sup> ] los lunes y sábados. Sin embargo, el comité hace notar que no es suficiente, y lo ideal sería recibir un camión extra por día.
La Ligua de Cogotí	Este Sistema es abastecido por agrícola presente dentro de la localidad y se desconoce cuál es el aporte por parte de esta. No hay registros.
Manquehua	Este Sistema de APR requería de 74 [m <sup>3</sup> /día] y de su fuente propia no estaban obteniendo agua. Sistema fue apoyado con camiones aljibes por parte de la municipalidad de lunes a viernes de la siguiente forma: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lunes: 45 [m<sup>3</sup>]</li> <li>- Martes: 30 [m<sup>3</sup>]</li> <li>- Miércoles: 40 [m<sup>3</sup>]</li> <li>- Jueves: 30 [m<sup>3</sup>]</li> <li>- Viernes: 50 [m<sup>3</sup>]</li> </ul> El año 2020 se realizó un estudio hidrogeológico para estudiar la posibilidad de tener una nueva fuente de abastecimiento de agua, sin embargo, no se entregaron buenos resultados, por lo que su construcción no fue posible.
Media Luna	Actualizado a la fecha 15 de febrero del año 2022, se registra el apoyo de abastecimiento de agua mediante camiones aljibes de la siguiente forma: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dos veces a la semana con 15 [m<sup>3</sup>] y 12 [m<sup>3</sup>] respectivamente.</li> </ul> Lo anterior es una reducción del apoyo que estaban recibiendo pues en algún momento recibieron camiones de lunes a viernes (exceptuando el martes) de 12 [m <sup>3</sup> ] los lunes y 20 [m <sup>3</sup> ] el resto de la semana.
Pama Arriba- Sueño Cumplido	Este Sistema de APR requería de 20 [m <sup>3</sup> /día] y de su fuente propia obtenían diariamente 8,9 [m <sup>3</sup> /H]. Apoyado de los camiones aljibes, estaban siendo abastecidos con 26 [m <sup>3</sup> ] a la semana, recibiendo camiones de 13 [m <sup>3</sup> ] los miércoles y viernes otorgados por la municipalidad de Combarbalá.
Quilitapia	En esta localidad, ciertos sectores son abastecidos con camiones aljibes, los cuales son: Villorio, Los Copihues, Sector Sur, El Pangata y Potrerillos. Estos son abastecidos con un camión de 15 [m <sup>3</sup> ] diario de lunes a viernes los cuales son repartidos puerta a puerta debido a problemas de presión por condiciones del terreno.

	<p>El Sector antiguo de Quilitapia es abastecido con una sola fuente que se encuentra funcionando y sin fallas desde agosto de 2020 (sin embargo, se desconoce el estado actual de esta fuente). Por lo tanto, en ese sector no es necesario el apoyo de camiones aljibes.</p> <p>En otras fuentes del Sistema si se presentan bajas de niveles de suministro debido a la escases hídrica que presenta la localidad.</p>
Valle Hermoso	Camión aljibe abastece a tres familias de la comunidad, el resto del sistema se encuentra activo.

A partir de toda la información es posible concluir que:

1. Muchos de los Sistemas de APR de toda la Provincia presentan problemas de escasez hídrica, siendo incapaces de producir agua potable de sus propias fuentes debido a las baja de nivel de sus norias, pozos, etc.
2. Si bien los camiones aljibes son una solución para combatir la escasez en los Sistemas, no es una solución definitiva para las personas, ya que en muchos lugares se deben realizar cortes del suministro (en otras palabras, se entrega un servicio discontinuo) para poder abastecer a toda la comunidad con agua potable.
3. En muchos Sistemas la que hace falta es infraestructura que les permita obtener y distribuir el agua a sus usuarios.
4. En algunas localidades la movilización de camiones aljibe es alta, ya que requieren de hasta dos camiones aljibes al día durante toda la semana lo cual representa un alto costo para las municipalidades o la institución pública que este invirtiendo en apoyo para los Sistemas de APR, sin embargo, en algunas situaciones críticas, son los mismos comités quienes deben costear la llegada de camiones aljibes a sus Sistemas.

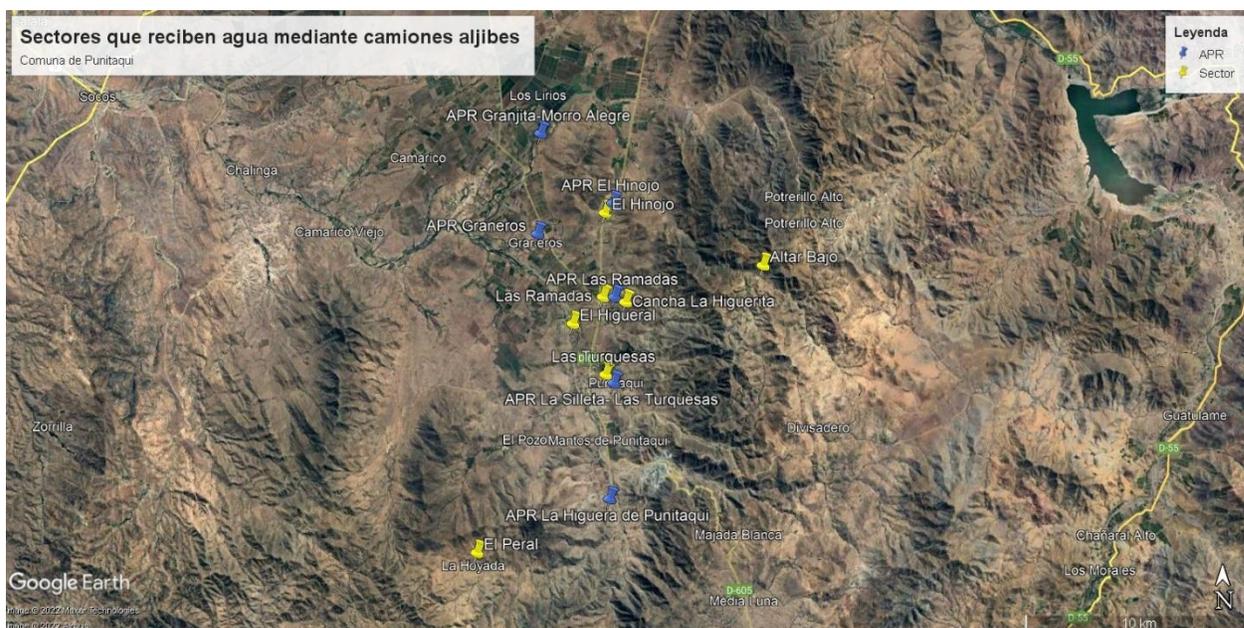
De forma adicional, para corroborar y/o actualizar la información anterior es que a través de llamadas telefónicas y correos electrónicos se intentó conversar con personal relacionado a servicios sanitarios rurales de cada una de las municipalidades de la Provincia del Limarí en donde se preguntó por información de los APRs de sus respectivas comunas, específicamente se preguntó por lo siguiente:

Información sobre cuáles son los Sistemas de Agua Potable Rural (APR) de su comuna y cuáles de estos están siendo abastecidos de agua potable por o con camiones aljibes, o han sido abastecidos por ese medio durante el último año, complementando la información con datos sobre la cantidad o metro cúbicos destinados a cada APR, frecuencia de viajes de los camiones aljibes, períodos de tiempo en los que se contempla abastecer al APR por este medio.

Si bien se logró la comunicación con todas las municipalidades, de las únicas comunas que se logró de forma fructífera recibir información fue de parte de Punitaqui y Ovalle.

En el caso de la comuna de Punitaqui, la comunicación se efectuó con don Álvaro Tapia vía teléfono el 27 de mayo del 2022 en donde comenta que en la comuna los 6 sistemas de APR están recibiendo agua potable mediante camiones aljibes y son los que se encuentran en los sectores El Peral, Altar Bajo, La Cancha la Higuierita y Las Turquesas que solamente se abastecen por este medio y El Hinojo, Las Ramadas y El Higueral que son sistemas que han presentado déficit de agua en sus fuentes, por lo cual los camiones aljibes han complementado la continuidad y cantidad

del servicio. En cuanto a los detalles solicitados, no se recibió respuesta por parte de este funcionario ya que se requerían permisos por parte de sus superiores para compartirla, esto efectivamente se solicitó vía correo electrónico que se adjunta en los Anexos de este trabajo<sup>10</sup>, sin embargo, hasta la fecha no se recibió ninguna respuesta.



*Ilustración 14: Ubicación de los sectores que se están abasteciendo y/o complementando el servicio con camiones aljibes, comuna de Punitaqui.*

En la comuna de Ovalle, lo que se hizo fue hacer una solicitud vía Portal de Transparencia del Estado para el organismo Municipalidad de Ovalle con fecha el 27 de Mayo del 2022, de acuerdo a lo indicado en la llamada telefónica realizada el mismo día a las oficinas de SECPLAN<sup>11</sup> de la Municipalidad. Esto fue resuelto el día 9 de Junio de 2022, por la Coordinadora de la Unidad de Saneamiento Sanitario quien responde vía correo electrónico la solicitud de información por Ley de Transparencia con 4 archivos:

- PDF con respaldo de correos con solicitud de información.
- El Reglamento de Servicios Sanitarios Rurales.
- Nómina de Servicios Sanitarios de Ovalle, de donde se pudo realizar el cruce de información sobre sistemas de APR que se tenían a partir de lo facilitado por don Luis Alfaro y el Comité Técnico Hídrico de la Región de Coquimbo.

Efectivamente se corrobora que en la comuna existen 36 sistemas de APR, sus respectivas cantidades de arranques e incluía información de contacto (dirigentes y trabajadores) de todos estos sistemas. Por otro lado, como información adicional, se obtuvo que sólo en las siguientes localidades se cuenta con Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas:

<sup>10</sup> Cabe mencionar que el correo adjunto es el modelo utilizado para pedir información en todas las comunas.

<sup>11</sup> Siglas de Secretaría Comunal de Planificación.

Tabla 27: Localidades que cuentan con Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas. Fuente: Unidad de Saneamiento Sanitario comuna de Ovalle, 2022.

<b>Localidad</b>	<b>Tipo de Tratamiento</b>
Sonora los Acacios	Lodos activados
Santa Cristina	Lodos activados
Cerrillos de Tamaya	Lodos activados
Limarí (Los Llanos y Las Vegas)	Lodos activados
La Chimba	Lodos activados
Huamalata	Lodos activados
Villa Seca	Lodos activados
Villa Seca (escuela)	Lodos activados
Lagunilla Esc.	Lodos Activados
Socos Internado	Lodos Activados
el Trapiche(Escuela)	Lodos Activados
La Torre(Escuela)	Lodos Activados
San Miguel de Los Nogales	Lodos Activados
Carachillas	Lodos Activados

- Mapa Comités de APR:

## DISTRIBUCIÓN COMITÉS DE AGUA

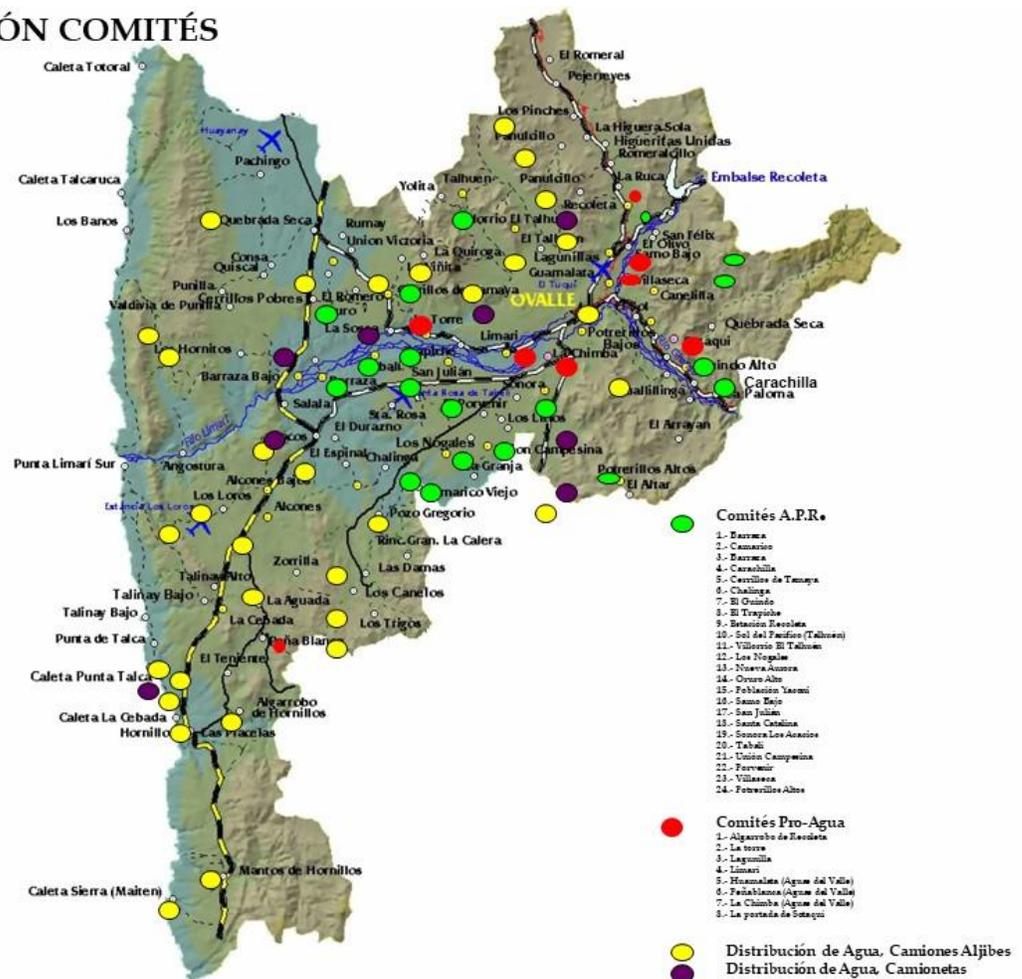


Ilustración 15: Distribución Comités de APR comuna de Ovalle. Fuente: Unidad de Saneamiento Sanitario comuna de Ovalle, 2022.

Desde el mapa podemos observar que aquellas localidades que están marcadas con color amarillo están recibiendo apoyo municipal de distribución de agua mediante camiones aljibes y aquellas que están marcadas con color morado reciben agua mediante camionetas. La cantidad de localidades en esta situación no es menor, un alto porcentaje de la comuna recibe agua en esta modalidad lo que significa que no cuentan con un servicio continuo y de calidad.

### 4.7 Visitas a Terreno

En el mes de febrero del año 2022 mediante el programa de Prácticas Profesionales en Sistemas de Agua Potable Rural de la IV Región de Coquimbo del Profesor Adolfo Ochoa en conjunto con la ingeniera civil María José Arellano, y respaldado por el departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile, es que se tuvo la oportunidad de trabajar en el APR Cerrillos de Tamaya de la comuna Ovalle, en donde se adquirieron conocimientos de cómo es la producción de agua, su infraestructura, su sistema de operación, la cantidad, calidad y continuidad del servicio y también los problemas que presentaban dentro del APR.

Se considera relevante comentar acerca de cómo es el funcionamiento del APR Cerrillos de Tamaya, ya que hay infraestructura y procedimientos que se repiten en los distintos Sistemas de

APR de la zona en cuestión y también la descripción se realiza desde una perspectiva interna dado que durante un mes completo se pudo levantar información real y actualizada.

#### 4.7.1 APR Cerrillos de Tamaya

Primero es necesario contextualizar acerca de este APR:

- El pueblo de Cerrillos de Tamaya se ubica a aproximadamente 20 [km] de la comuna de Ovalle hacia el Poniente.
- Este Sistema es uno de los más grande de la comuna y hasta febrero de 2022 contaba con 1.041 arranques entre domiciliarios y comerciales<sup>12</sup>.
- El pueblo tiene cerca de 1.600 habitantes según el último Censo en el año 2017. Sus habitantes se dedican principalmente a la agricultura, ganadería, negocios (minimarkets, panaderías, bazares, etc.) o se movilizan hasta Ovalle o La Serena para estudiar y/o trabajar.
- Este Sistema no abastece solamente al pueblo Cerrillos de Tamaya, sino que también a los sectores: Santa Cristina, Quebrada Seca, Los Olivos y El Siete. En la siguiente ilustración se pueden ubicar geográficamente todos los sectores mencionados.

Cabe destacar, que la red de tuberías abarca grandes distancias entre estos sectores, siendo casi 10 [km] de Cerrillos de Tamaya a Quebrada Seca y casi 8 [km] hasta el Sector el Siete.



Ilustración 16: Sectores que abastece el APR Cerrillos de Tamaya. Fuente: elaboración propia mediante Google Earth Pro.

Por otro lado, su sistema de producción se compone de:

<sup>12</sup> Los arranques comerciales son aquellos cedidos a instituciones, empresas, negocios u otros establecimientos distintos a las casas particulares. Estos pueden ser: escuelas/colegios, sedes de juntas de vecinos, clubes deportivos, instituciones fiscales, empresas agrícolas, etc.

- Captación del agua mediante dos pozos profundos que no trabajan simultáneamente sino que reciben señales distintas desde las Plantas de Ósmosis Inversa (POI).
- Potabilización del agua mediante Plantas de Ósmosis Inversa que lo que hacen es eliminar la salinidad con la que viene el agua desde la fuente directa, a través de un proceso físico y químico. En este APR cuentan con dos de estas plantas, las cuales ambas están operativas pero no de forma simultánea.
- Sistema de Impulsión: debido a las distancias entre la captación del agua, las POI y los estanques de almacenamiento, el sistema de impulsión del agua se divide en tres tramos.
  - Tramo I: de la captación (pozos) a POI.
  - Tramo II: de las POI a Planta Re – elevadora.
  - Tramo III: Planta Re – elevadora a estanque de almacenamiento en Cerrillos de Tamaya.

Para poder impulsar el agua es necesario el uso de salas de bombas que permiten trasladar el agua desde una cota menor a una mayor.

- Sistema de Distribución: como se mencionó anteriormente, este APR posee 1.041 arranques (hasta febrero de 2022) y abastece a 5 sectores por lo que su sistema de distribución es extenso.
  - Posee 3 estanques de almacenamiento de agua potable en el mismo pueblo de Cerrillos de Tamaya que son los principales. Son de 200, 100 y 50 [m<sup>3</sup>] y cada uno distribuye y abastece a diferentes sectores.
  - Posee estanques de emergencia (que también abastecen de agua potable a los sectores respectivos) en los sectores de El Siete y Quebrada Seca que son de 20 [m<sup>3</sup>].
  - La red de distribución se divide:
    - En Cerrillos de Tamaya pueblo
    - Entre Cerrillos de Tamaya y Santa Cristina
    - Entre Santa Cristina y Quebrada Seca
    - Entre Cerrillos de Tamara y sector Los Olivos
    - Entre sector Los Olivos y sector El Siete.
- Cloración del agua y re – cloración: para cumplir con la normativa chilena sobre agua potable es necesario clorar el agua que además elimina posibles microorganismos presentes en el agua producto que sale de las POI. Sin perjuicio de esto, debido a la disminución de cloro libre en el trayecto que recorre a través de la red de impulsión y distribución se debe hacer un trabajo de re – cloración en diversos puntos de la red de distribución. Entonces, a modo de resumen, el agua es clorada en:
  - Las POI
  - Los Estanques de Cerrillos de Tamaya
  - En la caseta de cloración que se encuentra camino a Santa Cristina
  - En la caseta de cloración que se encuentra en el estanque del sector El Siete

El sistema de cloración es similar en todos estos puntos y consiste en cloro diluido que es inyectado a la red mediante bomba dosificadora programada. Parte del sistema que se encuentra protegido por una caseta es:

- Recipiente que contiene el cloro granulado y un segundo recipiente que contiene el cloro diluido.
- Bomba dosificadora.
- Válvula de corte.
- Sensor de flujo.
- Llave de paso y de jardín por donde se puede extraer agua de la red.
- Presostato.
- Tablero eléctrico.

En este punto se entró más en detalle porque la cloración es un proceso que se repite en todos los APRs, pues para cumplir la norma todos deben incluir este paso en su proceso de producción de agua potable.

En conjunto con lo anterior, durante la práctica se realizó un lay-out que representa todo el sistema de producción del APR:

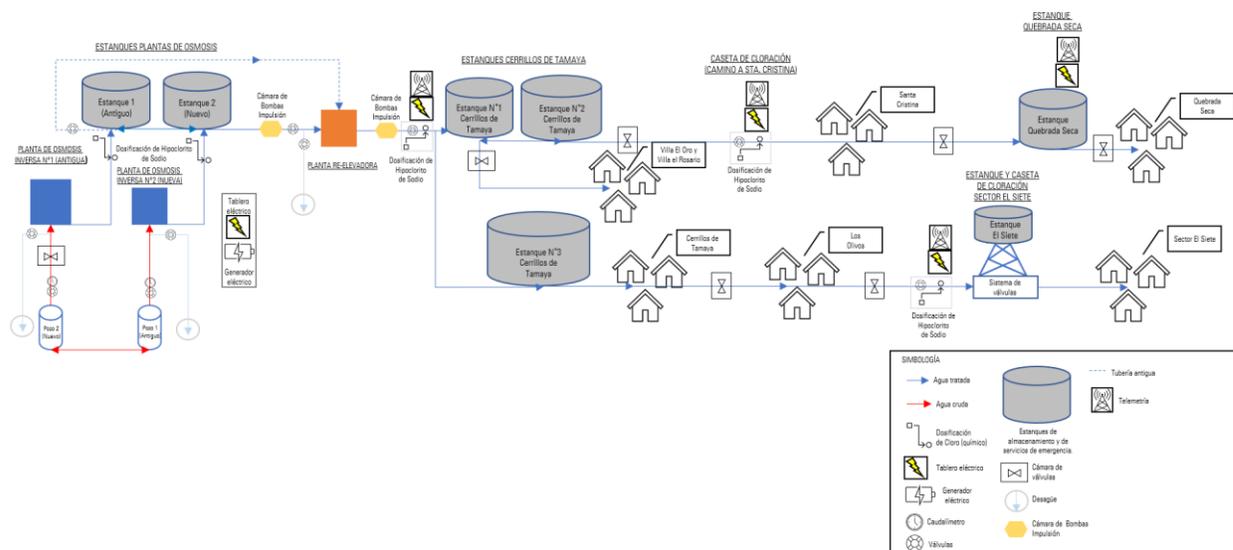


Ilustración 17: Lay-out APR Cerrillos de Tamaya. Fuente: elaboración propia.

Para ubicarse espacialmente se puede visualizar este APR en la siguiente Ilustración:

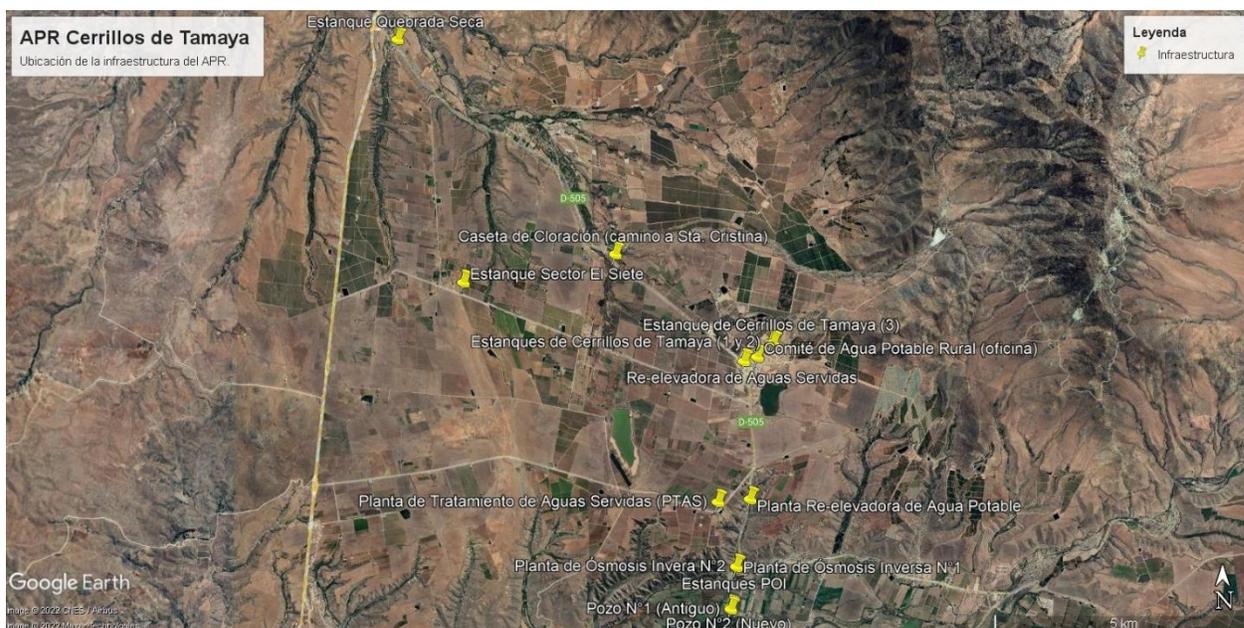


Ilustración 18: Infraestructura del APR Cerrillos de Tamaya ubicada espacialmente mediante aplicación Google Earth Pro. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se describe a muy grandes rasgos el sistema de operación:

- La captación de agua desde los pozos profundos se hace mediante bombas verticales sumergidas.
- El agua que es captada e impulsada desde los pozos se traslada mediante tuberías de alimentación a las POI.
- Una vez en las POI, se comienza un proceso de filtración por medio físico, un pretratamiento químico, un proceso de microfiltración y tratamiento de ósmosis inversa (paso del agua a través de membranas a altas presiones).
- El agua producto del proceso de ósmosis inversa se debe mezclar con agua cruda (directamente de la fuente) para su mineralización, luego de esto entra al proceso de cloración y finalmente el agua es potable.
- Luego, el agua potable queda almacenada en estanques de almacenamiento que se encuentran dentro del recinto de las POI, lugar desde el cual es impulsada a la Planta Re – elevadora mediante una sala de bombas<sup>13</sup>. En el recinto de esta planta existe un estanque de almacenamiento de emergencia que se utiliza en caso de que no esté llegando agua desde las POI.
- Desde la Planta Re – elevadora se impulsa el agua hasta los Estanques en Cerrillos de Tamaya mediante una sala de bombas.
- Desde los estanques de Cerrillos de Tamaya se distribuye el agua por gravedad a los distintos sectores descritos anteriormente. En camino a estos sectores existen puntos de re – cloración.

<sup>13</sup> En general, las salas de bombas son lugares en donde se encuentran las motobombas de alta presión que impulsan el agua. Además de las motobombas, existe un sistema de válvulas de: corte, retención y ventosa; caudalímetro y presostato.

Cabe destacar que hay procesos descritos anteriormente que son realizados por los operadores de los APRs y otros que son completamente automatizados, sin embargo, para el fin de este trabajo de título no es necesario entrar en ese nivel de detalles, lo que sí es relevante es explicar cómo es que funciona el sistema.

Por otra parte, es necesario comentar diversos aspectos vistos durante las prácticas en este Sistema de Agua Potable Rural:

1. Este APR en particular presenta muchos problemas de cortes del servicio. Como consecuencia, muchos usuarios se ven perjudicados con los cortes de agua que a veces se prolongan más de lo esperado. Respecto a los estanques de emergencia, si bien son de ayuda, se acaba muy rápido la reserva de agua ya que 20 [m<sup>3</sup>] de agua no es suficiente para la demanda de agua que existe en los distintos sectores que cubre el APR.
  - a. Uno de los principales problemas de corte de agua son las roturas de matriz, debido a fatiga de material y/o término de su vida útil debido a que gran parte de la red se encuentra en funcionamiento desde su construcción hace más de 20 años.
  - b. Otro problema que se genera a causa de las roturas es el ingreso de material particulado a la red durante la reparación de la rotura. En ocasiones ingresa arena y piedras del mismo suelo en el que se encuentra la tubería, lo que se tiende a acumular en singularidades del sistema como lo son las válvulas, codos u otros elementos de la red. Esto impide el paso del agua por estos lugares o pasa muy poca cantidad y no es suficiente para que llegue a las casas de los usuarios.
2. Este APR tiene una alta capacidad de producción de agua potable, sin embargo, no es ocupada a su 100% debido a la falta de infraestructura de almacenamiento.

#### 4.7.2 Visitas a otros sistemas de APR de la comuna de Ovalle, Monte Patria y Combarbalá

Durante los meses Agosto, Septiembre y Octubre de 2022 se tuvo la oportunidad de ir presencialmente a diferentes comités de Agua Potable Rural de la Provincia del Limarí, como parte de un proyecto de colaboración desarrollado por el Profesor Adolfo Ochoa Llangato. Estas salidas a terreno se llevaron a cabo durante una semana de cada mes en donde se logró conocer los siguientes sistemas:

- APRs Villaseca, Limarí, San Julián, Higuieritas Unidas, La Torre – Las Sossas de la comuna de Ovalle.
- APR Huatulame de la comuna de Monte Patria.
- APRs San Marcos y Cogotí 18 de la comuna de Combarbalá.

En cada una de estas visitas se levantó información relevante sobre su funcionamiento, infraestructura y los problemas que están presentando actualmente. A continuación, se describirán aspectos relevantes de cada sistema visitado, comentando acerca de lo visto y conversado con los dirigentes y/o trabajadores de estos APRs.

#### APR San Julián:

San Julián es un pueblo ubicado a la suroeste de la ciudad de Ovalle en la ribera sur del Río Limarí, tiene aproximadamente 800 habitantes que se dedican principalmente a la agricultura o trabajan fuera del pueblo (por ejemplo, en minería más al norte del país).

Este APR fue visitado el lunes 22 de Agosto, y a la fecha contaban con 227 arranques. Estos cubren cuatro sectores del pueblo:

1. Cerón
2. Asentamiento
3. San Julián
4. Alto La Gloria

Parte de su infraestructura es:

- Fuentes de agua: 1 pozo profundo operativo de 50 [m], existe otro de 32 [m] que se encuentra embancado<sup>14</sup> hasta los 8 [m] y un tercero que no tiene agua.
- Tratamiento del agua:
  - o Poseen una Planta de Osmosis Inversa sin funcionar (no es necesario en la actualidad).
  - o Poseen 3 filtros: 1 filtro ABMA-120 Aguasin que es un filtro reductor de hierro y manganeso, 1 filtro Multicapa modelo FPS – 120 – APM Pro – Equipos y otro sin identificar.
  - o Inyección de Permanganato de Potasio al agua.
  - o Cloración del agua en una dosificación de 800 [gr] de cloro por cada 100 [lt] de agua.

La impulsión al tratamiento es mediante tubería de HDPE de 3”.

- Almacenamiento: 1 estanque re – elevador semienterrado de 20 [m<sup>3</sup>] que impulsa a los 2 estanques semienterrados de 70 [m<sup>3</sup>] y 100 [m<sup>3</sup>].
- Operación del sistema: una bomba impulsa 5 [l/s] a los estanques de 70 y 100 [m<sup>3</sup>], esta trabaja desde las 23:00 hrs en adelante y se detiene cuando los estanques están en su máxima capacidad.
- Distribución: la red esta materializada con PVC.
- Sistema eléctrico: utilizan energía de la red pública proveída por CGE, y también poseen generador de respaldo que no está instalado y por lo tanto no se encuentra disponible para operar.

El sistema cuenta con sistema de medición de caudales mediante caudalímetros que se encuentran en el pozo y a la salida de los estanques.

En la vista se comenta que el sistema estaba presentando problemas debido a la falla de una de sus bombas, la solución que tuvieron en ese momento fue recibir 3 camiones aljibes al día de Lunes a Domingo además de solicitar la mantención de la bomba con su garantía correspondiente en la ciudad de La Serena.

Otros temas relevantes:

- Poseen un generador eléctrico no operativo.
- Poseen un estanque plástico para almacenamiento de agua de 20 [m<sup>3</sup>] sin usar.

---

<sup>14</sup> Según la RAE es: “Dicho de un río, de un lago, etc.: Cegarse por las tierras de aluvión.”

- Turbiedad del agua.
- Existe la necesidad de buscar más fuentes de agua porque las hay, sin embargo, hace falta estudiar donde y la calidad de esta.
- No tienen alcantarillado, el sistema que utilizan son fosas particulares que son limpiados por camiones.
- Necesidad de cambio de piezas que ya cumplieron su vida útil y requieren reposición como válvulas de Fe fundido que están oxidadas.
- No cuentan con pozómetros para medir niveles freáticos, por lo tanto, no los miden. Tampoco tienen registros de pruebas de bombeo, por lo que desconocen la capacidad del pozo que se encuentra operativo.

#### APR Huatulame:

Huatulame es un pueblo al sur de la comuna de Monte Patria de aproximadamente 2.300-2.500 habitantes.

Principalmente lo realizado en este APR fue el levantamiento de información sobre problemas que están presentando en sus sistemas, a continuación se detallan los más relevantes:

- En Agosto recibieron apoyo de camiones aljibes debido a un contrato que tenían vigente desde hace 2 años, estos camiones son financiados por la ONEMI.
- Falta de agua en acuíferos.
- Existen muchos pozos ilegales en la zona que contribuyen a la disminución de agua de las napas subterráneas que alimentan los pozos que usan los APR.
- No se otorgan factibilidades de conexión a la red a personas que se encuentren a más de 12 [m] de la matriz, ni tampoco se puede atravesar la carretera, ni la vía ferroviaria, ni el río. Esto excluye a muchas familias de conectarse a red de agua potable.
- Aumento del hacinamiento, en un solo hogar viven más de 10 personas o construyen más de una casa en un mismo terreno que solo tiene acceso a un medidor. Esto implica aumento de demanda.
- Habitantes viven en zonas de toma donde no tienen acceso al agua potable.

#### APR San Marcos:

San Marcos es un pueblo que se encuentra al norte del embalse Cogotí en la comuna de Combarbalá. A la fecha de visita el 25 de Agosto de 2022 tienen 482 arranques de los cuales 254 también tienen sistema de alcantarillado cubriendo los sectores:

1. Malpaso
2. San Marcos Viejo
3. San Marcos

En la visita se comentaron los siguientes temas:

- Oposiciones de los socios y usuarios del comité APR en relación con integrar al sector La Moralea al sistema. Se rehúsan a “compartir” el agua debido a la escasez que se presenta en la zona.

- El estanque de almacenamiento de agua potable de su sistema es insuficiente. La bomba impulsora de agua trabaja diariamente 18 [hrs] lo que mantiene en un buen nivel de agua el estanque, sin embargo, si trabaja menos de esas horas o deja de funcionar, el estanque se vacía rápidamente debido a la alta demanda del sector.
- No son autónomos energéticamente hablando, dependen de un fundo particular.
- Poseen Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) que está al máximo de su capacidad.
- Los dirigentes proyectan más demanda de agua a futuro por lo que requieren proyectos de ampliación y mejoras del sistema. Esto incluye buscar nuevas fuentes de abastecimiento.

#### APR Villaseca:

Villaseca es un pueblo que se encuentra a 7-8 [km] al nororiente de la comuna de Ovalle. En esta localidad, las personas se dedican principalmente a la agricultura y la ganadería como en gran parte de los sectores alejados de la ciudad.

De acuerdo a la información proveída por los dirigentes y trabajadores de este APR, actualmente cuentan con 581 arranques. Parte de la infraestructura de este sistema es:

- Fuente de agua: 2 pozos profundos.
  - o Pozo N°1: abastece sectores Samo Bajo, Villaseca (incluyendo la escuela y la oficina del comité), Villa San Antonio y La Cuca 2.
  - o Pozo N°2: abastece a sectores Barrancas, La Puntilla, El Espinal, Los Llanos (incluye Las Minas) y Canelilla Alta y Baja.

Según los operadores del sistema, los niveles actuales de los pozos son los siguientes:

*Tabla 28: Niveles actuales de los pozos del APR Villaseca, comuna de Ovalle.*

<b>Característica</b>	<b>Pozo 1</b>	<b>Pozo 2</b>
Profundidad [m]	26	70
Nivel estático [m]	3,56	3,26
Nivel dinámico [m]	3,86	6,7

Cada pozo cuenta con una bomba de 10 HP que impulsan el agua hacia los estanques de almacenamiento.

- Tratamiento del agua: cuentan con dos filtros, uno para cada pozo, por el cual pasa el agua que es impulsada de los pozos y luego continúan hacia los cloradores en donde se inyecta a la red cloro en una dosificación de 800 [gr] en 80 [lt] de agua. La impulsión hacia el tratamiento es mediante tubería de PVC de 110 [mm] y HDPE de 75 [mm].
- Almacenamiento del agua:
  - o Estanque elevado metálico de 30 [m] de altura con capacidad de 100 [m<sup>3</sup>]. Este estanque es alimentado directamente por el pozo N°1.
  - o En cuanto al pozo N°2 este alimenta a 4 estanques:
    - Dos estanques de 20 [m<sup>3</sup>] de capacidad.
    - Estanque de 30 [m<sup>3</sup>] ubicado en el sector de Los Llano.

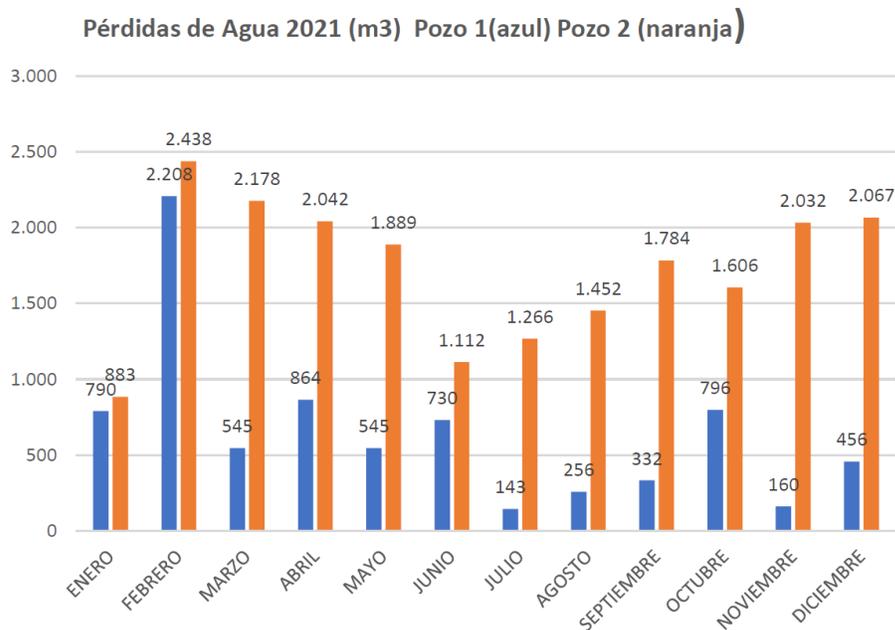
- Estanque de 20 [m<sup>3</sup>] ubicado en el sector Canelilla Alta.
- Distribución: la red de agua potable es del año 1987 aproximadamente y esta materializada con PVC de 63 [mm] con algunos tramos de HDPE. Además, la red cuenta con válvulas de corte sectorizadas para controlar el paso del agua por la red en caso de fallas.
- Operación del Sistema:
  - El bombeo del pozo N°1 es 8 [hr] al día, lo que aumenta a 12 [hr] al día en temporada de verano.
  - El bombeo del pozo N°2 es de 11 [hr] al día, lo que aumenta a 17 [hr] al día en temporada de verano.
- Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS):
  - Planta re – elevadora de agua servida (bomba impulsora).
  - Cámara desarenadora que funciona por decantación.
  - Cámara de sopladores/aireadores.
  - Sala de sopladores.
  - Sistema de separación de agua limpia (rebalse).
  - Canchas de secado de lodo.
  - Sistema de cloración del agua de salida.
- Sistema eléctrico: Utilizan energía de la red pública, proveída por la empresa CGE. Además, cuentan con tres generadores de respaldo de 20 KVA, uno en cada pozo y otro en una planta re – elevadora ubicada en el sector de Los Llanos.

El sistema posee sistemas de medición de caudales mediante caudalímetros, uno por cada pozo y otro en la salida de los estanques.

Un tema importante que surgen en los sistemas de APR son las pérdidas de agua potable, es por lo que según información proporcionada por el APR Villaseca<sup>15</sup> se pudo acceder a la cantidad en metros cúbicos de pérdidas que tuvo este sistema en particular el año 2021 respecto a cada pozo que mantienen operativos.

---

<sup>15</sup> Información que se encuentra tabulada y anexada al informe.



*Ilustración 19: Pérdidas de agua potable en [m<sup>3</sup>] de cada pozo operativo en el APR Villaseca, comuna de Ovalle. Fuente: elaboración Adolfo Ochoa Llangato.*

Lo anterior, representa un 18% de pérdidas en el pozo N°1 con 7.825 [m<sup>3</sup>] y un 30% de pérdidas en el pozo N°2 con 20.749 [m<sup>3</sup>]. Con esta información se puede concluir que cada 4,7 años este sistema está perdiendo la cantidad de agua equivalente a un año de consumo/venta para el caso del pozo N°1 y para el caso del pozo N°2 esto sería cada 2,3 años.

Por otro lado, algunos temas relevantes conversado en la visita fueron:

- Pérdida de agua proveniente del Pozo N°2 debido a roturas de matriz (por fatiga de material o término de su vida útil) o por hurtos a lo largo de la red.
- Problemas en sectores donde la matriz se encuentra a la vista a causa de hundimiento de suelo y desprendimiento de taludes.
- Necesidad de cambios de matriz en algunos sectores por continuos y frecuentes daños en la red.
- Requieren de ampliaciones del sistema para incluir a más sectores en la red.
- Organización de fondos de acuerdo a la nueva Ley de Servicios Sanitarios Rurales.
- Poseen una presurizadora en el sector El Espinal construida por la DOH que no está funcionando debido a que no cumple su función y no aumenta la presión de la red. Están a la espera de que se corrija lo ejecutado.
- PTAS no da abasto cuando se presenta una mayor carga de agua servida por lo que se debe recurrir a recircular los líquidos, es decir, hacer dos veces tratamiento.

#### APR Limarí:

El Limarí es un pueblo que se ubica a aproximadamente 10 [km] al sur poniente de la comuna de Ovalle. Esta visita se efectuó el día 13 de septiembre del 2022, en donde se encontraron presentes dos dirigentes del APR.

En el mes de febrero de 2022 se registran 706 arranques, sin embargo, los dirigentes mencionan que a la fecha ese número se acerca a los 800. Estos se distribuyen en los siguientes sectores:

- Limarí: Víctor Domingo Silva, Villorrio, La Villa, Las Parcelas, Los Silos, Nueva Esperanza.
- Las Vegas: Las Vegas, El Sueño de mi Hogar.
- Los Llanos: Los Llanos, Esperanza Nueva.

Parte de la infraestructura de este sistema es:

- Fuentes de agua: poseen tres pozos cuyas características se entregan a continuación.

*Tabla 29: Información pozos del sistema de APR Limarí, comuna de Ovalle.*

Pozo N°	Alias	Cota [m.s.n.m.]	Caudal [l/s]	Profundidad [m]	Nivel estático [m]	Diámetro
1	Pozo del Río	150	5	18	4,27	10"
2	Pozo Auxiliar	156	5	18	-	12"
3	Pozo Principal	156	12,5	16	4,6	12"

- Tratamiento del agua: inyección de hipoclorito de calcio.
- Almacenamiento:
  - o Dos estanques elevados de 50 [m<sup>3</sup>] sector Limarí.
  - o Dos estanques apoyados de 20 [m<sup>3</sup>] en sector Los Llanos.
  - o Estanque elevado de 25 [m<sup>3</sup>] sector Las Vegas.
- Operación del sistema:

En el pozo N°1 se presenta un filtro floculador, donde el agua es tratada y posteriormente llevada a la caseta de cloración ubicada en el pozo N°3. El pozo N°2 entrega agua al pozo N°3 para luego ser extraída el agua total de ambos pozos para trasladarla a las casetas de cloración del pozo N°3.

Luego, el agua es tratada e impulsada a dos estanques elevados en el sector de Limarí los cuales almacenan y distribuyen agua hacia el pueblo Limarí y hacia las re – elevadoras de Los Llanos y Las Vegas, desde estos últimos dos sectores se almacena agua en sus respectivos estanques y distribuyen a los sectores de mismo nombre.

Algunos temas relevantes conversado en la visita fueron:

- No poseen alcantarillado en toda la localidad.
- Los pozos han disminuido su nivel, se encuentran deprimidos. El pozo N°2 alimenta al N°3 y desde ahí de forma instantánea bombean 12,5 [l/s], en cuanto al pozo N°1 este bombea 7 [l/s], sin embargo, solo bombea 5. Lo anterior implica más horas de funcionamiento de las bombas.
- Petición de camiones aljibes a través de juntas de vecinos por falta de agua.
- En peaks de consumo los estanques existentes se vacían rápidamente, por lo que se estima que requieren de más capacidad de almacenamiento (otro estanque) que asegure el suministro a la población. Según sus dirigentes, están requiriendo una capacidad de almacenamiento para 430 [m<sup>3</sup>] diarios.

- Problemas de presión de agua en sector Los Llanos.

#### APR Cogotí 18:

La localidad de Cogotí 18 se encuentra ubicada al nororiente de la comuna de Combarbalá. A la fecha de visita, el 14 de Septiembre del 2022 contaban con 542 arranques. El pueblo se encuentra a una cota aproximada de 850 [m.s.n.m.] según Google Earth Pro. La red de agua potable cubre los siguientes sectores:

1. Las Tinajas.
2. Los Llanos.
3. Cogotí 18.
4. La Cuadra.

Parte de la infraestructura de este APR es la que se describe a continuación:

- Fuentes de agua: 3 pozos.
  - o Pozo N°1: es el único que se encuentra habilitado.
  - o Pozo N°2 y N°3: no están funcionando. En años anteriores estos pozos se utilizaban para alimentar al pozo N°1, ya que este se encontraba seco y no rendía lo suficiente para abastecer a la población.
- Tratamiento del agua: a través de un sistema de cloración, en donde se agregan 2.400 [gr] de cloro sólido (Hipoclorito de Calcio) a 150 [lt] de agua, lo cual se inyecta a la red.
- Almacenamiento: cuentan con 4 estanques.
  - o Estanque en sector Los Llanos de 150 [m<sup>3</sup>].
  - o 2 estanques en Cogotí 18 de 50 [m<sup>3</sup>].
  - o Estanque en sector Las Tinajas de 50 [m<sup>3</sup>].
- Operación del sistema: impulsión desde el pozo N°1 a través de bombas hasta el sistema de cloración, luego el agua se dirige a los estanques de Cogotí 18. Una vez llenado los estanques, la bomba se detiene. Estos dos estanques abastecen al sector Cogotí 18 y al estanque del sector Los Llanos, y este último distribuye a los sectores Los Llanos y La Cuadra. Desde los mismos estanques de Cogotí 18, mediante bombas, se impulsa el agua hasta el estanque del sector de Las Tinajas y desde este se distribuye agua al sector.

De la visita, se lograron identificar los siguientes problemas que posee el APR:

- Parte del sector La Cuadra y un sector llamado Las Garillas no se encuentran conectados a la red y requieren del servicio. Entre los dos sectores son 22 casas aproximadamente que necesitan la factibilidad de conexión.
- Baja presión de agua.
- La impulsión desde el pozo N°1 hasta los estanques principales en Cogotí 18 han sufrido muchos daños y han tenido que hacer reparaciones artesanales. La red cuenta con más de 30 años de funcionamiento con materialidad de acero galvanizado.
- Cuentan con generador eléctrico no instalado y por ende no operativo.
- La red no se encuentra sectorizada con válvulas de corte, lo que genera problemas a la hora de realizar reparaciones de matriz, debido a que deben cortar el agua en

gran parte del sistema. Dirigentes y trabajadores mencionan que ellos como APR invirtieron en la compra de válvulas de corte, sin embargo, éstas aún no han sido instaladas a la fecha.

#### APR La Torre-Las Sossas:

Este sistema integra las localidades de La Torre y las Sossas que se encuentran a aproximadamente 20 [km] al poniente de la ciudad de Ovalle. A la fecha de visita el 3 de Octubre de 2022, según información entregada por los dirigentes cuentan con 462 arranques.

Parte de la infraestructura que posee este sistema es el que se describe a continuación:

- Fuentes de agua:
  - Pozo de 80 [m] que no está funcionando debido a una falla que se presentó en la bomba. Esta bomba extraía 1,51 [l/s] cada media durante todo el día.
  - Noria de 18 [m], desde donde se extraen 4,51 [l/s] y en promedio lo hace 10 horas al día (en otras palabras, funciona las 24 hrs de forma discontinua).
  - Pozo de 14 [m] que no se está usando.
  - Está en proceso de construcción un nuevo pozo profundo de 150 [m] que servirá para abastecer a los sectores: La Torre, Las Sossas y La Placa, en donde en este último son aproximadamente 60 casas que cuentan con APR, sin embargo, presentan déficit de agua y les llega agua mediante camiones aljibes proporcionados por la Municipalidad de Ovalle.  
Falta realizar la prueba de bombeo, pero se predice un caudal de entre 8 a 9 [l/s].



*Ilustración 20: Ubicación geográfica de las localidades que integran los APRs La Torre - Las Sossas y La Placa.*

- Impulsión: tramos de cañerías de galvanizado, HDPE y PVC de entre 90 y 125 [mm].

- Tratamiento del agua: el único tratamiento que recibe el agua es la aplicación de cloro, se inyecta al sistema la mezcla de 800 [gr] de cloro en 100 [l] de agua. No cuentan con filtros ni planta de ósmosis inversa.
- Almacenamiento del agua:
  - o Estanque de hormigón armado (HA) de 8 [m] de diámetro y 24 [m] de altura, semienterrado de 140 [m<sup>3</sup>] de capacidad.
  - o 4 estanques plásticos de reserva con capacidad de 20 [m<sup>3</sup>] cada uno.

El estanque de HA es el principal y está controlado por un flotador que detiene el vaciado de agua cuando está en su máxima capacidad. En cuanto a los estanques de reserva, estos son llenados por camiones aljibes enviados por la gobernación y esa agua es vertida en la noria que está operando, desde donde es impulsada hasta la planta de tratamiento de agua potable y desde ahí hasta el estanque principal.
- Distribución: las cañerías de la red son de 110 [mm] al comienzo y termina con 63 [mm], no se apuntó la materialidad de la red de distribución. En cuanto a la operación de las bombas, el operador no cuenta con un registro de la actividad.
- Sistema eléctrico: cuentan con un generador eléctrico operativo para casos de emergencia.

Temas relevantes que fueron comentados en la visita:

- Entre diciembre de 2021 y junio de 2022 tuvieron racionamiento de agua. Esto consistía en cortar el suministro y sólo la daban por 2 horas al día y por sectores, además, esto se sostenía a través de camiones aljibes ya que los pozos existentes no tenían agua.
- El estanque se encuentra dentro de un terreno privado, lo cual esperan poder comprar para que quede dentro de terrenos del APR. Esto está en conversaciones, sin embargo, el terreno subió su precio por cambio en el uso del suelo (pasó a ser urbano). Esto es relevante para poder realizar cambios y mejoras a su sistema actual, por ejemplo, elevarlo o construir otro.
- Para poder apoyar en el abastecimiento del sector de La Placa, los dirigentes y trabajadores del APR convienen en que el estanque de almacenamiento debe estar a una cota mayor para que los usuarios no tengan problemas con la presión de agua.
- Si bien todo el pueblo cuenta con red de agua potable, no cuentan con alcantarillado, solo fosas domiciliarias. También, aún existen muchos pozos negros. Este comentario nace a partir del deseo de los dirigentes y trabajadores del APR de contar con sistema de alcantarillado y planta de tratamiento de aguas servidas, pero desconocen si esto significa un mayor uso de agua potable (esto es necesario estudiarlo).

#### APR Higuieritas Unidas:

La localidad de Higuieritas Unidas se encuentra al norte de la ciudad de Ovalle a aproximadamente 24 [km], es aledaña a la autopista de camino a la comuna de La Serena, se caracteriza por ser un sector de secano y se extiende a los lados de la Quebrada del Ingenio. Es una localidad muy pequeña y según los propios dirigentes, trabajadores y vecinos del APR, la mayoría de sus habitantes son personas mayores, jubilados/pensionados y otras familias que trabajan y/o estudian en Ovalle.

En la actualidad el APR cuenta con 107 arranques y su sistema cuenta con la siguiente infraestructura:

- Fuentes de agua:
    - Pozo de 46 [m] de profundidad y 6” con bomba a los 40 [m] que se encuentra bombeando 1,3 [l/s].
    - Suministro mediante camiones aljibes: dos diarios de 20.000 [l] cada uno.
    - Noria de 15 [m] que se secó en Agosto de 2020. Sin embargo, por las lluvias que se presentaron en Junio y Julio del presente año la noria ahora si presenta agua por lo que se espera una pronta habilitación para poder operarla, para lo cual es necesario cambiar la bomba antigua.
    - Pozo de 31 [m] de profundidad y 10” que les entregaron recientemente. Este se encuentra bombeando entre 1,6 – 1,8 [l/s].
  - Impulsión: desde el pozo de 46 [m] envía el agua a un estanque de acumulación de 10 [m<sup>3</sup>], después se dirige a la planta de tratamiento por donde pasa por el clorador y luego es impulsado a estanques de almacenamiento de 10 y 20 [m<sup>3</sup>] respectivamente, ambos ubicados hacia el cerro que se encuentra al sur oriente de la ubicación de los pozos. La tubería que conduce el agua entre el estanque de 10 [m<sup>3</sup>] y los otros estanques es de PVC y de 2”.
- La impulsión original nacía en la noria, pero una vez que dejó de operar, el APR realizo una conexión entre el pozo profundo con la impulsión original mediante una tubería de HDPE que le hace entrega de agua.



*Ilustración 21: Solución temporal realizada por APR Higuieritas Unidas, alimentación de la noria a través de pozo profundo mediante tubería de HDPE .*

- Tratamiento del agua: sólo hacen inyección de cloro a la red. Los análisis del agua indican una buena calidad del agua que extraen de sus fuentes, tanto los análisis

fisicoquímicos como bacteriológicos han entregado resultados satisfactorios respecto a lo que se indica en la normativa de agua potable chilena.

- Almacenamiento:
  - o Estanque de hormigón armado de 20 [m<sup>3</sup>] semienterrado.
  - o 4 estanques plásticos, dos de estos son de 20 [m<sup>3</sup>] y se encuentran dentro del recinto de la planta de tratamiento del agua y los otros dos son de 10 [m<sup>3</sup>] uno ubicado en el recinto de la planta de tratamiento del agua y otro en el recinto donde se encuentra el estanque de HA.
- Distribución: las características de la cañería de la red son 6 [km] de 75 [mm] y 5 [km] de 63 [mm] lo que hace un total de 11 [km] de red aproximadamente.
- Energía eléctrica: son abastecidos con electricidad por la empresa CGE y actualmente cuenta con generador eléctrico de respaldo pero están a la espera de un cambio de generador por parte de la DOH.

Temas que surgieron como comentarios entre los presentes en la visita fueron los siguientes:

- En el pasado han tenido que recurrir al racionamiento del agua, de forma que daban agua solo día por medio.
- Actualmente, tiene la necesidad de asegurarle el servicio por las 24 [hr] del día a todos sus usuarios.
- Hay sectores al otro lado de la quebrada que no tiene acceso al agua al que llaman Alto Higuierita Norte y Alto Higuierita Sur, en donde son aproximadamente 60 familias. Se estima que este número crezca debido a la venta de terrenos en el sector, estimando un crecimiento a 150 familias.
- Para poder ampliarse y tener la capacidad de proporcionar el servicio a más familias del lugar que actualmente están sin conexión a la red, esperan poder tener otra planta de tratamiento de agua potable y otro estanque de almacenamiento.
- No poseen manual de operación y mantenimiento de su sistema, ni tampoco presentan planos o lay – out que muestren sus instalaciones.
- Necesitan reforzar gaviones que protegen la infraestructura de sus pozos ya que cuando el agua circula por la quebrada (lugar en donde se encuentran los pozos), el agua comienza a salir turbia desde su fuente.
- No poseen telemetría.

#### Comentarios finales sobre la visita a los APR:

- En casi todos los sistemas visitados existe la falta de Planos que evidencien las instalaciones, la red de tuberías existentes y su materialidad, las memorias de cálculo, etc. En general, les hace falta respaldo de las obras construidas en sus sistemas.
- La comunicación con la DOH es escasa y deberían estar fortalecidas debido a la nueva Ley N°20.998 vigente desde el año 2021.
- Muchos de las localidades que cuentan con sistema de APR no cuentan con alcantarillado, algo que es fundamental para la calidad de vida de las personas.
- En general, cuentan como principal solución a los problemas de falta de agua el abastecimiento mediante camiones aljibes, lo cual representa un costo para las distintas entidades públicas a cargo de estas situaciones de emergencia

(Municipalidad, Gobernación, ONEMI, etc.). Esto también debería ser considerado como tal, un apoyo para casos de emergencia, sin embargo, es más bien la única forma en que han podido combatir la crisis del déficit de agua en los sistemas de APR, es más, muchos de estos sistemas han estado por meses siendo abastecidos sólo por camiones aljibes, recibiendo más de uno al día.

- Los dirigentes de los sistemas de APR han tenido que actuar ante los diferentes problemas de forma autónoma, teniendo que tomar decisiones ante situaciones complicadas como lo es la falta de agua, de infraestructura, etc. Además, en muchas ocasiones han tenido que invertir los propios recursos que tienen como APR en soluciones de emergencia (camiones aljibes), restauraciones, mejoras y/o construcción de infraestructura necesaria para asegurar la calidad, cantidad y continuidad del servicio, lo que ha significado una disminución del capital que poseen estos sistemas.
- Envejecimiento de los sistemas. Muchos de estos se encuentran operativos hace más de 20 años y no tienen mantenimientos, reparaciones o cambios de infraestructura de acuerdo al avance del tiempo, lo cual hace que los sistemas presenten más problemas de los que deberían enfrentar. A causa de esto, presentan muchas pérdidas de agua, problema que debería estudiarse a causa de lo difícil que ha sido para todos estos sistemas enfrentar la escasez hídrica.
- Muchos de los dirigentes comentan la cantidad de hacinamiento que existen en las localidades dado que en un solo terreno las familias construyen más de una vivienda con el fin de aprovechar el acceso al agua que tienen, razón por la que se generan sobreconsumos.
- Compartir el agua: las personas sienten pertenencia del agua y en ocasiones se rehúsan a compartir con otras comunidades/pueblos. En este punto, se hace referencia a la necesidad que hay en algunas localidades con sistemas de APR de ampliar sus redes y unir a otros sectores que necesitan el acceso al servicio, sin embargo, en muchas ocasiones son los mismos vecinos y usuarios de estos sistemas que se niegan a aceptar estas ampliaciones debido a los déficits hídricos que se han presentado en la zona y han vivido como comunidad.
- Las lluvias de este año en la Región de Coquimbo permitieron que se alimentaran algunos de los acuíferos que abastecen a los APRs y esto posibilitó que algunos pozos comenzaran a proveer más agua, es decir, se logró bombear más caudal del que se estaba extrayendo hasta antes de las lluvias. Si bien esto fue una muy buena noticia para los APRs que salieron de los problemas de escasez de agua que estaban sobrellevando, se sabe que si no hay más precipitaciones como las que hubo, los caudales irán disminuyendo nuevamente.

#### 4.7.3 Otras actividades en terreno

El 24 de Agosto del 2022 se tuvo oportunidad de participar en la Asamblea General de la Asociación Gremial comités de APRs de la Provincia del Limarí que se realizó en las instalaciones de la delegación presidencial provincial en la comuna de Ovalle. En esta se atienden temas que son de interés general de los APRs como lo son:

- Problemas más comunes:
  - o Aparente falta de agua para abastecer la demanda que presentan.

- Equipos en mal estado o dañados e inservibles.
- Falta de infraestructura como extensiones de redes para más gente que quiere acceder al servicio o infraestructura de almacenamiento.
- Red de tuberías envejecidas que necesitan un cambio, etc.

Y en esta instancia se busca poder dar solución a estos a través de la misma Asociación o contactando a las autoridades comunales y regionales pertinentes que cuentan con recursos para dar apoyo a los APR.

También, se invitan a distintos expositores para informar, capacitar y apoyar a los dirigentes de los sistemas de APR en distintas temáticas como:

- Seguridad de los trabajadores
- Oportunidades de mejoras del servicio, etc.

En particular, lo que se rescata de esta asamblea es la discusión sobre la insuficiencia de los camiones aljibes para abastecer a las comunidades en casos de emergencia. Por ejemplo, la municipalidad de Ovalle cuenta con 10 camiones para realizar tareas de repartición de agua potable a distintos sistemas de APR que lo requieran, lo cual parece insuficiente cuando aparecen problemas imprevistos como sistemas que presenten fallas como lo fue en su momento el caso del APR San Julián y Trapiche en la semana del 15 al 22 de Agosto en donde ambos requerían 3 camiones diarios (además de otros sistemas que solo se están abasteciendo por camiones aljibes diarios).

Otros temas relevantes tocados en esta reunión fueron:

- El horario punta<sup>16</sup> que corre para estos sistemas en invierno: esto consiste en dejar de usar la energía eléctrica que utilizan en sus sistemas porque de lo contrario se les aplican multas en sus tarifas. En general, esta medida de ahorro de energía perjudica a los APR ya que requieren que sus sistemas funcionen las 24 horas del día para abastecer a todos sus usuarios.
- Problemas con CGE por la electricidad y los recurrentes cortes de luz que presentan.
- Falta de apoyo técnico por parte de las instituciones correspondientes en situaciones complejas, como por ejemplo apoyo de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH).
- Los dirigentes debaten sobre la Ley 20.998 que regula los sistemas sanitarios rurales, que los incluye. Si bien en algunos aspectos los favorece, en otros se encuentran perjudicados debido a las condiciones en las que se encuentran. Un ejemplo de esto es que no todos los pueblos tienen un buen acceso a internet, y la nueva ley exige boletas electrónicas que se hacen en línea.

---

<sup>16</sup> El horario punta corresponde al periodo correspondido entre las 18 – 22 hrs, entre el 1 de Abril y el 30 de Septiembre.

## 5. Definición de embalse sustentable y materialidad de la presa

En este capítulo se intentará definir un embalse sustentable, y se detallarán las características de los embalses propuestos para almacenamiento y suministro de agua de potable a las comunidades rurales. Se abordarán características materiales de la presa y el embalse; sin embargo, hay factores ambientales y sociales involucrados que son importantes abordar.

Dentro de los aspectos que se pueden mencionar y desarrollar, para encontrar esa definición, se destacan los siguientes:

- a) Diseño participativo: no se trata de imponer una solución técnica como ésta, a las personas y comunidades, para contribuir a resolver el problema de falta de agua. Se trata de:
  - Informar a la comunidad sobre el estado actual y las proyecciones que se estiman puede haber en un contexto de sequía y cambio climático, y por qué es necesario tomar medidas para asegurar el recurso agua.
  - Mostrarles las alternativas posibles y que se han ideado y desarrollado hasta ahora, como estos embalses, las plantas desalinizadoras, el uso de los embalses destinados para el riego, y más pozos profundos y a mayores profundidades que lo habitualmente realizado, como fuente de agua potable.

El diseño participativo de un embalse sustentable permitirá que las personas y comunidades aporten su conocimiento sobre los territorios, señalando lugares adecuados y propicios, luego de explicarles las características que éstos deben reunir para emplazar una presa. Asimismo, el diseño participativo permitirá conocer a los propietarios de los terrenos y encontrar soluciones para su destinación al uso como embalse sustentable. También, en esta etapa, se debe dimensionar el tamaño del embalse y su utilidad, que no sería sólo para una comunidad, sino un conjunto de ellas o de APRS, generando espacios de solidaridad entre ellas; y el conocimiento sobre el tamaño del embalse que, en términos comparativos con los embalses destinados a riego, es menor. Asimismo, se podrá hablar sobre su utilización como espacio turístico y balneario, porque el embalse junto con producir un cambio en el paisaje podrá generar al mismo tiempo un lugar de esparcimiento comunitario.

- b) Presentar a las personas y comunidades los métodos constructivos de las obras involucradas, los plazos de construcción y los recursos a emplear, tanto materiales, de maquinaria y mano de obra y profesionales; y los terrenos necesarios para el emplazamiento de las obras permanentes y las temporales, éstas últimas necesarias para la construcción. Esto, más allá del estudio de impacto ambiental y del cumplimiento de la ley de bases de medio ambiente. Esta información, junto con el diseño participativo, se deben hacer tempranamente, incluso antes de cualquier gestión formal tendiente al cumplimiento de las normas y leyes vigentes. Mostrar también que la construcción de las obras permitirá emplear mano de obra local, generando ambientes de compromiso con el proyecto, que no les debe ser ajeno, porque no será para beneficio de otros, sino para su propio beneficio. Esto último ya es una diferencia con los embalses tradicionalmente construidos en Chile. En efecto, los embalses para riego son para los agricultores y no para los APRs, y los embalses de las centrales hidroeléctricas, sólo para la hidroelectricidad y su producción no queda en las comunidades donde se emplazan.

- c) La información a las comunidades debe incluir todas las utilidades que puede tener un embalse como éste, aparte de la principal que es su uso como fuente de agua potable, también como balneario o lugar de esparcimiento para las personas y comunidades locales, siembra de peces, si la comunidad así lo decide, navegación, etc.
- d) Todo lo anterior se estima hará que las personas y comunidades aprecien no sólo el proceso de inserción de este tipo de proyectos, sino el proyecto mismo que será para ellos.

Como se ha mencionado anteriormente, el proyecto de embalse sustentable consiste en la infraestructura necesaria para el acopio de aguas de un tamaño pequeño – mediano que, en comparación a los ocupados en hidroelectricidad, minería, riego, etc. son considerablemente más pequeños, y cuya función es exclusivamente almacenar agua para consumo humano, de forma que permita abastecer a comunidades rurales que se encuentren aledañas o cercanas al embalse. Aquellas comunidades, en general, poseen Sistemas de Agua Potable Rural (APR), que serían los beneficiados con la construcción de este tipo de embalses que guarden agua para sus habitantes.

A continuación, se definen parámetros que se tendrán en cuenta para que el embalse se considere sustentable.

### 5.1 Altura de la presa y tamaño aproximado del embalse

El tamaño es la característica fundamental y éste queda definido por la altura de la presa, lo cual genera el tamaño que tendría el embalse.

Cómo es un tamaño de pequeño a mediano, la altura de la presa no sobrepasará los 25 [m], lo ideal es una altura de 15 o 20 [m], sin embargo, esto depende de las condiciones de los lugares en los que se ubicarán los embalses. Tamaños inferiores a 20 [m] pueden ser calificados como presas pequeñas.

La altura de la presa, junto con las pendientes en las quebradas determina la capacidad del embalse y su utilidad para satisfacer las demandas de las localidades cercanas.

### 5.2 Materialidad

Para efectos de este trabajo, las presas se considerarán de Hormigón Compactado con Rodillo (HCR), que es un material que años atrás se utilizaba para reparaciones de presas existentes dañadas, pero que hoy en día ha tomado una participación importante en obras como presas, debido a su tecnología y características particulares. En Chile hoy en día existen tres presas para centrales hidroeléctricas que fueron hechas de este material: Pangué, Ralco y Angostura, tres proyectos grandes realizados entre los años 1992-1997, 1998-2004 y 2010-2014 respectivamente y todos ubicados en la región del Biobío.

La elección de HCR se justifica por lo siguiente:

- a) La alternativa de presas de tierra requiere estudios de yacimientos y determinación de las características de los materiales disponibles allí. Como se sabe, la materialidad de una presa depende de los materiales disponibles en la zona. En este caso, para el presente estudio no se tiene información sobre los materiales disponibles en los distintos sitios estudiados.
- b) El HCR, siendo una mezcla de distintos componentes, típicos de cualquier hormigón, con la salvedad que tiene menos cantidad de cemento, y esa menor cantidad se suple con puzolana, puede ser preparado in situ, si se explotan áridos en la misma zona de

emplazamiento y el volumen requerido compensa esos costos, o puede ser premezclado y transportado hasta el sitio de la presa.

Este tipo de hormigón es seco, y no presenta asentamiento de cono, por lo que se puede manejar fácilmente y de forma similar a los suelos en el caso de las presas de tierra, y en cuanto a su transporte y colocación, esta se realiza con maquinaria comúnmente usada en el movimiento de tierras. Esto trae consigo una reducción en los costos y en los tiempos de construcción.

Por otro lado, si se posee una fuente de áridos cerca y además las condiciones de cimentación son apropiadas, es decir, la roca de cimentación es de buena calidad y está cerca de la superficie, entonces este tipo de material es el más ventajoso en comparación a otros tipos de presa. Además, se reducen los requisitos de las ataguías, puesto que una vez iniciada la construcción de la presa se puede desbordar sin generar un gran impacto.

### 5.3 Impermeabilización

Al buscar la ubicación del embalse, lo que se hace es ubicar un sitio donde se pueda construir una presa y se forme el embalse. Para esto hay dos factores básicos para su elección, estos son:

1. La angostura del sitio en que se emplazará la presa.
2. La roca fundamental en donde se fundará la presa.

Para el primer punto, lo que se hace entonces es buscar lugares que, por ejemplo, dentro de un cauce o quebrada, se tenga pendientes fuertes en ambas laderas y exista una cavidad en forma de V, que permita el emplazamiento de una obra, presa, de menor tamaño.

Para el segundo punto, lo ideal es ver roca fundamental en la superficie. Esto porque fundar la presa en la roca asegura la impermeabilización del embalse y, como consecuencia, no es necesaria la colocación de una geomembrana, pues se puede asegurar que en el lugar del emplazamiento existe basamento rocoso que no permitirá la filtración del agua embalsada, esto sin perjuicio de que exista material fluvial dentro del área de inundación. Sin embargo, es necesario realizar un estudio geotécnico en el sitio, para poder encontrar el basamento rocoso y reconocer en qué punto se debe fundar la presa.

Con lo anterior se puede concluir que se buscarán sitios donde se pueda apreciar roca fundamental que nos asegure la fundación de la presa y su impermeabilización.

### 5.4 Construcción

En cuanto a la construcción de la presa con HCR: para explicar esto nos basamos en el artículo “Desafíos de la construcción de una presa de HCR en el proyecto Ralco en Chile”, del ingeniero civil chileno Luis Uribe y el ingeniero constructor estadounidense David Bosshart. Allí definen cuatro componentes básicos para la construcción de presa con HCR:

1. Suministros de áridos para el hormigón (convencional o HCR)
2. Producción del hormigón
3. Sistema de transporte del hormigón
4. Colocación del hormigón

En donde el dimensionamiento de cada uno de estos es fundamental para que la construcción de la presa se realice con éxito. Esto porque, por ejemplo, una capacidad deficiente de abastecimiento de áridos para una planta de producción de hormigón puede significar una restricción para avanzar con las actividades posteriores.

En cada uno de los puntos mencionados, deben considerarse otros factores directamente relacionados con el tipo de material a utilizar, que en este caso sería el HCR.

Más adelante, en el presente informe, se desarrollan los aspectos mencionados arriba, cuando se explica em método constructivo de HCR.

### 5.5 Fuente del agua que será embalsada

El agua que será contenida por los embalses podría ser de cualquiera de las siguientes fuentes:

1. Agua de los cauces:  
En este caso la presa tiene contacto directo con un cauce natural, que puede ser un río, un estero, un arroyo, etc. de forma que el agua estancada provendrá directamente de estos cauces.
2. Precipitaciones y pluviometría: las pluviales y nivales que produzcan las escorrentías en las cuencas y subcuencas.
3. Agua desalinizada:  
En este caso, se propone el estudio de una posible planta desalinizadora que permita llenar los embalses sustentables. Esto consiste en un proceso por medio del cual se extrae la sal que naturalmente posee el agua de mar o salobre y se convierte en agua apta para el consumo humano.

Este tipo de iniciativa ha tomado peso en los últimos años en nuestro país, debido a la sequía que se ha mantenido en el territorio, sobre todo de la zona norte. Principalmente se ha implementado este tipo de solución en la minería ante la necesidad de agua potable para el desarrollo de sus obras y procesos productivos.

Sin embargo, en Chile la primera planta desaladora estatal, fue construida en la Región de Atacama, más precisamente en el sector de Punta Zorro en las costas de Caldera, desde donde el agua es impulsada a distintos puntos de abastecimiento de la población de Caldera, Chañaral, Copiapó y Tierra Amarilla. Esta planta desalinizadora se vio fomentada por el agotamiento de acuíferos de la cuenca de Copiapó, la extracción de agua de pozos mucho más profundos y la calidad de las aguas de estos pozos (alto contenido de minerales). Su funcionamiento comenzó en diciembre del año 2021 y fue diseñada para producir 1.200 [lt/s] de agua potable, extrayendo agua directamente desde el mar. En este proyecto en particular, según Econssa Chile (empresa concesionaria que se adjudicó el proyecto), el proceso de convertir el agua salobre a potable considera tres fases de tratamiento:

- Tratamiento preliminar mediante filtros auto – limpiantes y membranas de ultrafiltración.
- La desalinización propiamente tal mediante ósmosis inversa.
- Postratamiento de re – mineralización mediante CO<sub>2</sub> y Cal, así como inyección de hipoclorito y fluoruro para el cumplimiento de la normativa de agua potable chilena.



*Ilustración 22: Planta desalinizadora en sector Punta Zorro, Región de Atacama. Fuente: Econssa Chile.*

Posteriormente, el agua que ha sido desalinizada y re – mineralizada es conducida a un depósito de agua de 4.000 [m<sup>3</sup>] desde donde es bombeada a la red de distribución que llega hasta los usuarios.

Con este ejemplo, lo que se busca es mostrar la posibilidad de embalsar agua que provenga de una planta desalinizadora que se pueda construir en las zonas costeras de la Provincia del Limarí, sea efectuada por el estado o por privados que comprometan agua para los habitantes de la zona.

#### 4. Sistemas Colectivos de Abastecimiento:

Este sistema consiste en la función multipropósito de embalses existentes, cuyas aguas pueden ser usadas para agricultura, agua potable, turismo, generación eléctrica, etc.

De ejemplo, se puede exponer el caso del Embalse Valle Hermoso en la comuna de Combarbalá, cuya capacidad es de 20 millones de [m<sup>3</sup>] de agua proveniente del Río Pama. Su construcción aporta en la regulación y gestión del agua en la zona en cuestión, donde podrían ser regadas 1.500 hectáreas y además se podrán abastecer de agua 17 comités de APR, que agrupan más de 3.000 usuarios, ubicados en las comunidades rurales de la zona de influencia directa. Estos sistemas pueden ser abastecidos mediante tuberías o canales que transporten el agua hacia los diferentes APRs beneficiados (Ortiz, 2019).

Esto es parte de los distintos beneficios que puede traer el uso compartido del agua embalsada en este tipo de infraestructura de mayor dimensión, y que podría replicarse en otras ya existentes en la zona.

Entonces, esto consiste en la construcción de una obra de toma en el embalse multipropósito que permita extraer el agua dulce y luego transportarlas mediante tuberías matrices, hasta los distintos lugares o localidades abastecidas por comités de Agua Potable Rural (APR). Estos sistemas colectivos han sido planteados en estudios de factibilidad encargados por la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas. Por último, lo anterior considera el traspaso de derechos de agua, desde los tenedores propietarios usuarios de los embalses, a los Sistemas de APRs.

## 5.6 Impactos Ambientales

En cuanto a los impactos ambientales involucrados en un proyecto de estas características es importante señalar que se deben contemplar en todo el proceso, es decir, desde su concepción se deben tener en consideración los posibles impactos ambientales, y luego desde su construcción hasta su operación. Bajo ese escenario, una de las leyes más importantes respecto al cuidado del Medio Ambiente en nuestro país es la N°19.300 que expone las bases generales del derecho de vivir en un medio ambiente libre de contaminación, su protección, preservación y conservación. Si bien, en la ley se describen efectos de proyectos o actividades que requieren de la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental, nos tomaremos de estos puntos para mencionar aquellos aspectos que se deben considerar a la hora de proceder con un proyecto de embalse sustentable. En particular, el artículo 11 de la ley menciona los siguientes efectos, características o circunstancias:

- a) Riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones o residuos. Esto primordialmente podría afectar a la población en la etapa de construcción del proyecto, en donde las emisiones de ruido sean elevadas por la presencia de trabajos en la extracción de áridos, funcionamiento de planta de hormigón, etc. Además de los residuos dejados por los mismos.

Para lo anterior, será necesario determinar la población directamente afectada, donde se encuentran ubicadas y que medidas se deberán tomar para evitar afectar significativamente su forma de vida. Cabe destacar que no sólo puede ser población humana, podría ser la presencia de animales en el lugar del emplazamiento el proyecto.

Por otro lado, se debe dimensionar la cantidad y calidad de los efluentes, emisiones o residuos, sólo así es posible evaluar las medidas de compensación, reparación y mitigación que se deberán realizar en favor de la población afectada.

- b) Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire. La construcción del embalse implica el uso de suelo y agua directamente. Es necesario dimensionar correctamente su uso, y cómo afectara esto en su cantidad y calidad, por ejemplo, hablamos de caudal máximo de extracción en el caso de captación de agua a partir de un río u otro cauce alterado, los usos que se tienen del agua a extraer, los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales y/o subterráneas que existen en la zona de emplazamiento del proyecto, alteración del nivel de las aguas subterráneas y su influencia en humedales, la extracción de áridos para la preparación del hormigón, de la cantidad de hectáreas que se inundan con la acumulación de esta agua, alteración de la superficie del suelo (erosión u otros), etc.

Por otro lado, dentro de los trabajos de construcción también pueden generarse emisiones contaminantes al aire que también deben ser previstos y estudiados para poder determinar si presentan efectos significativos en la calidad del aire del lugar.

- c) Reasentamiento de comunidades humanas, o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos. En este punto, se espera no realizar el traslado de ninguna comunidad o familia, es más, se espera que la alteración de sus sistemas de vida sea el mínimo y en cambio este sea visto de forma positiva por la comunidad, dándoles toda la información necesaria para la creación de confianzas.
- d) Localización en o próxima a poblaciones, recursos y áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos, glaciares y áreas con valor para la observación astronómica con fines de investigación científica, susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar.

Tal como se mencionó anteriormente, es necesario estudiar previamente la población que se encuentra en el lugar o cercana para tener la información precisa de quienes serán los vecinos durante la construcción y operación del embalse. Además, se debe tener conocimiento del lugar en el cual se emplazará el embalse y si es que este lugar forma parte o es considerado protegido o prioritario dentro de los puntos mencionados en la ley. Si de alguna forma, la instalación del embalse afecta negativamente uno de estos puntos, sin posibilidad de solución, será pertinente evaluar que el embalse no se lleve a cabo en ese sitio en particular y se prioricen aquellos que no presentan un impedimento del tipo área protegida o sitio prioritario de conservación.

- e) Alteración significativa, en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona. Si bien los embalses sustentables, son de tamaño pequeños – medianos, ciertamente alteraran el valor paisajístico del lugar, sin embargo, se espera que no sea de manera significativa. Las aguas embalsadas inundarán aproximadamente entre 5 a 30 hectáreas, lo que comparativamente a embalses de riego existentes en la Provincia del Limarí como La Paloma, Recoleta o Cogotí son significativamente más pequeños. Sin perjuicio de lo anterior, el lago formado podría impulsar el turismo en el sector, pudiendo habilitarse como balneario, con sectores de miradores incluyendo estacionamiento de vehículos, etc.
- f) Alteración de monumentos, sitios de valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural. En este punto es primordial tener un conocimiento considerable del lugar, y con esto no es exclusivamente necesario el estudio de antropólogos, arqueólogos y geólogos, si no que se pueden encontrar antecedentes de las zonas yendo a terreno, conversando con la comunidad e informándose a través de documentación existente que podría encontrarse oportunamente en etapas tempranas del proyecto. Tal como se mencionó en otro punto, se deben priorizar los lugares que no presenten una alteración a un sitio que tenga alto valor cultural en cuanto a los aspectos mencionados en la ley, esto debido a que el daño que se puede causar es muy difícil de reparar; es más, en ciertos casos es imposible.

A modo de resumen de todos los puntos expuestos en materia de impacto ambiental, es necesario tener en consideración y determinar quiénes y cuáles son los agentes afectados por la construcción de un embalse en el sitio escogido. Estos pueden ser (sin orden de importancia):

- El terreno, sus dueños, ¿pertenecen a pueblos originarios?, ¿qué tipo de terreno es?, si tiene alguna importancia antropológica, arqueológica, histórica, cultural, etc.; o si es un área protegida o sitio prioritario de conservación que comprometa un uso

indebido del lugar, destruyendo un patrimonio o alterando de manera significativa el valor paisajístico del lugar, en donde es fundamental conocer la opinión de la comunidad.

- La población. En particular, si es posible, conocer a las familias que serán los vecinos durante la construcción y funcionamiento del embalse. Determinar en qué forma se alterará su forma de vida y costumbres.
- Recursos renovables intervenidos: suelo, agua y aire. Esto incluye los terrenos ocupados para las obras permanentes y temporales del proyecto de embalse sustentable.
- Flora y fauna del lugar. En general, conocer qué tipo de vegetación hay en el lugar, los animales que se movilizan por ahí y también que se alimentan en el sector. Determinar de qué forma alterará las costumbres de los animales y si es posible que estos ya no cuenten con este lugar para habitar.

Para lo anterior, podría ser útil incluir el Estudio del Impacto Ambiental definido en la ley, que incluye una descripción del proyecto, una descripción de la línea base, descripción de los efectos, características o circunstancias del proyecto (según el artículo 11 de la ley N°19.300); predicción y evaluación del impacto ambiental, incluir medidas que se adoptarán para eliminar o minimizar los efectos adversos; las acciones de reparación que se realizarán y un plan de seguimiento y cumplimiento de variables ambientales relevantes y legislación ambiental respectivamente. Si bien, lo anterior según la ley aplica para ciertos proyectos (en específico, los descritos en el artículo 10 de la ley<sup>17</sup>), es importante que para el caso de estos embalses se sometan voluntariamente al proceso de evaluación de los impactos ambientales, para poder contemplar el estudio de estas variables, ya que es parte de la sustentabilidad de un proyecto prever los impactos generados por el mismo.

Dentro del estudio, un aspecto importante es la línea base del proyecto y esto lo define la ley cómo la descripción detallada del área de influencia de un proyecto o actividad, en forma previa a su ejecución. Esto último es muy importante, debido a que sólo de esta forma se podrán detectar los diferentes impactos sobre el territorio.

Según el Decreto 30 sobre el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental los elementos del medio ambiente que se encuentran dentro del área de influencia del proyecto que deben describirse dentro de un lineamiento base son los siguientes:

- Medio físico: incluye caracterización y análisis asociados a análisis del clima, la geología, la geomorfología, la hidrogeología, la oceanografía, la limnología (ambientes acuáticos continentales: lagos, lagunas, embalses, ríos, quebradas, etc.), la hidrología y la edafología (descripción y caracterización del suelo según su ubicación). También considera los niveles de ruido, vibraciones, luminosidad, de campos electromagnéticos y de radiación, calidad del aire y de los recursos hídricos.

---

<sup>17</sup> Según el artículo 10 de la ley N°19.300 letra a) Acueductos, embalses o tranques y sifones que deban someterse a la autorización establecida en el artículo 294 del Código de Aguas, presas, drenaje, desecación, dragado, defensa o alteración, significativos, de cuerpos o cursos naturales de agua; deben someterse al sistema de evaluación de ambiental. Según el artículo 294 del Código de Aguas: Requerirán aprobación del Director General de Aguas, de acuerdo con el procedimiento indicado en el Título I del Libro Segundo, la construcción de a) Los embalses de capacidad superior a 50.000 [m<sup>3</sup>] o cuyo muro tenga más de 5 [m] de altura.

- Medio biótico: descripción y análisis de la biota<sup>18</sup>. Identificación, ubicación, distribución, diversidad y abundancia de las especies de flora y fauna que componen los ecosistemas existentes (enfaticar si hay alguna en conservación).
- Medio humano: información y análisis de la dimensión geográfica, demográfica, antropológica, socioeconómica y de bienestar social y otros similares que aporten información relevante sobre la calidad de vida de las comunidades afectadas. Aquí también se describen los sistemas de vida y las costumbres de los grupos humanos.
- Medio construido: descripción del equipamiento, obras de infraestructura o cualquier otra obra relevante. Además, de las actividades económicas, industriales, turísticas, de transporte, servicios, etc.
- Uso de elementos del medio ambiente: descripción del uso del suelo, su capacidad de uso, clasificación según aptitud, si se encuentra regulado por algún instrumento de planificación territorial o está en un área protegida.
- Elementos naturales y artificiales que componen el patrimonio histórico, arqueológico, paleontológico, religioso o, en general, elementos de carácter cultural que incluyen Monumentos Nacionales.
- El paisaje: visibilidad, calidad y tipo.
- Las áreas protegidas y sitios prioritarios para la conservación.
- Los atractivos naturales o culturales y sus interrelaciones, que atraen flujos de visitantes o turistas.

En el mismo decreto, en el apartado g) del artículo 12 se menciona que para la predicción y evaluación del impacto ambiental del proyecto:

“... se contrastarán cada uno de los elementos del medio ambiente descritos, caracterizados y analizados en la línea base con sus potenciales transformaciones derivadas de la ejecución o modificación del proyecto o actividad, considerando las fases de construcción, operación y cierre o abandono, si las hubiere. ... se efectuará en base a modelos, mediciones o cálculos matemáticos. Cuando, por su naturaleza, un impacto no se pueda cuantificar, su evaluación solo tendrá carácter cualitativo. Asimismo, cuando corresponda, ... se efectuará considerando el estado de los elementos del medio ambiente en su condición más desfavorable.”

Una vez determinados los posibles impactos, es necesario tomar medidas al respecto, lo que implica generar un plan de trabajo que describa medidas de acción temprana, que incluya medidas de prevención, monitoreo, control y seguimiento de los impactos identificados. Para esto, basándonos en el documento “Propuesta de principios y criterios para un documento de referencia de buenas prácticas en hidroelectricidad sustentable en Chile, para la contribución de los compromisos de la Política Energética 2050”, se enlistarán aspectos y acciones que considerar a la hora de manejar los impactos ambientales en la zona:

- Jerarquizar la gestión de impactos (en general, esto aplica para todo tipo de impacto), y esto se refiere a:
  - o Evitar generar impactos negativos. Los que no se pueden evitar se deben minimizar lo más posible. Estudiarlos en etapas tempranas del proyecto ayuda a planificar medidas de mitigación.

---

<sup>18</sup> Según la RAE es el conjunto de la fauna y la flora de una región.

- Algunos de estos impactos pueden abordarse en la etapa de diseño del proyecto, lo que significa que podrían minimizarse o quizás eliminarse por hacer modificaciones en el proyecto que así lo permitan. Esto también se puede traducir en reducción de costos, puesto que, entre más avanzado este el proyecto (y generando impactos negativos en la zona) más caro y complejo se vuelve gestionarlos.
- Medidas de compensación deberían aplicarse sólo para impactos negativos no esperados o no previstos con anterioridad. Esto incluye, indemnización u otras alternativas acordadas previamente con la comunidad ya que, aunque sean efectos no esperados, al menos se debe tener conciencia de que podría pasar algo no previsto.
- Ser rigurosos en el cumplimiento de la ley ambiental existente en el país y además de aquellos tratados internacionales acogidos y firmados.
  - Ley N°19.300, SEIA, Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, etc.
- Mecanismo de control y reporte sobre el desempeño ambiental y también social durante el desarrollo del proyecto.
  - Esto debe ser internamente, sin embargo, también puede incluir a la comunidad, haciéndola participe del monitoreo a las distintas labores y gestiones que haga la empresa. Un ejemplo, puede ser la creación de un comité de vigilancia que monitoree los caudales.
- Considerar instrumentos de planificación territorial y dialogar con los distintos usuarios de la cuenca (regantes, APRs, etc.).
  - Esto puede significar que una zona escogida para la construcción del embalse no sea la adecuada debido al alto impacto que tendría territorialmente. Es posible descartar una ubicación de embalse porque esta no es sustentable.
- Enfoque ecosistémico: esto consiste en comprender como subsisten entre si las diferentes especies presentes en el medio y como podrían verse afectadas por la alteración que conlleva la construcción del embalse.
  - Análisis profundos del medio, lo ideal es que sea transdisciplinario.
- Caudal ambiental o ecológico: este se debe entender como aquel que permite mantener la biodiversidad de la cuenca y el resguardo del ecosistema.
  - Básicamente, se debe gestionar de la mejor forma posible el caudal, usando las herramientas disponibles para eso, de forma que se mantenga (dentro de lo posible) una variabilidad hidrológica cómo la que había antes de construir un embalse en el lugar.

En conclusión, se pueden identificar tempranamente los impactos negativos generados por la construcción del embalse y se puede trabajar durante todo el desarrollo del proyecto en su forma de minimización, monitoreo y compensación a la comunidad en caso de ser necesario. Lo más importante es establecer el diálogo, analizar todos los factores que perjudican el medio ambiente y sobrellevarlos de la mejor manera posible en conjunto con la comunidad.

## 5.7 Impactos sociales y participación de las comunidades

Los impactos sociales tienen relación con cómo afectará la construcción y operación del embalse en la o las comunidades cercanas al sitio del proyecto. Estos pueden ser tanto positivos y negativos, y al igual que otros impactos, deben ser estudiados desde la concepción del proyecto.

Primeramente, para establecer cuáles son los impactos sociales se debe tener en cuenta la participación de las comunidades, y para esto se debe fomentar un encuentro presencial temprano con ellas, sus autoridades y habitantes locales para que se dé lugar a la creación de una relación cercana y de confianza. También es importante hacer partícipes a dirigentes de comités, juntas de vecinos, centros de madres u otras organizaciones vecinales formales y legítimas que podrían ser importantes en el proceso de creación de una buena relación con las comunidades. Esto último puede ser primordial, ya que tener diversos tipos de representantes de la población ayuda a identificar a los distintos grupos de interés y que los representantes consigan proyectar de forma correcta los intereses de las personas y en consecuencia se establece el diálogo.

Lo anterior podría incidir en evaluar hacer modificaciones en el diseño del proyecto producto de la participación de las comunidades, o incluso incorporar aquellas buenas ideas que nazcan de este relacionamiento. Para esto, es muy importante hacer presencia en el lugar, que la población afectada conozca quienes son las personas que están llevando a cabo el proyecto y cuáles son las intenciones detrás de este. Empresas grandes poseen expertos asesores o equipos de trabajo que se hacen cargo de esto, pero en vistas de que este sería un proyecto más pequeño, no es necesario contar con un equipo de expertos, sino más bien contar con profesionales dispuestos a dar a conocer su trabajo. Para esto es necesario armar y contar con un plan de relacionamiento con la o las comunidades, y crear un canal de información para la comunidad que sea constante y reciba dudas, requerimientos u opiniones del proyecto, así como tener una representación válida y con atribuciones.

En este caso en particular, es necesario que:

1. La población conozca que el fin primero de los embalses sustentables y la construcción de la infraestructura necesaria para almacenar el agua es para asegurar y beneficiar a sus sistemas de agua potable rural el recurso en caso de requerirlo. En pocas palabras, que conozcan y sientan pertenencia del agua que será embalsada, que estimen y toleren el proyecto, además de considerarlo beneficioso para sus sistemas de agua potable.
2. Exista transparencia sobre cómo será posible esto y de qué forma se les hará llegar el agua. Esto conlleva a estar constantemente informando sobre los sucesos importantes durante la construcción y luego el funcionamiento del embalse.

El camino al relacionamiento y la construcción de confianzas entre los agentes que lleven a cabo el proyecto y la población en cuestión es que las personas que se comuniquen deben tener en cuenta las dificultades que pueden surgir en cuanto al entendimiento de la información. Esto está relacionado al tipo de lenguaje que se debe tener entre las personas, en donde hay que considerar que no todas entienden un lenguaje técnico o ingenieril, o no conocen sobre aspectos legales de un proyecto u otros temas complejos que lo envuelven, y existe la posibilidad de requerir asesorías para la comunidad y sus representantes. También puede suceder que el nivel de organización y coordinación de las comunidades sea deficiente y cueste entablar reuniones con sus representantes

y/o autoridades. Sin embargo, es necesario mencionar que no en todos los lugares sucede esto, ya que el nivel de organización, coordinación, liderazgo y acceso a la información de representantes de algunas comunidades está muy bien desarrollado, lo cual hace mucho más fácil la comunicación entre los agentes involucrados.

En base a lo anterior, se pueden considerar acciones concretas con las cuales se puede crear la relación con la comunidad y permitir la participación dentro del proyecto. Para esto se recurre al documento “Propuesta de principios y criterios para un documento de referencia de buenas prácticas en hidroelectricidad sustentable en Chile, para la contribución de los compromisos de la Política Energética 2050” que si bien dice relación con proyectos hidroeléctricos, sus propuestas son aplicables a todo tipo de proyectos, pues son buenas prácticas generales que en el documento expresan cómo recomendables para “... ser aplicados por parte de la industria en los procesos de desarrollo, construcción y operación de proyectos...”.

Para el caso de los embalses, se enfocará el desarrollo del Principio N°3 y N°5 que tienen por nombre Relacionamiento temprano, simétrico y permanente con las comunidades locales y Generación de valor en el territorio respectivamente. A continuación, se describen aspectos detallados en el texto sobre cada principio y se exponen ideas de acción concreta:

- El generar confianza con la o las comunidades se debe hacer de forma temprana, presencial y transparente.
  - o Ir a terreno desde antes que se comiencen las obras, generar instancias de reunión con autoridades locales u organizaciones vecinales, etc.
- El diálogo y el respeto son primordiales para concretar acuerdos que se sientan legítimos entre ambas partes, sobre todo por parte de la comunidad.
- Tener entendimiento del territorio y sus comunidades.
  - o Conocer los lineamientos bases.
- Las personas que tomen decisiones dentro del proyecto deben relacionarse y mostrar cercanía con la comunidad y sus representantes, ya que esto fortalece la confianza y reduce el riesgo de tomar decisiones con información incompleta o distorsionada. Esto involucra a equipos de trabajo con presencia en la zona, participación de la alta gerencia en el diálogo e incluso en la negociación con la comunidad.
  - o En algún caso, puede ser necesario que jefes vivan en la zona de emplazamiento del proyecto o pasen un tiempo considerable en esta, demostrando interés verdadero por el bienestar de los habitantes.
- Correcta identificación de Stakeholders y/o actores interesados. De esta forma se puede contar con la participación de los diferentes grupos de interés del proyecto, garantizando una correcta representatividad.
- Todos los grupos de interés (Stakeholders) deben tener acceso a la información relevante y deben tener la posibilidad de plantear sus dudas, preocupaciones e incluso opiniones.
- Se debe tener en cuenta que podrían generarse conflictos entre las partes durante el diálogo, en donde resulta clave estar bien informados.
- Se debe promover que las comunidades cuenten con las herramientas y capacidades organizacionales y técnicas para poder ser una contraparte efectiva. Tener en cuenta aspectos como disponibilidad de tiempo, accesibilidad y gastos.

- De ser necesario entregar asesoría sobre temas concretos que no manejen completamente.
- Ser considerados a la hora de programar reuniones y respetar sus tiempos.
- Evitar trasladarlos grandes distancias para los encuentros.
- En caso de tener que relacionarse con comunidades indígenas presentes en el lugar, se deben incorporar consideraciones culturales, con relación a su cosmovisión y tradiciones.
  - Se deben respetar los derechos indígenas reconocidos en tratados internacionales firmados y ratificados por Chile.
- Identificar tempranamente los impactos sociales y gestionarlos.
  - Un ejemplo, es el adecuado control y seguimiento del riesgo asociado a la llegada de trabajadores a la zona, la instalación de un campamento y su relacionamiento con la comunidad (consumo de alcohol, drogas u otros).
- Se debe promover y fomentar el trabajo conjunto con las instituciones públicas locales y regionales, así como con otras empresas con operaciones en el territorio.
- Mostrar coherencia y consistencia de las acciones.
- Facilitar la inserción armónica del proyecto dentro del territorio.
  - Diagnóstico del desarrollo local de la zona.
  - Tomar iniciativas dentro del proyecto que sean mutuamente beneficiosas.
  - Por ejemplo, incentivar el turismo y por ende la llegada de visitas al lugar, en donde como efecto en cadena se active el comercio, el uso del transporte y otros servicios de la zona.
- Dar un enfoque de género en las actividades con las comunidades.
  - Este último punto es interesante de analizar porque muchas de las organizaciones vecinales o comunitarias de los territorios rurales, son liderados justamente por mujeres, quienes dentro de sus muchas responsabilidades y actividades personales, familiares y laborales, se dedican a dirigir estos grupos organizados, y son ellas las que logran procesos de diálogo y consiguen oportunidades de desarrollo para sus propias comunidades.

En conclusión, podemos resumir lo anterior en los puntos más relevantes a la hora de identificar, gestionar y trabajar con la comunidad en los eventuales impactos generados por el desarrollo de los embalses.



*Ilustración 23: Puntos importantes a considerar en Impactos Sociales y participación ciudadana. Fuente: elaboración propia a partir de la información extraída del documento “Propuesta de principios y criterios para un documento de referencia de buenas prácticas en hidroelectricidad sustentable en Chile, para la contribución de los compromisos de la Política Energética 2050”.*



Describiendo en detalle en lugar, dentro de la Quebrada se ubica una cota de fondo estimada de 495 m.s.n.m. cuyas coordenadas son 19 J 288.634,00 [m] Este y 6.593.396,00 [m] Sur. Si la presa tiene una altura de 25 [m], el nivel del embalse se ubicará a la cota 520 m.s.n.m. Al observar las imágenes de Google Earth Pro podemos notar presencia de vegetación y rocas.

Un segundo sitio en la comuna de Ovalle se ha encontrado focalizando la atención en sectores aledaños o cercanos a la ribera norte del Río Limarí, como por ejemplo, cerca del pueblo llamado Lagunillas a una cota aproximada de 400 m.s.n.m. Allí se pudo ubicar otro embalse sustentable, al que se coloca por nombre Embalse Lagunillas.

Describiendo en detalle el lugar, el embalse se ubicaría dentro de la Quebrada Agua de los Palquis en donde la cota estimada de fondo es a 380 [m.s.n.m.] con coordenadas: 19 J 290.260,00 [m] Este y 6.620.141,00 [m] Sur. Si la presa tiene una altura de 20 [m], el nivel del embalse se ubicará a la cota 400 [m.s.n.m.]. Al observar las imágenes de Google Earth Pro podemos notar que el lugar posee muy poca vegetación y en general es seco. Además, en las coordenadas 19J 290.236,95 [m] Este y 6.620.140,52 [m] Sur se encuentra la conexión a un camino que une al pueblo de Lagunillas-Galleguillos con la quebrada y el cerro aledaño.

Respecto a los APRs cercanos a este embalse se observan Lagunillas, La Ribera del Olivo y siguiendo por la ruta 43 el APR Recoleta.

Un tercer sitio en la comuna se encontró en las cercanías de la costa por donde se encuentra al APR Caleta el Toro que se localiza en el sector por donde el Río Limarí desemboca al mar. Es por el sector llamado Angostura, dentro de la Quebrada Chimahui donde se ubica otro embalse sustentable, al que se le coloca por nombre Embalse Angostura.

Al observar las imágenes disponibles en Google Earth se observa que es un lugar con abundante vegetación y en las cercanías del Río Limarí ubicándose a aproximadamente 860 [m] del río. La cota de fondo estimada es de 65 [m.s.n.m.] con coordenadas 19 J 247.585,00 [m] Este y 6.596.715,00 [m] Sur, por lo tanto, si la presa tiene una altura de 15 [m], el nivel del embalse se ubicará en la cota 80 [m.s.n.m.]. Es importante destacar que la cota en la que se ubicó este embalse es baja, por lo que para abastecer a sistemas de APR cercanos se debe pensar en un sistema de impulsión de agua o en un sistema de estación de recargas de camiones aljibes, cualquiera de estas opciones se evalúa en el capítulo 8 de este trabajo.

## 6.2 Comuna de Punitaqui

En la comuna de Punitaqui sólo existen 6 sistemas de APR los cuales se encuentran todos al norte del territorio que circunscribe la comuna.

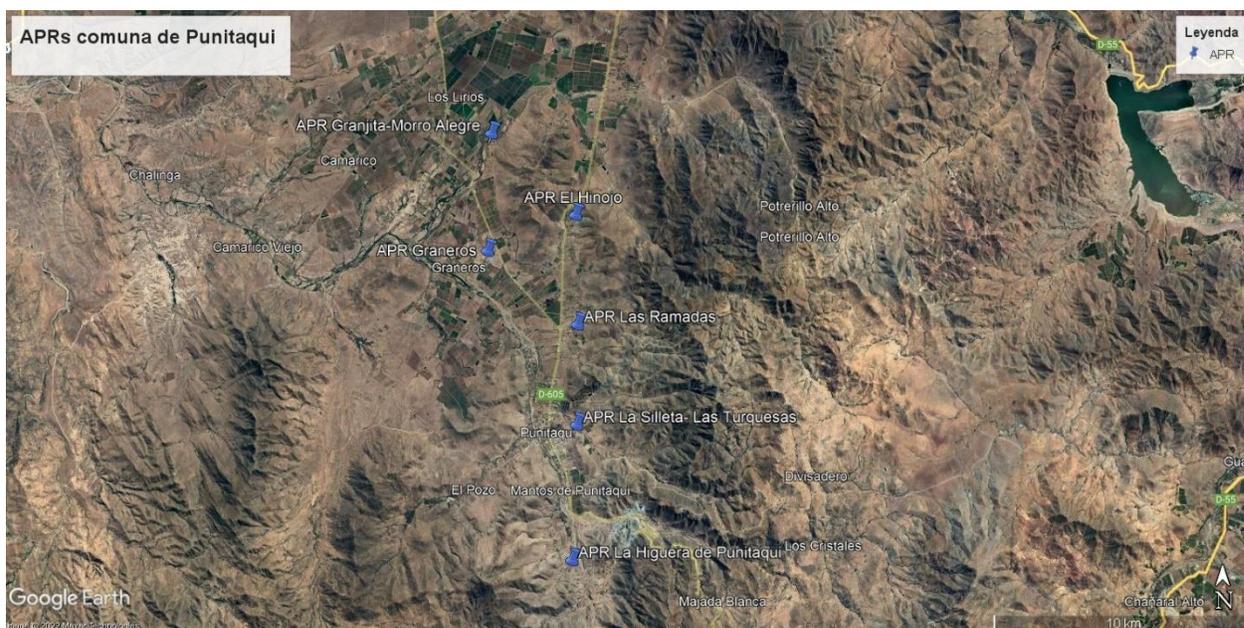


Ilustración 25: APRs de la comuna de Punitaqui.

El APR que se encuentra más al sur es La Higuera de Punitaqui localidad que se encuentra al sur poniente de la localidad Pueblo Nuevo y el sector el Delirio, que se encuentran en las laderas del Estero Punitaqui.

Un sitio para embalse ubicado en esta comuna se visualizó dentro del Estero Punitaqui a unos 4,7 [km] al oriente del Pueblo Nuevo y a unos 2,8 [km] al norte de la localidad de Majada Blanca. La cota de fondo estimada es a 370 [m.s.n.m.] en las coordenadas 19 J 290.140,0 [m] Este y 6.583.090,0 [m] Sur, por lo cual si la presa tiene una altura de 20 [m], el nivel del embalse se ubicaría en la cota 390 [m.s.n.m.]. Lo que se puede observar a través de las imágenes de Google Earth Pro es que el lugar es seco y con poca vegetación, además se encuentra cercano a la minera Altos de Punitaqui que se dedica a la extracción de oro y cobre<sup>19</sup>, lo que puede significar una ventaja en cuanto a la habilitación de caminos para el transporte de materiales, movilización de maquinarias, entre otros.

### 6.3 Comuna de Combarbalá

Se comienza desde la comuna de Combarbalá, que es la comuna que se encuentra más al sur dentro de la Provincia del Limarí y que presenta mayores problemas de déficit de agua.

<sup>19</sup> Información sacada del Diario Financiero, 2021.

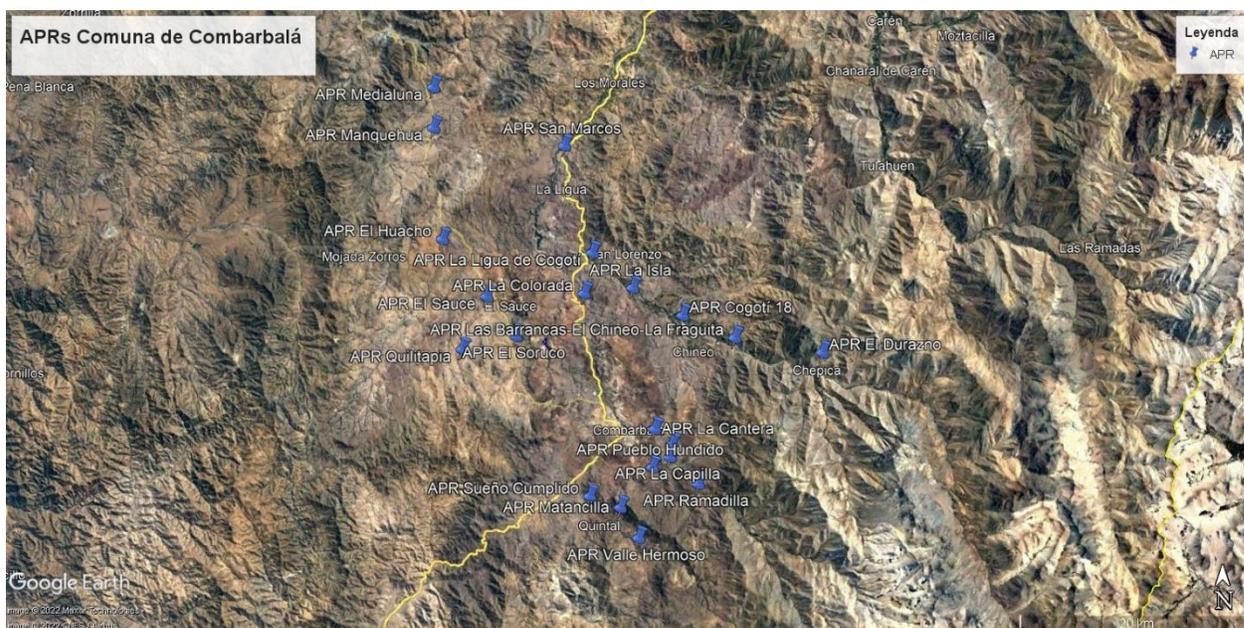


Ilustración 26: APRs de la comuna de Combarbalá.

Aquí se observa que los APRs se encuentran situados a las orillas del Río Cogotí que discurre hacia al norte hasta el embalse Cogotí como lo son los APR El Durazno, Las Barrancas-El Chineo-La Fraguaita, Cogotí 18, La Isla y La Ligua de Cogotí. Aguas abajo del embalse Cogotí se encuentra otro APR como lo es el de San Marcos.

Existe un sector ubicado al norponiente aproximadamente en la cota 992 m.s.n.m. donde se encuentran 3 APRs: Quilitapia, El Soruco y El Sauce. A partir de este sector, y al oriente de Soruco en un trayecto dentro de la Quebrada Soruco y el Río Pama, justamente dentro del Estero Valle Hermoso, que confluye al embalse Cogotí. Aquí se ubicó un lugar para situar un embalse sustentable, al cual se nombra Embalse Soruco.

Describiendo en detalle el lugar, dentro del Estero Valle Hermoso se ubica una cota de fondo estimada de 715 m.s.n.m. cuyas coordenadas son: 19 J 301.482,38 [m] Este y 6.557.386,19 [m] Sur. Si la presa tiene una altura de 15 [m], el nivel del embalse se ubicará a la cota 730 [m.s.n.m.], como el coronamiento de la presa. Al observar las imágenes de Google Earth Pro podemos notar las irregularidades de la superficie en estudio, cuya primera deducción es que las aguas que circulan o circularon por el Estero (que podrían ser de lluvia u otra) arrastraron los finos y como consecuencia dejaron a la vista las rocas. Además, se observa un lugar con muy poca vegetación y en general muy seco.

Entonces, esta primera búsqueda consistió en ubicar un lugar para el embalse que pueda cubrir los APRs ubicados en esta zona geográfica, como los mencionados al principio del recorrido visual.

#### 6.4 Actividad en Terreno

Se tuvo la oportunidad de visitar la Provincia del Limarí para reconocer la zona, sus comunas y territorio, y así poder visualizar posibles lugares de emplazamientos para embalses sustentables. Como se comprenderá esta actividad se realizó recorriendo los caminos públicos en un vehículo y desde ahí observar la geográfica y topografía de los terrenos buscando posibles sitios de presa. Esta forma de hacerlo es bastante restrictiva, sin embargo, es la manera que está al alcance para poder

profundizar en la búsqueda de los sitios, yendo un poco más allá de lo que permite la aplicación Google Earth.

En Agosto de 2022 se efectuaron, in situ, los siguientes reconocimientos en terreno:

En la comuna de Ovalle se visitaron específicamente los APRs de San Julián, Villaseca y Cerrillos de Tamaya. Estos sistemas se ubican en el Valle del Río Limarí y la carretera discurre desde Ovalle hacia el poniente por la terraza sur, aledaña al fondo del Valle, todo lo cual constituye una zona muy abierta y plana con ausencia de quebradas y/o cerros lo cual a primera vista no muestra condiciones apropiadas para instalar una presa.

También se recorrió algunos sectores de la comuna de Monte Patria, ubicada al oriente de la ciudad de Ovalle y por la carretera que circunda parcialmente el embalse La Paloma. En esta zona si bien no se ubicó ningún sitio específico para situar un embalse, desde el vehículo si se pudo apreciar la presencia de roca a la vista, material que constituye una fundación deseable para una presa dada la impermeabilidad que le caracteriza. En esta misma comuna, se recorrió la zona del APR Rapel ubicado a unos 20 [km] al oriente de la ciudad de Monte Patria, y que está en el valle del Río Rapel, valle que está rodeado de cordilleras altas y de fuertes pendientes donde tampoco se pudo visualizar un sitio de presa para un embalse sustentable. Lo anterior no implica que no existan lugares apropiados, sólo refleja una conclusión a partir de los medios empleados para buscarlos, que son restrictivos.

También se visitó en esta misma comuna el valle del Río Huatulame, donde se ubica el APR del mismo nombre, donde el camino discurre por el fondo del valle y donde solo se pudo visualizar algunas quebradas afluentes al río, de tamaño importante sin poder ubicar un sitio propicio para una presa.

En Septiembre de 2022 se efectuaron, in situ, los siguientes reconocimientos:

En esta segunda instancia, en la comuna de Ovalle se visitó el APR Limarí, que se ubica a aproximadamente 7 [km] al poniente de la ciudad de Ovalle, en donde no se visualizó algún lugar en particular para la ubicación del embalse, se destacan nuevamente zonas muy abiertas y planas con ausencia de quebradas. La localidad de Limarí se ubica en el fondo del valle del mismo nombre.

En esta ocasión se visitó, además, el APR Cogotí 18 ubicado en la comuna de Combarbalá, donde por la ruta D-55 se visualizó un lugar donde se podría ubicar un embalse sustentable. Lo que se hizo en terreno fue tomar fotografías y las coordenadas del lugar para luego mediante la aplicación de Google Earth determinar si es posible instalar allí un embalse y construir una presa.

Los datos obtenidos en terreno son las coordenadas 306.858 [m] Este y 6.550.486 [m] Norte, las que posteriormente fueron introducidas en la aplicación Google Earth para estudiar el lugar.

Además, en la misma ruta Combarbalá – Punitaqui – Ovalle se pudo observar la geografía y topografía del sector, que se caracteriza por ser variado, pasando por lugares montañosos y de múltiples quebradas a lugares muy amplios, valles y terrazas. A continuación, se describirán lugares por donde se realizaron los recorridos y las fotos que se pudieron tomar.

Partiendo desde la comuna de Combarbalá por la ruta D-55, primero se observa una posible ubicación a la que llamaremos Vista al Río Combarbalá. Aquí se tomó la siguiente fotografía, donde se puede observar, el lugar, su vegetación y las pendientes del terreno.



*Ilustración 27: Posible ubicación de embalse sustentable. Fuente: propia.*

Luego, a unos 1,6 [km] del lugar nos desviamos por la ruta D-605 hacia la comuna de Punitaqui, pasando por el Puente del Río Pama localizado en las coordenadas 302.840 [m] Este y 6.551.531 [m] Norte. Continuando por la misma ruta se pasa por el pueblo de Soruco ubicado en las coordenadas 298672 [m] Este y 6556592 [m] Norte y luego sigue la misma ruta. En el punto de coordenadas 295515 [m] Este y 6562986 [m] Norte, nos detenemos a observar el lugar, su geografía y observamos que es distinta a la que se aprecia con anterioridad. Acá se observan lugares amplios y planos.



*Ilustración 28: Ruta D-605 camino a Punitaquí. Fuente: propia.*



*Ilustración 29: Ruta D-605 camino a Punitaquí, lado derecho de la carretera. Fuente: propia.*

Estos lugares son característicos de la zona donde se emplazan las localidades de Quilitapia, El Sauce y Soruco. Son terrazas a niveles de cota 800 y reconocidas como zonas de secano<sup>20</sup>.

Se continua el recorrido por la ruta D-605 pasando por los pueblos Manquehua y Medialuna, llegando a un lugar donde se observan grandes quebradas y superficie de roca a la vista. Esto se ubica en las coordenadas 288326 [m] Este y 6582920 [m] Norte, entre Majada Blanca y Pueblo Nuevo.



*Ilustración 30: Fotografía de un sitio que ejemplifica las condiciones para la construcción de una gran presa que, en consecuencia, formaría un gran embalse.*

En la imagen se puede observar cómo es el sector y lo pronunciadas que son las quebradas. Esto es un ejemplo de un sitio para una presa tradicional, que cumple condiciones diferentes a las descritas en este trabajo de embalses sustentables. Con lo que podemos concluir que en esta ocasión también se visualizó un caso contrario a lo que se busca en este proceso de ubicación de embalses.

---

<sup>20</sup> Según la RAE secano es “Tierra de labor que no tiene riego, y solo participa del agua llovediza”.

## 7. Diseño conceptual de embalse sustentable y construcción de la presa de HCR

En este capítulo se detallará el proceso de diseño conceptual de embalses sustentables, lo que constituiría una etapa inicial de un proyecto de estas características. Este proceso de diseño se hará en secuencia, tomando en cuenta los siguientes puntos:

- Proceso de búsqueda de sitio: que se detalló de forma extensa en el capítulo anterior, realizándose de forma remota mediante la aplicación Google Earth Pro, sin embargo, se tuvo la oportunidad de ver sitios en un viaje a terreno.
- Selección de un terreno para la ubicación de una presa: este punto principalmente se refiere a la elección de un lugar donde se optimice el tamaño de la presa o de la obra de contención, que formará el embalse. En general, este paso va de la mano con el proceso de búsqueda, ya que para determinar el sitio se pone especial énfasis al lugar en donde se construirá la presa, que como se ha definido es de un tamaño pequeño – mediano. Asimismo, se buscaron y seleccionaron sitios con roca a la vista o a poca profundidad, para garantizar la impermeabilidad del sector en que se cerrará el cauce con la obra de contención.
- Altura de presa: como se definió en el capítulo 5, la altura de la presa que formará el embalse será entre los 15-25 [m], en donde hasta los 20 [m] se considera una presa pequeña.
- Cubicación del embalse: de forma aproximada, se entregarán detalles del volumen de agua que podrá almacenar el embalse. En otras palabras, se definirán las capacidades de cada sitio seleccionado.
- Longitud de presa y coronamiento: principalmente se determinan las características geométricas de la presa.
- Cubicación de presa: a partir del punto anterior, se hará el cálculo aproximado del volumen que ocupará la presa.
- Método constructivo del HCR: este punto es el más general, pues para todas las presas se debe aplicar el mismo método, por lo que se dedica un subcapítulo completo a detallarlo.

Entonces, a partir de los sitios ubicados en el capítulo anterior se hará un diseño a partir de los 6 puntos anteriores, dejando un subcapítulo completo para el método constructivo que se aplica para todos de la misma forma.

### 7.1 Embalse Infiernillo

#### Ubicación:

El sitio del embalse infiernillo se encuentra en la siguientes coordenadas:

*Tabla 30: Coordenadas ubicación embalse Infiernillo.*

Embalse	Coordenada Este [m]	Coordenada Sur [m]	Cota [m.s.n.m.]
Infiernillo	288.634,00	6.593.396,00	495

Estas coordenadas del sitio de emplazamiento se determinaron de manera aproximada, localizando el posible centro de geometría en el punto más bajo (que en este caso sería de la cota mostrada).

Además, en la siguiente ilustración se muestra su ubicación relativa a los sistemas de APR más cercanos.

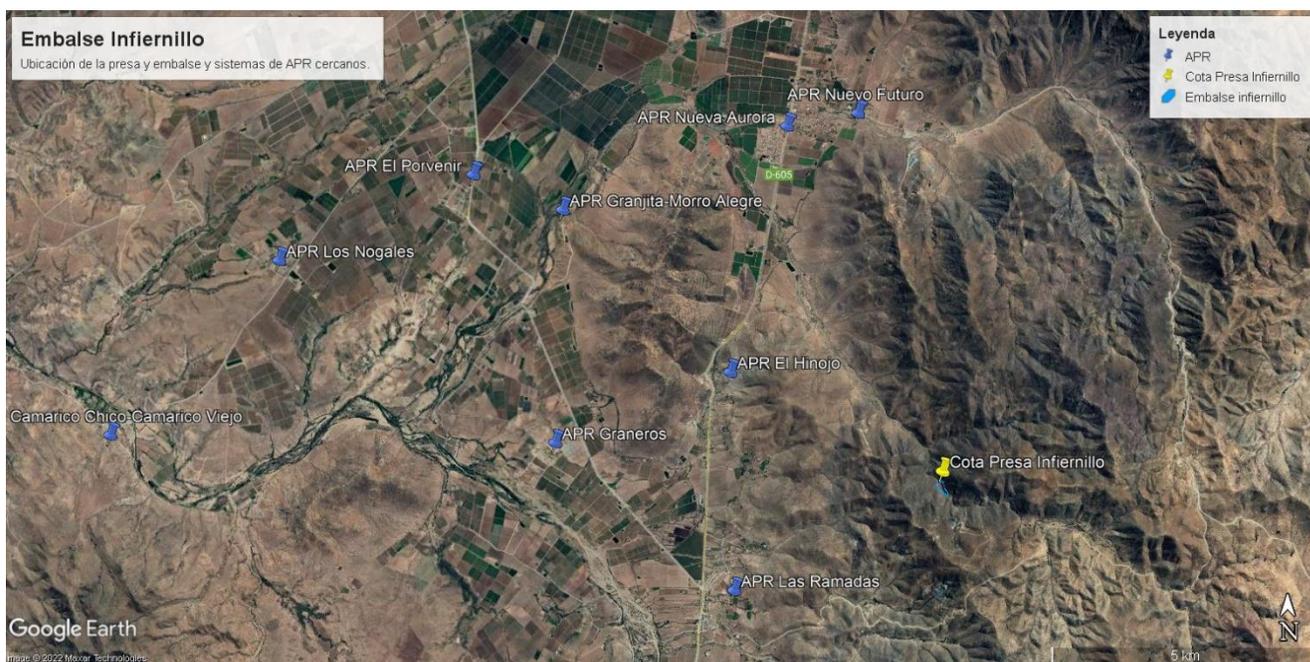


Ilustración 31: Ubicación del embalse Infiernillo y sistemas de APR cercanos.

Se observan principalmente los APRs Nueva Aurora, Nuevo Futuro, Las Ramadas y Los Hinojos, estos se caracterizan por estar ubicados a las laderas de la misma ruta D-605 y sus cotas son menores a las de la ubicación del embalse. Respecto a estos sistemas se cuenta con la siguiente información:

Tabla 31: Información de los APRs cercanos al embalse Infiernillo.

APR	Comuna	Arranques	Nº de personas, por (3,1 arranque)	Demanda diaria estimada [m <sup>3</sup> ]
Nueva Aurora	Ovalle	287	890	151
Nuevo Futuro	Ovalle	314	974	165
Los Hinojos	Punitaqui	410	1.271	216
Las Ramadas	Punitaqui	111	345	58
<b>TOTAL</b>		<b>1.122</b>	<b>3.480</b>	<b>590</b>

Características del terreno y geometría del embalse y presa:

En cuanto a la geometría del embalse, la forma del terreno es una quebrada, en un lugar estrecho donde se pueda dar soporte lateral al contenido del embalse, y además se priorice únicamente la construcción del muro de contención. La pendiente del terreno, la podemos ver con un perfil longitudinal a lo largo del embalse (perfil de elevación) en la siguiente ilustración:

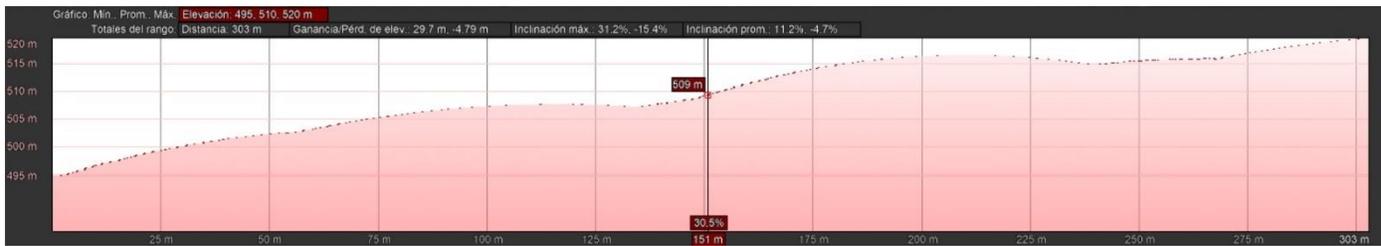


Ilustración 32: Perfil elevación del terreno – embalse Infiernillo.

De forma gráfica, y desde la misma aplicación de Google Earth Pro, se puede observar el perfil de elevación de la sección transversal del lugar escogido y donde se dispondrá de la presa.

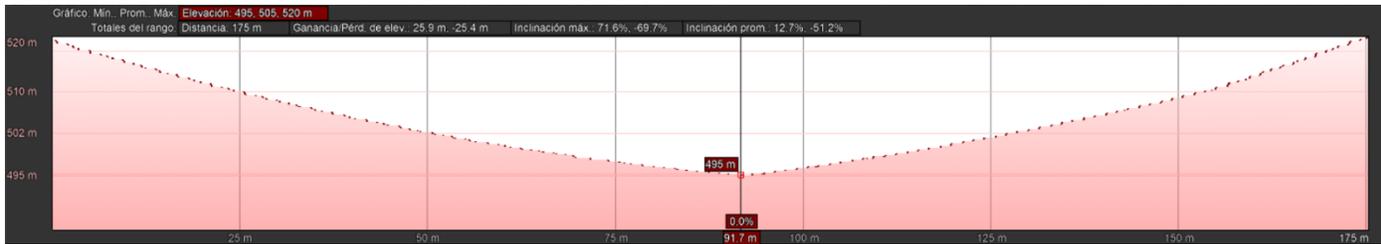


Ilustración 33: Perfil de elevación de la sección transversal del lugar de ubicación de la presa Infiernillo.

Entonces, con la información anterior, se puede realizar un cálculo aproximado de las dimensiones del embalse y su respectiva presa:

Tabla 32: Dimensiones embalse y presa Infiernillo. Información determinada con Google Earth Pro.

Dimensión	Valor
Cota mínima [m]	495
Cota máxima [m]	520
Largo (perfil elevación del terreno) [m]	303
Ángulo de inclinación (terreno) [°]	4,73
Ancho presa [m]	175
Altura presa [m]	25

### Cubicación del embalse:

En este punto, se calcula de forma aproximada la capacidad volumétrica del embalse para la contención de agua, en otras palabras se calcula el volumen de la cubeta, en donde se hace según la siguiente metodología:

1. Trazado del embalse sobre el terreno con las herramientas disponibles en la aplicación Google Earth Pro.

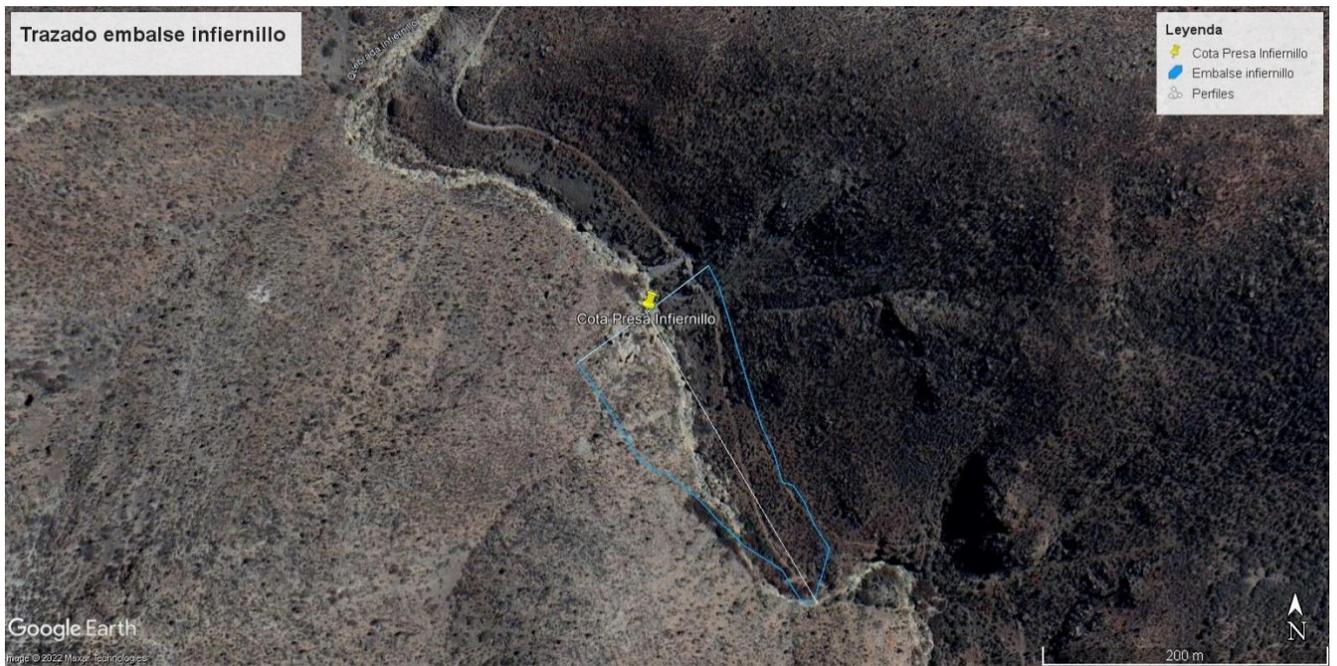


Ilustración 34: Trazado del embalse infiernillo en aplicación Google Earth Pro.

2. Exportar las coordenadas: Este, Sur y Elevación. Esto se materializa guardando en formato KMZ el trazado del embalse.
3. Importación del registro de coordenadas al programa Global Mapper.
4. Generación de las curvas de nivel y vista 3D de la ubicación del embalse en la quebrada.

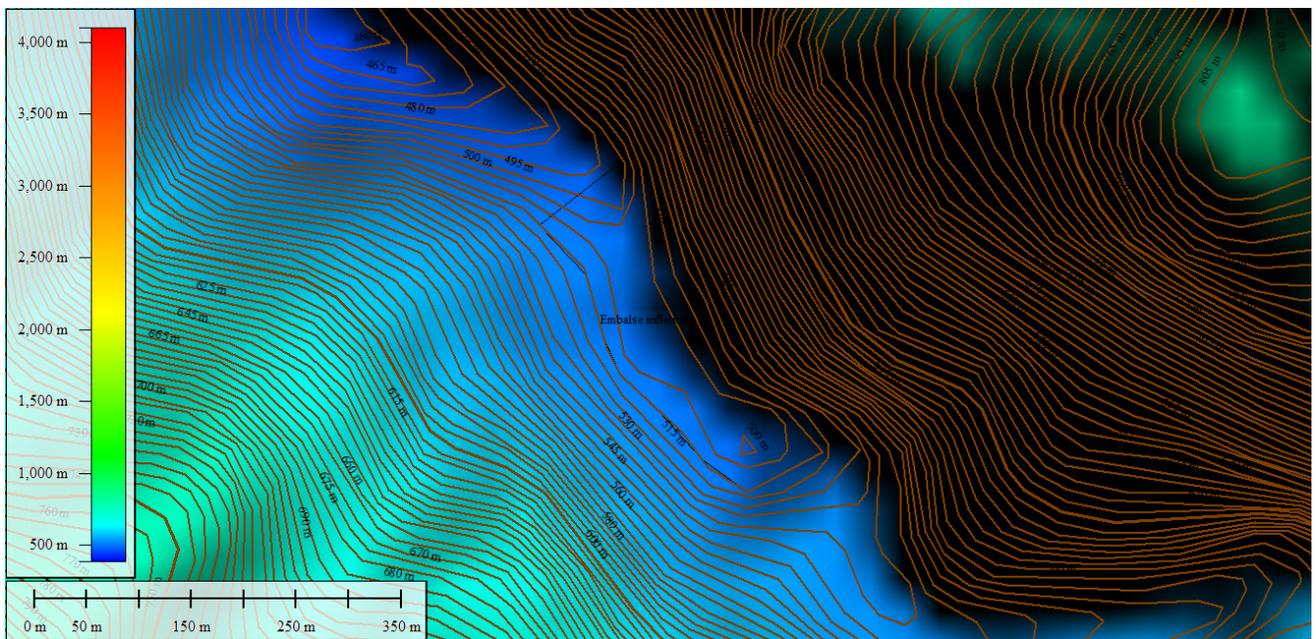


Ilustración 35: Generación de curvas de nivel en Global Mapper – embalse Infiernillo.

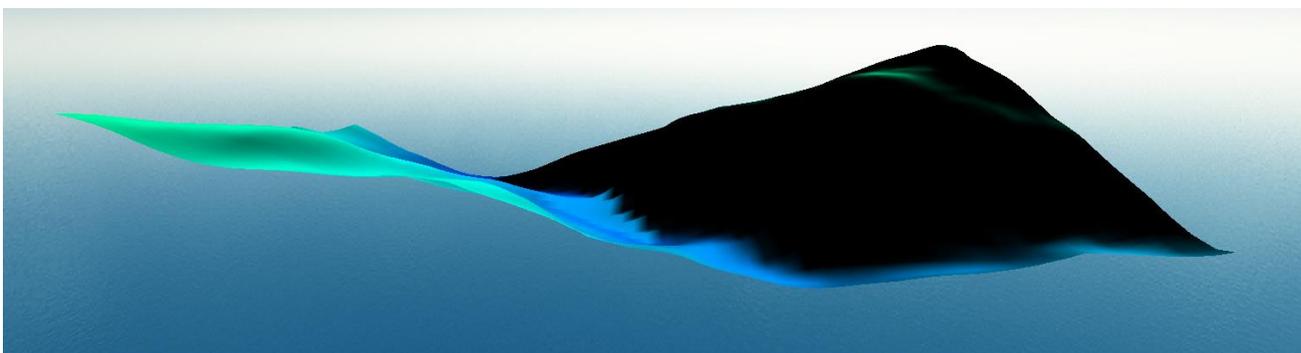


Ilustración 36: Visualización 3D de la quebrada en la ubicación del embalse Infiernillo.

5. Cálculo del volumen: para este paso, es necesario exportar los datos obtenidos en Global Mapper al software AutoCAD, en donde podremos sacar la información de las curvas de nivel. Específicamente, lo que se realiza en este paso es:
  - a. Determinar las áreas que forman las curvas de nivel desde AutoCAD en donde se visualizan las curvas como “Objetos” a los cuales se les pueden aplicar comandos existentes en el software como “AREA”. En este caso, las curvas de nivel se tienen cada 5 [m].

La información determinada se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 33: Área formada por cada curva de nivel del embalse Infiernillo.

Cota [m.s.n.m.]	Área AutoCAD [m <sup>2</sup> ]
495	1.028,6113
500	2.528,7777
505	16.827,1612
510	28.863,5770
515	38.199,0736
520	46.869,0556

- b. Entonces, entre cada curva de nivel se calculará el volumen que se forma entre ellas. Para eso, se aproximará la forma del embalse a la de un tronco de pirámide irregular que tiene por fórmula de volumen la siguiente:

Ecuación 1: Fórmula del volumen de un tronco de pirámide irregular.

$$V = \frac{h}{3} \cdot (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$$

Donde h es la altura que separa la parte superior e inferior de la pirámide truncada y tanto  $A_1$  y  $A_2$  son las áreas de la base superior e inferior respectivamente en [m<sup>2</sup>]. La figura geométrica que representa esta fórmula es la siguiente:

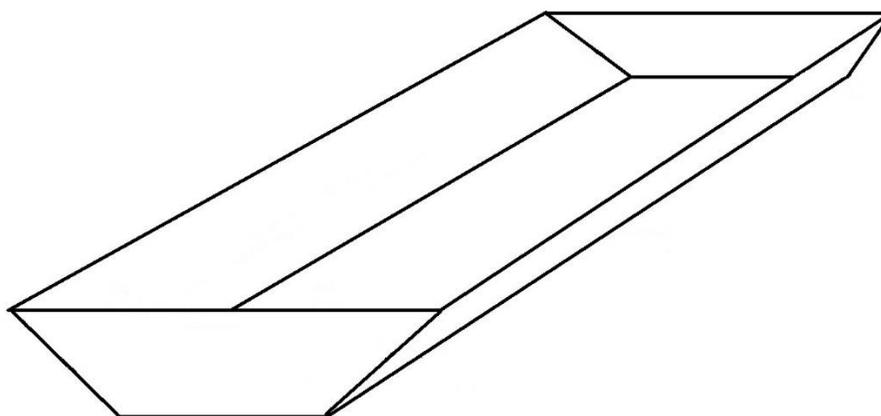


Ilustración 37: Pirámide truncada de base rectangular.

En este caso, hay cinco volúmenes que calcular, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 34: Volúmenes entre cotas embalse Infiernillo.

Cota [m.s.n.m.]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Volumen [lt]
495-500	8.616,98	8.616.984,50
500-505	43.131,90	43.131.899,67
505-510	112.881,93	112.881.934,38
510-515	167.112,50	167.112.496,95
515-520	212.301,18	212.301.183,54
<b>TOTAL</b>	<b>544.044,50</b>	<b>544.044.499,03</b>

El total representa el volumen aproximado del embalse Infiernillo.

El volumen encontrado en el punto número 5 sirve para realizar un análisis sobre el abastecimiento que es capaz de entregar el embalse. Para lo anterior, lo que se realiza es calcular la cantidad de litros diarios que puede proveer el embalse durante un año (365 días). Sin embargo, esto se realiza considerando un 27,24% de pérdidas que corresponde al promedio de los porcentajes de pérdida de los sistemas de APR presentes en las cinco comunas de la Provincia del Limarí y que se muestra en la siguiente tabla. Esto sería un cálculo aproximado tomando el valor del volumen de cubeta calculado menos el porcentaje de pérdidas presentado.

Tabla 35: Porcentaje promedio de pérdidas de los sistemas de APR de cada comuna de la Provincia del Limarí. Fuente: Comité Técnico Hídrico Región de Coquimbo, 2021.

Comuna	% Promedio de pérdida de los APR
Río Hurtado	37,90
Ovalle	27,12
Monte Patria	25,63
Punitaqui	23,81
Combarbalá	21,72
<b>PROMEDIO TOTAL</b>	<b>27,24</b>

Por otro lado, para determinar la cantidad de suministro que puede entregar este embalse se debe determinar la cantidad de demanda de agua potable por parte de los habitantes.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se necesitan entre 50 y 100 litros de agua por persona al día para garantizar que se satisfagan las necesidades más básicas y que surjan pocos problemas de salud (ONU, 2010). Sin embargo, según información de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) del año 2019, las empresas concesionarias de servicios sanitarios entre el año 2011 y 2017 presentaron los siguientes promedios de dotaciones diarias de agua potable:

Tabla 36: Promedio de dotaciones de agua potable al día por empresas concesionarias de servicios sanitarios.

Año	Promedio [litros por habitante al día, lt/hab/día]
2011	166,9
2012	172,7
2013	174,9
2014	174,5
2015	172,9
2016	168,0
2017	215,9
<b>Promedio</b>	<b>178,0</b>

Es más, según la SISS la empresa Aguas del Valle<sup>21</sup> presentó las siguientes dotaciones promedio de agua potable en los años declarados anteriormente:

<sup>21</sup> Empresa sanitaria que opera en la Región de Coquimbo desde el año 2003.

Tabla 37: Dotación de Agua Potable (litros por habitante al día) promedio de empresa Aguas del Valle de la Región de Coquimbo. Fuente: SISS, 2019.

N°	Empresa	Dotación de Agua Potable (litros por habitante al día, [lt/hab/día])						
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
4	Aguas del Valle	124,6	125,7	126,7	124,9	124,5	127,7	164,7

De acuerdo a la información mostrada, para efectos de este trabajo se adoptará una dotación de 170 [lt/hab/día], la cual es una aproximación del promedio entre:

- La dotación promedio entre los años 2011 – 2017 de todas las empresas concesionarias existentes en el país y,
- La dotación promedio entregada por la empresa concesionaria de la Región de Coquimbo el año 2017. Cabe recalcar, que existe una gran diferencia entre los años 2011 – 2016 y el 2017, esto se debe principalmente a que se actualizaron datos a partir del Censo del año 2017.

Con esta información lo que se puede realizar es una estimación de la cantidad de arranques que podría cubrir la capacidad de este embalse. Para conseguir lo anterior, la metodología empleada es:

- Con el volumen aproximado del embalse (menos las pérdidas) en [lt] se calcula el volumen de agua diario que se podría obtener desde el embalse, lo cual se realiza dividiendo este volumen en 365 (días).
- Luego, el valor obtenido se divide por la dotación diaria por habitante 170 [lt/hab/día], lo que nos entrega la cantidad de habitantes que podrían ser abastecidos de agua potable por día durante un año.
- Finalmente, utilizando el dato bibliográfico de 3,1 personas por arranque en promedio, se puede determinar la cantidad de arranques que podrían ser provistos de agua potable por día durante un año de acuerdo a la capacidad del embalse.

De acuerdo a estos pasos, los resultados para el embalse Infiernillo son los siguientes:

Tabla 38: Cálculo de la cantidad de arranques que podrían ser provistos de agua potable de acuerdo a la capacidad aproximada del embalse Infiernillo.

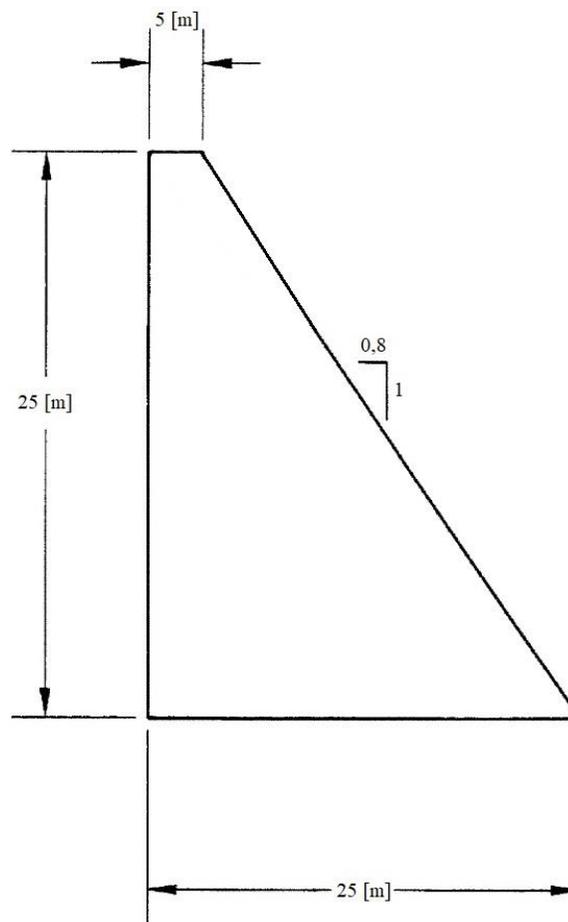
Detalle	Valor
Volumen aproximado del embalse [lt]	544.044.499
Volumen con porcentaje de pérdidas [lt]	395.846.777,49
Volumen de agua diario [lt/día]	1.084.511,72
Cantidad de personas abastecidas de agua potable durante un día	6.380
Cantidad de arranques abastecidos durante un día	2.058

Respecto a la información que se tiene de los 4 APRs que serían beneficiados por este embalse, estos cuentan con un total de 1.122 arranques, información con la que se puede concluir que el

embalse Infiernillo es capaz de suministrar agua potable a estos sistemas durante 1,8 años lo que se traduce en 22 meses aproximadamente. Lo anterior resulta ser positivo para los objetivos que tiene el almacenamiento de agua en embalses sustentables pues muestra una capacidad suficiente para mantener un suministro constante durante por lo menos un año de consumo de agua potable por parte de 4 sistemas de APR.

#### Longitud de presa y coronamiento:

Para la presa de HCR se adopta un ancho de coronamiento de 5 [m] para tener las facilidades de que se pueda usar como camino y tendrá un talud de aguas abajo 0,8:1 (H:V). A continuación, se presenta la sección de la presa:



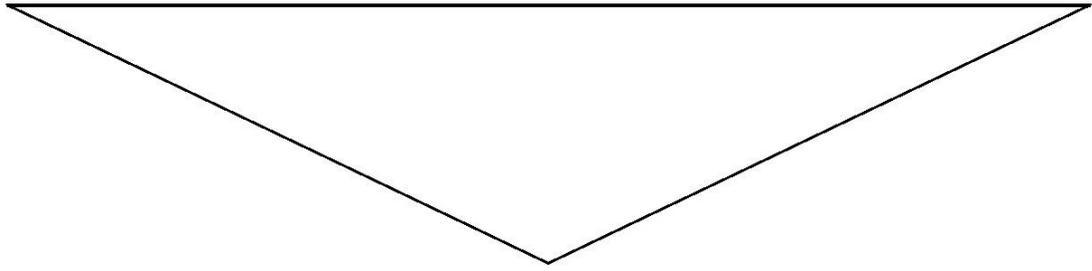
*Ilustración 38: Sección presa infiernillo.*

#### Cubicación presa:

Para la cubicación de la presa lo que se realiza es calcular el volumen utilizando la geometría de sección descrita en el punto anterior, añadiendo que la forma de la presa es influenciada por el terreno mismo, es decir, se debe tener en consideración el perfil longitudinal del lugar escogido para la construcción de la presa.

Para la cubicación de la presa se comparan 3 métodos:

1. Un cálculo rápido y aproximado, suponiendo que existe simetría con respecto al eje central del lugar en donde se está instalando la presa, de forma que la vista frontal a la presa sea como un triángulo:



*Ilustración 39: Vista frontal para cálculo del volumen de la presa Método 1.*

Calcular el volumen de esta forma sería según la siguiente fórmula:

*Ecuación 2: Fórmula volumen presa Método N°1.*

$$V_p = \text{Área sección} \cdot \text{Longitud de la presa} = \frac{1}{2} \cdot \left( H_p \cdot a_c + \frac{(b_p - a_c) \cdot H_p}{2} \right) \cdot L$$

Donde  $H_p$  es la altura de la presa,  $a_c$  es el ancho de coronamiento,  $b_p$  es la longitud de la base de la presa y  $L$  es la longitud horizontal de la presa en el coronamiento.

En este caso, la longitud de la presa en el coronamiento es un dato que se puede obtener tanto de AutoCAD como de Google Earth Pro, por lo que se realizan ambos cálculos.

- AutoCAD: para determinar la longitud de la presa en el coronamiento lo que se debe hacer es utilizar el comando medida – distancia posicionándose en ambos extremos de la presa en la cota más alta, en el caso de la presa Infiernillo sería en la cota 520 [m.s.n.m.].
  - Google Earth Pro: para determinar la longitud de la presa en el coronamiento lo que se hace es ir directamente al perfil longitudinal que entrega Google Earth ya que el valor máximo del eje horizontal nos indica la medida del coronamiento.
2. Utilizando la información que se tiene de las curvas de nivel, se realiza el cálculo del volumen entre estas aproximando la forma de esta sección de presa a un prisma de sección trapezoidal. A continuación, mediante un dibujo se expone como se divide la estructura para poder hacer los cálculos de volumen entre cotas.

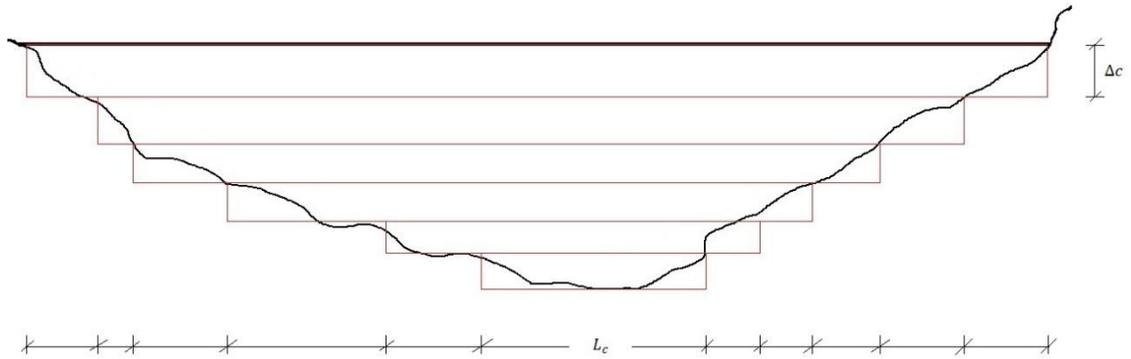


Ilustración 40: Vista frontal para cálculo del volumen de la presa Método 2.

El volumen de cada sección queda determinado por la siguiente formula:

Ecuación 3: Fórmula volumen de sección de presa Método N°2.

$$V_{sección\ p} = \left( a_c \cdot \Delta c + \frac{(0,8 \Delta c) \cdot \Delta c}{2} \right) \cdot L_c$$

Donde  $\Delta c$  es la diferencia entre cotas (en este caso como las curvas de nivel son cada 5 [m], esta diferencia será siempre 5 [m]),  $L_c$  es la longitud de la sección de presa que estamos calculando y el 0,8 corresponde a la pendiente que se define en la sección transversal de la presa de HCR.

Cabe mencionar que la suma total de estos volúmenes sería el volumen aproximado de la presa.

El valor de la longitud de la sección de presa, lo podemos determinar de dos formas diferentes:

- AutoCAD: a través del comando del comando medida – distancia que entrega la longitud entre dos puntos, se determina la longitud que hay en cada curva de nivel.
  - Google Earth Pro: a través del perfil longitudinal de la ubicación de la presa, se determina la distancia que hay en cada curva de nivel, posicionando el cursor sobre cada cota y obteniendo el dato de la distancia.
3. Este último método consiste en aproximar el muro a un prisma al cual se le pueda calcular el volumen. En la mayoría de los casos, la vista frontal de la presa (aproximándola a una figura geométrica) se vería de la siguiente forma:

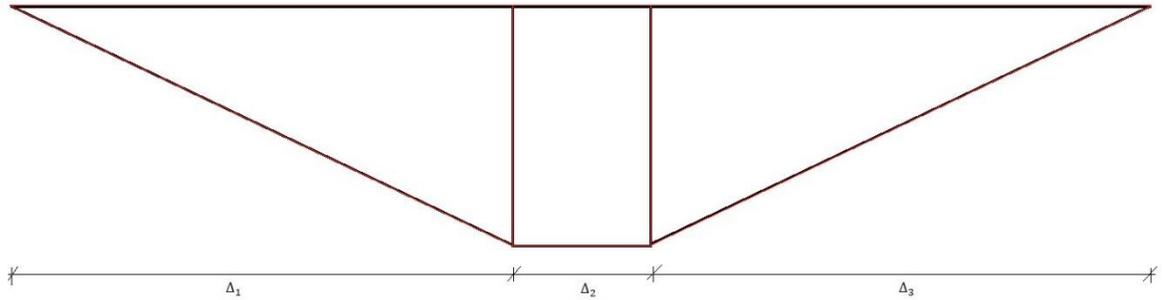


Ilustración 41: Vista frontal para cálculo del volumen de la presa Método N°3.

Incluso, no tiene por qué ser simétrica. De esta forma, para el cálculo del volumen, la figura se divide en tres partes, que se pueden diferenciar claramente en la ilustración. Entonces, la fórmula que determina el volumen de la presa es:

Ecuación 4: Fórmula volumen presa Método N°3.

$$V_p = \frac{\left( H_p \cdot a_c + \frac{(b_p - a_c) \cdot H_p}{2} \right) \cdot (\Delta_1 + \Delta_3) + \left( H_p \cdot a_c + \frac{(b_p - a_c) \cdot H_p}{2} \right) \cdot \Delta_2$$

El valor de las longitudes se puede obtener a través de:

- Google Earth Pro: a través del perfil longitudinal de la ubicación de la presa se puede obtener la información de las medidas necesarias para el cálculo del volumen.
- AutoCAD: se pueden obtener las longitudes  $\Delta c$  a través de los comandos medida – distancia entre dos puntos.

A continuación se entregan los detalles y resultados de cada método para la presa Infiernillo:

Tabla 39: Datos para la cubicación de la presa Infiernillo.

Detalle	Valor
Ancho coronamiento, $a_c$ [m]	5
Pendiente (talud aguas abajo) [-]	0,8
Altura presa, $H_p$ [m]	25
Longitud de la base de la presa, $b_p$ [m]	25
Longitud de la presa en el coronamiento, L [m] (AutoCAD)	159,09
Longitud de la presa en el coronamiento, L [m] (Google Earth Pro)	175

### Método N°1:

Se calcula el volumen con la ecuación 2 utilizando la longitud de presa de coronamiento extraída de AutoCAD:

$$V_p = \frac{1}{2} \cdot \left( 25 \cdot 5 + \frac{(25 - 5) \cdot 25}{2} \right) \cdot 159,09 = 29.829,09 [m^3]$$

Luego, también se calcula el volumen de la misma forma pero utilizando la utilizando la longitud de presa de coronamiento extraída de Google Earth Pro:

$$V_p = \frac{1}{2} \cdot \left( 25 \cdot 5 + \frac{(25 - 5) \cdot 25}{2} \right) \cdot 175 = 32.812,50 \text{ [m}^3\text{]}$$

### Método N°2:

Tabla 40: Detalle del cálculo del volumen mediante longitudes de sección de presa para cada curva de nivel, Método N°2 para la presa Infiernillo.

Cota [m.s.n.m.]	Longitud de presa [AutoCAD] [m]	Volumen presa [m <sup>3</sup> ]	Longitud de presa [GE] [m]	Volumen presa [m <sup>3</sup> ]
520	159,09	5.568,10	175	6.125
515	138,57	4.850,04	155	5.425
510	121,14	4.240,02	130,5	4.567,5
505	100,31	3.510,95	99,4	3.479
500	79,34	2.776,85	60,5	2.117,5
495	53,59		10,2	
<b>TOTAL</b>		<b>20.945,96</b>		<b>21.714,00</b>

### Método N°3:

Tabla 41: Detalle del cálculo del volumen mediante Método N°3 de la presa Infiernillo.

$\Delta_i$	$\Delta$ [AutoCAD] [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	$\Delta$ [GE] [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
$\Delta_1$	70,34	13.189,31	85,9	16.106,25
$\Delta_2$	53,59	20.096,18	10,2	3.825
$\Delta_3$	35,16	6.591,71	78,9	14.793,75
<b>TOTAL</b>		<b>39.877,20</b>		<b>34.725,00</b>

A continuación se presenta una tabla con los resultados de la cubicación utilizando cada uno de los métodos descritos.

Tabla 42: Resumen de volúmenes calculados de la presa Infiernillo.

Método	Volumen presa [m <sup>3</sup> ]
1 [AutoCAD]	29.829,09
<b>1 [Google Earth Pro]</b>	<b>32.812,50</b>
2 [AutoCAD]	20.945,96
2 [Google Earth Pro]	21.714,00
3 [AutoCAD]	39.877,20
3 [Google Earth Pro]	34.725,00

De acuerdo a estos resultados, lo primero que se puede observar son las diferencias entre los valores de los diferentes métodos utilizados, lo que lleva a concluir que ningún método está siendo el indicado para realizar el cálculo aproximado del volumen de la presa y por lo tanto es posible que

se requiera de información más precisa del terreno para poder realizar correctamente esta cubicación. Sin embargo, se estimará como el volumen de HCR para la presa Infiernillo el resultado entregado por el método N°1 con la información extraída de Google Earth Pro. Esto se decide en base a la simplicidad del cálculo y los datos obtenidos por la herramienta más utilizada en este trabajo.

## 7.2 Embalse Lagunillas

En este subcapítulo y en los que siguen de diseño de embalses, se entregaran sólo los resultados ya que en el primer diseño se especificó toda la metodología utilizada.

### Ubicación:

El sitio del embalse lagunillas se encuentra en las siguientes coordenadas:

Tabla 43: Coordenadas ubicación embalse Lagunillas.

Embalse	Coordenada Este [m]	Coordenada Sur [m]	Cota [m.s.n.m.]
Lagunillas	290.260,00	6.620.141,00	380

En la siguiente ilustración se muestra su ubicación relativa a los sistemas de APR más cercanos.

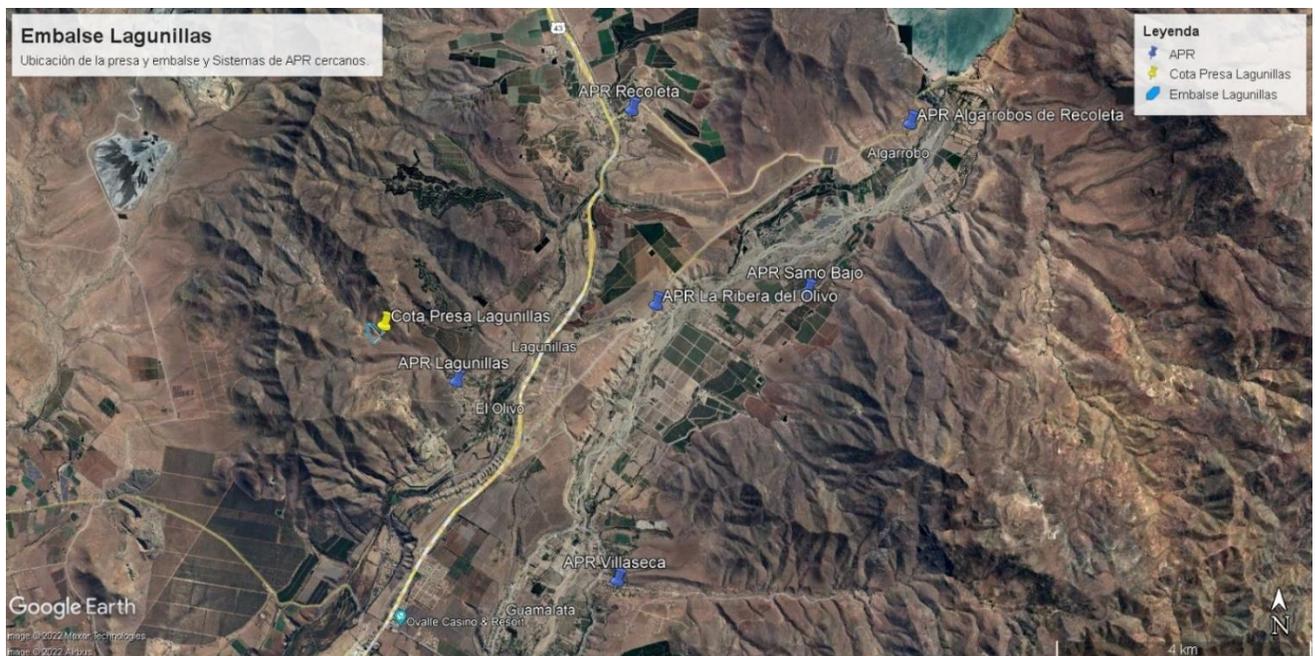


Ilustración 42: Ubicación del embalse Lagunillas y sistemas de APR cercanos.

Se observan principalmente los APRs Lagunillas, La Ribera del Olivo, Recoleta y Samo Bajo, estos se caracterizan por estar ubicados a lo largo de la quebrada el ingenio y la cuenca del Río Limarí. Respecto a estos sistemas se cuenta con la siguiente información:

Tabla 44: Información de los APRs cercanos al embalse Lagunillas.

APR	Comuna	Arranques	N° de personas, (3,1 por arranque)	Demanda diaria estimada [m <sup>3</sup> ]
Lagunillas	Ovalle	254	788	134
La Ribera del Olivo	Ovalle	-	-	-
Recoleta	Ovalle	218	676	115
Samo Bajo	Ovalle	75	233	40
<b>TOTAL</b>		<b>547</b>	<b>1.697</b>	<b>289</b>

### Características del terreno y geometría del embalse y presa:

La ubicación de este embalse se encuentra dentro de un quebrada en donde se escogió un lugar en donde colocar la presa.

La pendiente del terreno la podemos observar en el siguiente perfil de elevación del terreno:

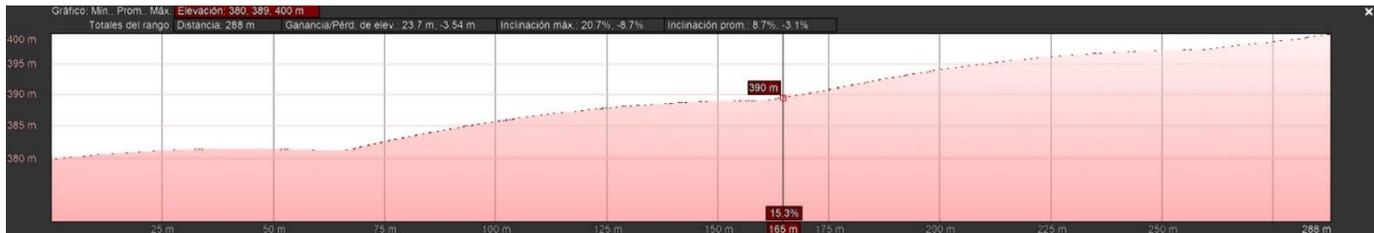


Ilustración 43: Perfil elevación del terreno - embalse lagunillas.

De la misma forma, se puede observar la sección transversal del lugar escogido y en donde se dispondrá de la presa.



Ilustración 44: Perfil de elevación de la sección transversal del lugar de ubicación de la presa lagunillas.

A partir de la información anterior, se puede realizar un cálculo aproximado de las dimensiones del embalse y su respectiva presa:

Tabla 45: Dimensiones embalse y presa Lagunillas. Información determinada con Google Earth Pro.

Dimensión	Valor
Cota mínima [m]	380
Cota máxima [m]	400
Largo (perfil elevación del terreno) [m]	284
Ángulo de inclinación (terreno) [°]	4,04
Ancho presa [m]	270
Altura presa [m]	20

Cubicación del embalse:

- Trazado del embalse en Google Earth Pro.



Ilustración 45: Trazado del embalse Lagunillas en aplicación Google Earth Pro.

- Generación de curvas de nivel y vista 3D de la ubicación del embalse en la quebrada.

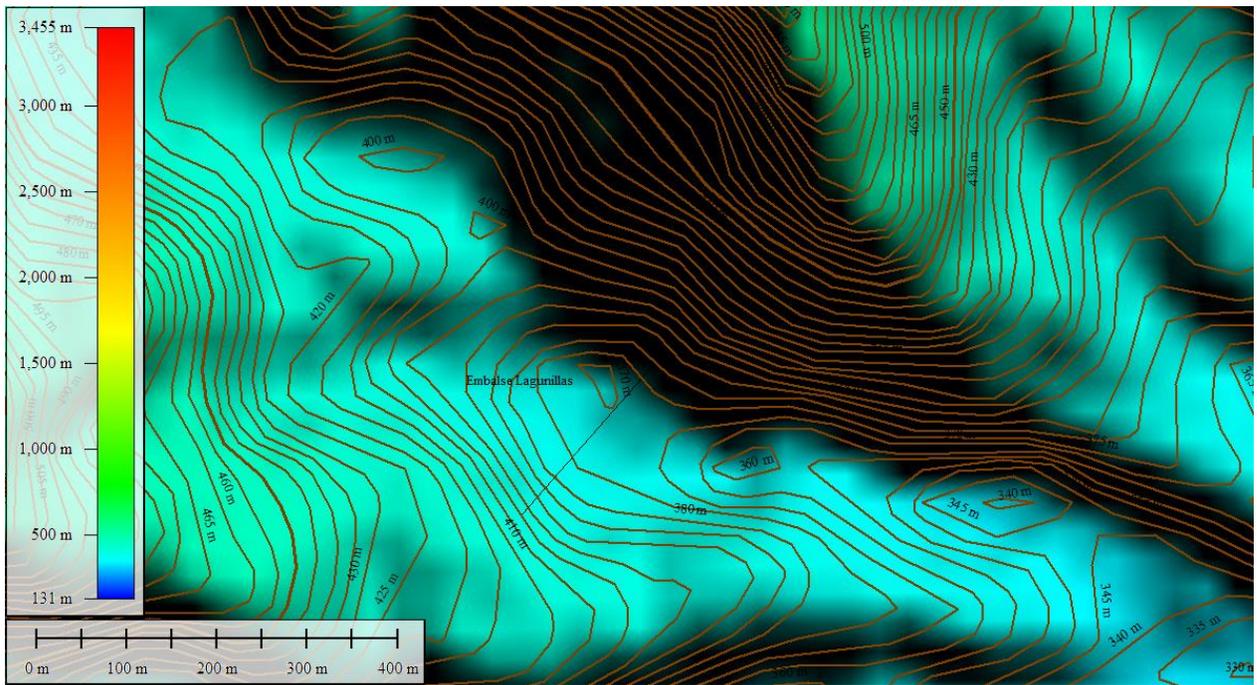


Ilustración 46: Generación de curvas de nivel en Global Mapper - embalse Lagunillas.

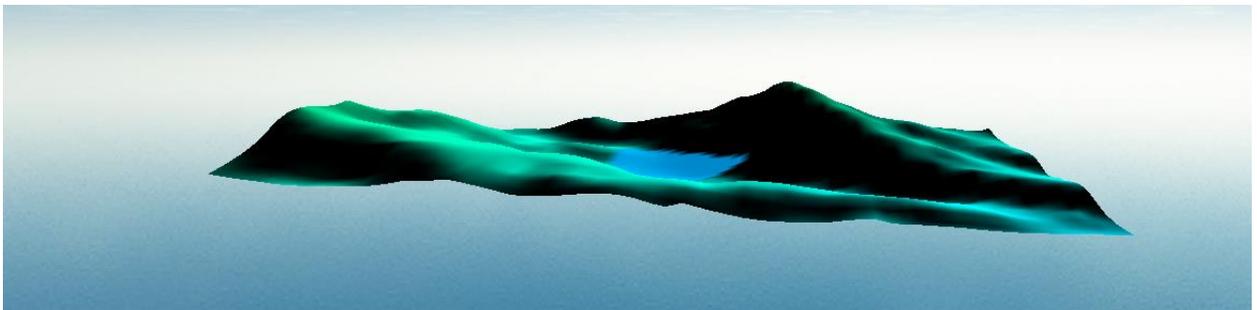


Ilustración 47: Visualización 3D de la quebrada en la ubicación del embalse Lagunillas.

- Cálculo del volumen:
  - Áreas que forman las curvas de nivel.

Tabla 46: Área formada por cada curva de nivel embalse Lagunillas.

Cota [m.s.n.m.]	Área AutoCAD [m <sup>2</sup> ]
400	51.517,5282
395	38.536,0795
390	27.841,3269
385	20.090,5916
380	13.676,2702

- Volúmenes que se forman entre las curvas de nivel.

Tabla 47: Volúmenes que se forman entre cotas embalse Lagunillas.

Cota [m.s.n.m.]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Volumen [lt]
400-395	224.350,21	224.350.214,48
395-390	165.220,82	165.220.818,83
390-385	119.304,12	119.304.121,67
385-380	83.904,80	83.904.798,99
<b>TOTAL</b>	<b>592.779,95</b>	<b>592.779.953,97</b>

El total representa el volumen aproximado del embalse Lagunillas.

- Estimación de la cantidad de arranques que podría cubrir la capacidad del embalse Lagunillas.

Tabla 48: Cálculo de la cantidad de arranques que podrían ser provistos de agua potable de acuerdo a la capacidad aproximada del embalse Lagunillas.

Detalle	Valor
Volumen aproximado del embalse [lt]	592.779.954
Volumen con porcentaje de pérdidas [lt]	431.306.694,51
Volumen de agua diario [lt/día]	1.181.662,26
Cantidad de personas abastecidas de agua potable durante un día	6.951
Cantidad de arranques abastecidos durante un día	2.242

Respecto a la información que se tiene de los 4 APRs que serían beneficiados por este embalse, estos cuentan con un total de 547 arranques, información con la que se puede concluir que el embalse Infiernillo es capaz de suministrar agua potable a estos sistemas durante 4,1 años lo que se traduce en 49 meses aproximadamente.

#### Longitud de presa y coronamiento:

En la siguiente ilustración se muestra la sección de presa lagunillas.

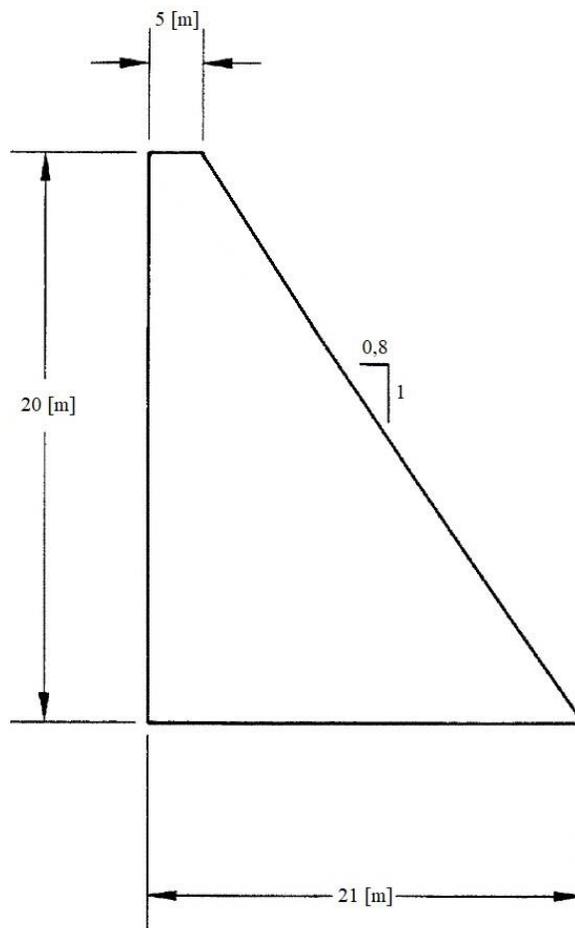


Ilustración 48: Sección presa Lagunillas.

Cubicación presa:

Para poder desarrollar la cubicación es necesario tener en cuenta los siguientes datos:

Tabla 49: Datos para la cubicación de la presa Lagunillas.

Detalle	Valor
Ancho coronamiento, $a_c$ [m]	5
Pendiente (talud aguas abajo) [-]	0,8
Altura presa, $H_p$ [m]	20
Longitud de la base de la presa, $b_p$ [m]	21
Longitud de la presa en el coronamiento, L [m] (AutoCAD)	285,59
Longitud de la presa en el coronamiento, L [m] (Google Earth Pro)	270

Ahora se entregan los detalles y resultados de cada método para la presa Lagunillas:

Método N°1:

- Información extraída de AutoCAD:

$$V_p = \frac{1}{2} \cdot \left( 20 \cdot 5 + \frac{(21 - 5) \cdot 20}{2} \right) \cdot 285,59 = 37.127,32 \text{ [m}^3\text{]}$$

- Información extraída de Google Earth Pro:

$$V_p = \frac{1}{2} \cdot \left( 20 \cdot 5 + \frac{(21 - 5) \cdot 20}{2} \right) \cdot 270 = 35.100,00 \text{ [m}^3\text{]}$$

### Método N°2:

Tabla 50: Detalle del cálculo del volumen mediante longitudes de sección de presa para cada curva de nivel, Método N°2 para la presa Lagunillas.

Cota [m.s.n.m.]	Longitud de presa [AutoCAD] [m]	Volumen presa [m³]	Longitud de presa [GE] [m]	Volumen presa [m³]
400	285,59	7.695,98	270,00	9.450,00
395	263,43	7.097,87	235,10	8.228,50
390	236,24	6.364,46	189,10	6.618,50
385	207,02	5.583,81	138,70	4.854,50
380	169,26		65,00	
<b>TOTAL</b>		<b>26.791,91</b>		<b>29.151,50</b>

### Método N°3:

Tabla 51: Detalle del cálculo del volumen mediante Método N°3 para la presa Lagunillas.

$\Delta_i$	$\Delta$ [AutoCAD] [m]	Volumen [m³]	$\Delta$ [GE] [m]	Volumen [m³]
$\Delta_1$	55,80	7.254,34	114,00	14.820,00
$\Delta_2$	169,26	22.004,41	65,00	8.450,00
$\Delta_3$	60,53	7.868,58	91,00	11.830,00
<b>TOTAL</b>		<b>37.127,32</b>		<b>35.100,00</b>

A continuación se presenta una tabla con los resultados de la cubicación utilizando cada uno de los métodos.

Tabla 52: Resumen de volúmenes calculados para la presa Lagunillas.

Método	Volumen presa [m³]
1 [AutoCAD]	37.127,32
1[Google Earth Pro]	35.100,00
2 [AutoCAD]	26.791,91
2 [Google Earth Pro]	29.151,50
3 [AutoCAD]	37.127,32
3 [Google Earth Pro]	35.100,00
<b>PROMEDIO N° 1 y 3</b>	<b>36.113,66</b>

De acuerdo a los resultados, observamos que entre los métodos N°1 y N°3 los resultados son similares para el caso de este embalse y el método N°2 nos entrega valores menores. En este caso

se considerará el promedio entre los métodos N° 1 y 3 como la cubicación aproximada de la presa Lagunillas.

### 7.3 Embalse Soruco

Ubicación:

El sitio del embalse Soruco se encuentra en las siguientes coordenadas.

Tabla 53: Coordenadas ubicación embalse Soruco.

Embalse	Coordenada Este [m]	Coordenada Sur [m]	Cota [m.s.n.m.]
Soruco	301.482,38	6.557.386,19	715

En la siguiente ilustración se muestra su ubicación relativa a los sistemas de APR más cercanos.

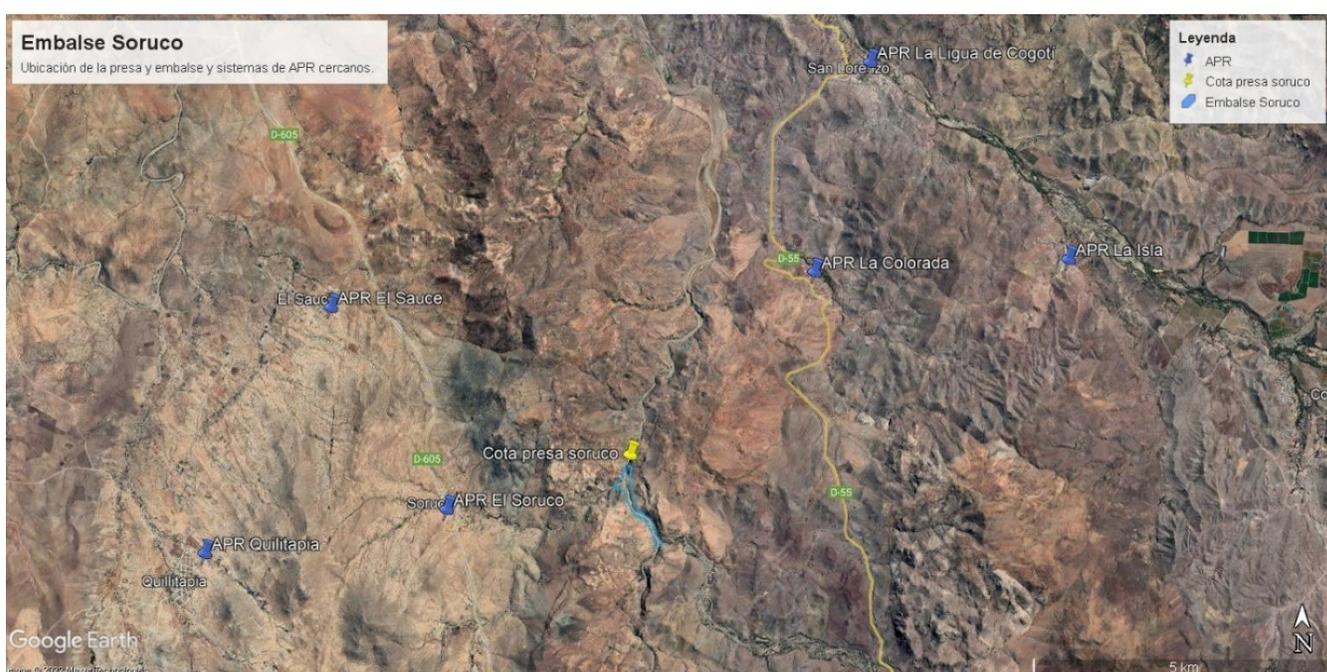


Ilustración 49: Ubicación del embalse Soruco y sistemas de APR cercanos.

Se observan principalmente los APRs El Sauce, El Soruco y Quilitapia que se caracterizan por estar ubicados al poniente del embalse y particularmente lugares conocidos como de secano. Respecto a estos sistemas se cuenta con la siguiente información:

Tabla 54: Información de los APRs cercanos al embalse Soruco.

APR	Comuna	Arranques	N° de personas, por (3,1 arranque)	Demanda diaria estimada [m <sup>3</sup> ]
El Sauce	Combarbalá	144	447	76
El Soruco	Combarbalá	103	320	54
Quilitapia	Combarbalá	365	1.132	192
<b>TOTAL</b>		<b>612</b>	<b>1.899</b>	<b>322</b>

### Características del terreno y geometría del embalse y presa:

A continuación se presentan el perfil longitudinal (de elevación) y la sección transversal de la ubicación de la presa.



Ilustración 50: Perfil elevación del terreno - embalse soruco.

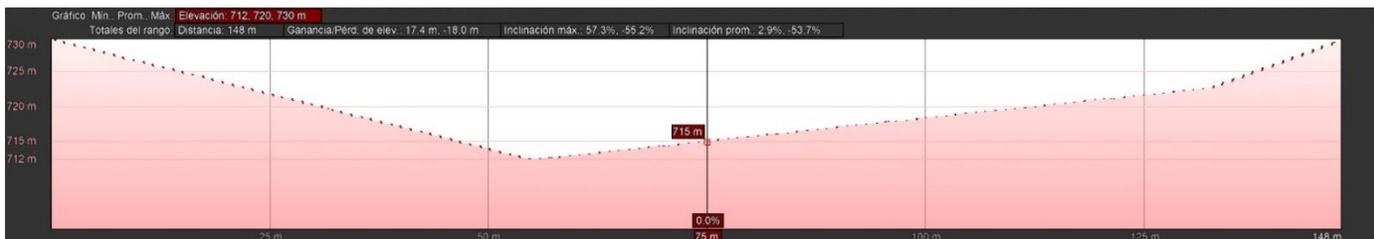


Ilustración 51: Perfil de elevación de la sección transversal del lugar de ubicación de la presa Infiernillo.

Con esta información, se puede realizar el cálculo aproximado de las dimensiones del embalse y su respectiva presa:

Tabla 55: Dimensiones del embalse y presa Soruco. Información determinada con Google Earth Pro.

Dimensión	Valor
Cota mínima [m]	715
Cota máxima [m]	730
Largo (perfil elevación del terreno) [km]	1,53
Ángulo de inclinación (terreno) [°]	-
Ancho presa [m]	148
Altura presa [m]	15

### Cubicación del embalse:

- Trazado del embalse en Google Earth Pro.

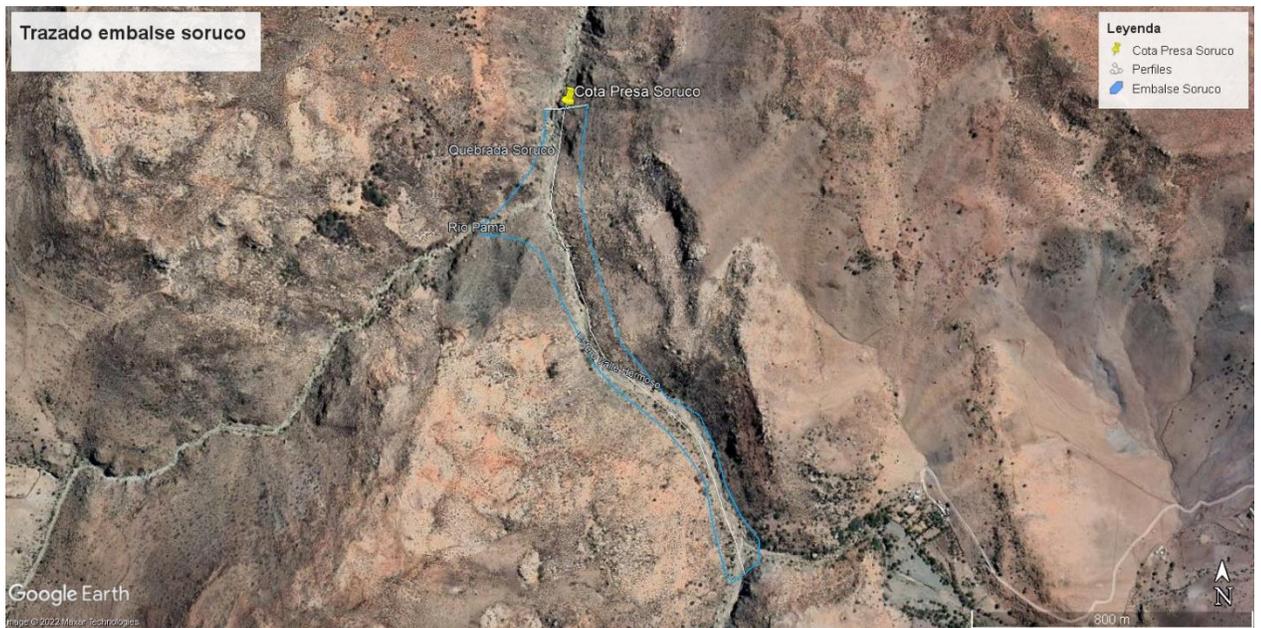


Ilustración 52: Trazado del embalse Soruco en aplicación Google Earth Pro.

- Generación de curvas de nivel y vista 3D de la ubicación del embalse en la quebrada.

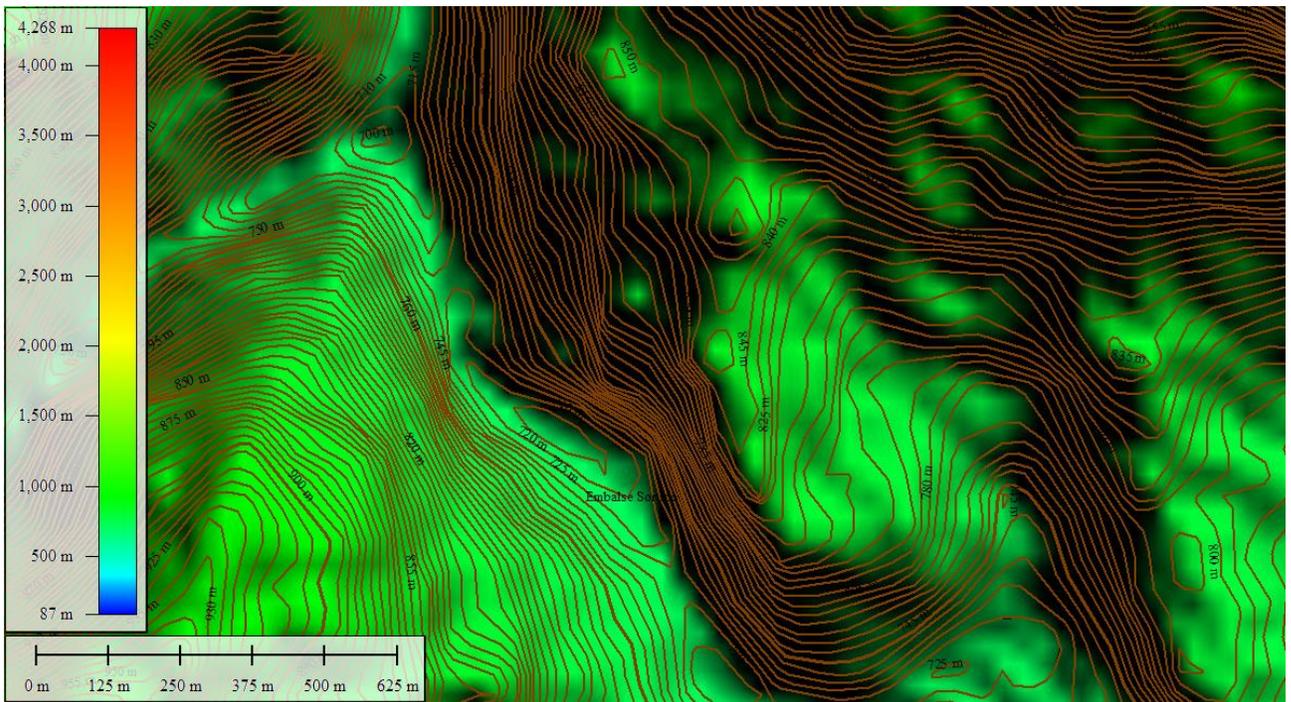


Ilustración 53: Generación de curvas de nivel en Global Mapper - embalse Soruco.

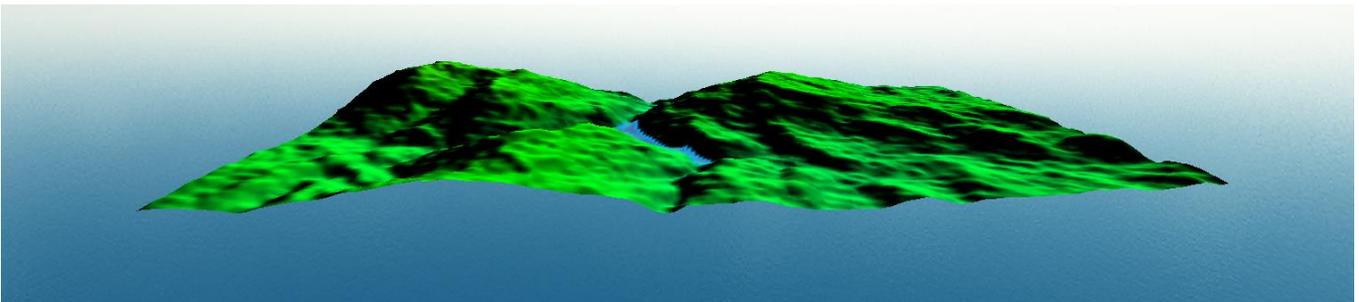


Ilustración 54: Visualización 3D de la quebrada en la ubicación del embalse Soruco.

- Cálculo del volumen:
  - Áreas que forman las curvas de nivel.

Tabla 56: Área formada por cada curva de nivel embalse Soruco.

Cota [m.s.n.m.]	Área AutoCAD [m <sup>2</sup> ]
730	269.705,0903
725	186.524,5687
720	126.494,0374
715	73.742,6512

- Volúmenes que se forman entre las curvas de nivel.

Tabla 57: Volúmenes que se forman entre cotas embalse Soruco.

Cota [m.s.n.m.]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Volumen [lt]
730-725	1.134.201,74	1.134.201.740,96
725-720	777.704,65	777.704.652,48
720-715	494.697,15	494.697.149,57
<b>TOTAL</b>	<b>2.406.603,54</b>	<b>2.406.603.543,01</b>

El total representa el volumen aproximado del embalse Soruco.

- Estimación de la cantidad de arranques que podría cubrir la capacidad del embalse Soruco

Tabla 58: Cálculo de la cantidad de arranques que podrían ser provistos de agua potable de acuerdo a la capacidad aproximada del embalse Soruco.

Detalle	Valor
Volumen aproximado del embalse [lt]	2.406.603.543
Volumen con porcentaje de pérdidas [lt]	1.751.044.737,90
Volumen de agua diario [lt/día]	4.797.382,84
Cantidad de personas abastecidas de agua potable durante un día	28.220
Cantidad de arranques abastecidos durante un día	9.103

Respecto a la información que se tiene de los 3 APRs que serían beneficiados por este embalse, estos cuentan con un total de 612 arranques, información con la que se puede concluir que el embalse Soruco es capaz de suministrar agua potable a estos sistemas durante 14,9 años lo que se traduce en 178 meses aproximadamente.

Longitud de presa y coronamiento:

En la siguiente ilustración se muestra la sección de presa Soruco.

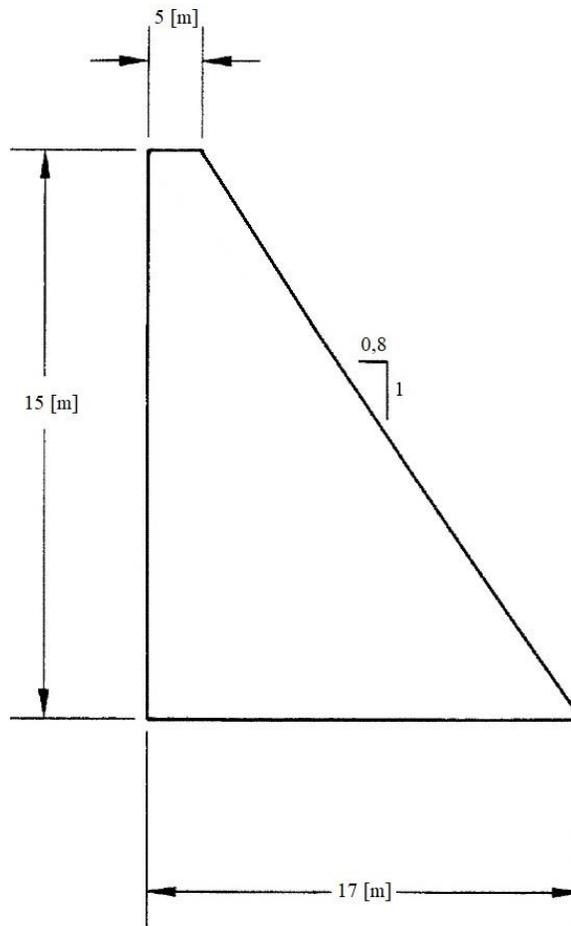


Ilustración 55: Sección presa soruco.

Cubicación presa:

Para poder desarrollar la cubicación es necesario tener en cuenta los siguientes datos:

Tabla 59: Datos para la cubicación de la presa Soruco.

Detalle	Valor
Ancho coronamiento, $a_c$ [m]	5
Pendiente (talud aguas abajo) [-]	0,8
Altura presa, $H_p$ [m]	15
Longitud de la base de la presa, $b_p$ [m]	17
Longitud de la presa en el coronamiento, L [m] (AutoCAD)	120,95
Longitud de la presa en el coronamiento, L [m] (Google Earth Pro)	148

Ahora se entregan los detalles y resultados de cada método aplicado para la presa Soruco.

### Método N°1:

- Información extraída de AutoCAD:

$$V_p = \frac{1}{2} \cdot \left( 15 \cdot 5 + \frac{(17 - 5) \cdot 15}{2} \right) \cdot 120,95 = 9.978,23 \text{ [m}^3\text{]}$$

- Información extraída de Google Earth Pro:

$$V_p = \frac{1}{2} \cdot \left( 15 \cdot 5 + \frac{(17 - 5) \cdot 15}{2} \right) \cdot 148 = 12.210,00 \text{ [m}^3\text{]}$$

### Método N°2:

Tabla 60: Detalle del cálculo del volumen mediante longitudes de sección de presa para cada curva de nivel, Método N°2 para la presa Soruco.

Cota [m.s.n.m.]	Longitud de presa [AutoCAD] [m]	Volumen presa [m <sup>3</sup> ]	Longitud de presa [GE] [m]	Volumen presa [m <sup>3</sup> ]
730	120,95	3.265,60	148,00	5.180,00
725	103,34	2.790,23	125,20	4.382,00
720	81,67	2.205,13	87,20	3.052,00
715	56,84		33,90	
<b>TOTAL</b>		<b>8.260,96</b>		<b>12.614,00</b>

### Método N°3:

Tabla 61: Detalle del cálculo del volumen mediante Método N°3 para presa Soruco.

$\Delta_i$	$\Delta$ [AutoCAD] [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	$\Delta$ [GE] [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
$\Delta_1$	33,31	2.748,08	44,50	3.671,25
$\Delta_2$	56,84	4.689,32	33,90	2.796,75
$\Delta_3$	30,80	2.540,98	69,60	5.742,00
<b>TOTAL</b>		<b>9.978,38</b>		<b>12.210,00</b>

A continuación se presenta una tabla con los resultados de la cubicación utilizando cada uno de los métodos.

Tabla 62: Resumen de volúmenes calculados para la presa Soruco.

Método	Volumen presa [m <sup>3</sup> ]
1 [AutoCAD]	9.978,23
1 [Google Earth Pro]	12.210,00
2 [AutoCAD]	8.260,96
2 [Google Earth Pro]	12.614,00
3 [AutoCAD]	9.978,38
3 [Google Earth Pro]	12.210,00
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.875,26</b>

De acuerdo a los resultados, observamos que entre todos los métodos los resultados son similares para el caso de este embalse y esto permite calcular el promedio de estos volúmenes y finalmente considerar este valor como la cubicación aproximada de la presa Lagunillas.

#### 7.4 Embalse Majada Blanca

##### Ubicación:

El sitio del embalse majada blanca se encuentra en las siguientes coordenadas:

Tabla 63: Coordenadas ubicación embalse Majada Blanca.

Embalse	Coordenada Este [m]	Coordenada Sur [m]	Cota [m.s.n.m.]
Majada Blanca	290.140,00	6.583.090,00	370

En la siguiente ilustración se muestra su ubicación relativa a los sistemas de APR más cercanos.

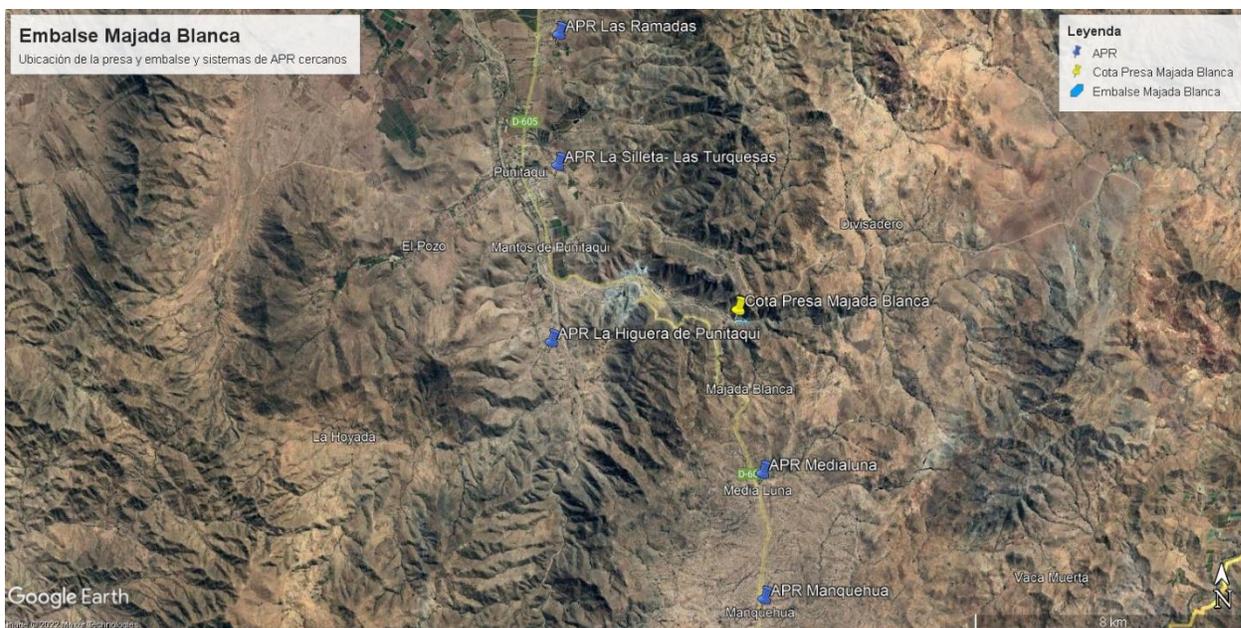


Ilustración 56: Ubicación del embalse Majada Blanca y sistemas de APR cercanos.

Se observan principalmente los APRs La Higuera de Punitaqui, Medialuna y Manquehua que se caracterizan por estar al sur – poniente y sur – oriente del embalse respectivamente. En particular, la Higuera de Punitaqui pertenece a la comuna de Punitaqui, y los otros dos a la comuna de Combarbalá.

Tabla 64: Información de los APRs cercanos al embalse Majada Blanca.

APR	Comuna	Arranques	N° de personas, por (3,1 arranque)	Demanda diaria estimada [m <sup>3</sup> ]
La Higuera de Punitaqui	Punitaqui	642	1.990	338
Medialuna	Combarbalá	45	140	24
Manquehua	Combarbalá	185	574	98
<b>TOTAL</b>		<b>872</b>	<b>2.704</b>	<b>460</b>

Características del terreno y geometría del embalse y presa:

La ubicación de este embalse se encuentra dentro de una quebrada en donde se buscó un lugar estrecho en donde colocar la presa.

La pendiente del terreno la podemos observar en el siguiente perfil de elevación del terreno:



Ilustración 57: Perfil de elevación del terreno - embalse Majada Blanca.

De la misma forma, se puede observar la sección transversal del lugar escogido y en donde se dispondrá de la presa.



Ilustración 58: Perfil de elevación de la sección transversal del lugar de ubicación de la presa Majada Blanca.

A partir de la información anterior, se puede realizar el cálculo aproximado de las dimensiones del embalse y su respectiva presa:

Tabla 65: Dimensiones embalse y presa Majada Blanca. Información determinada con Google Earth Pro.

Dimensión	Valor
Cota mínima [m]	370
Cota máxima [m]	390
Largo (perfil elevación del terreno) [m]	406
Ángulo de inclinación (terreno) [°]	2,82
Ancho presa [m]	172
Altura presa [m]	20

Cubicación del embalse:

- Trazado del embalse en Google Earth Pro.



Ilustración 59: Trazado del embalse Majada Blanca en aplicación Google Earth Pro.

- Generación de curvas de nivel y vista 3D de la ubicación del embalse en la quebrada.

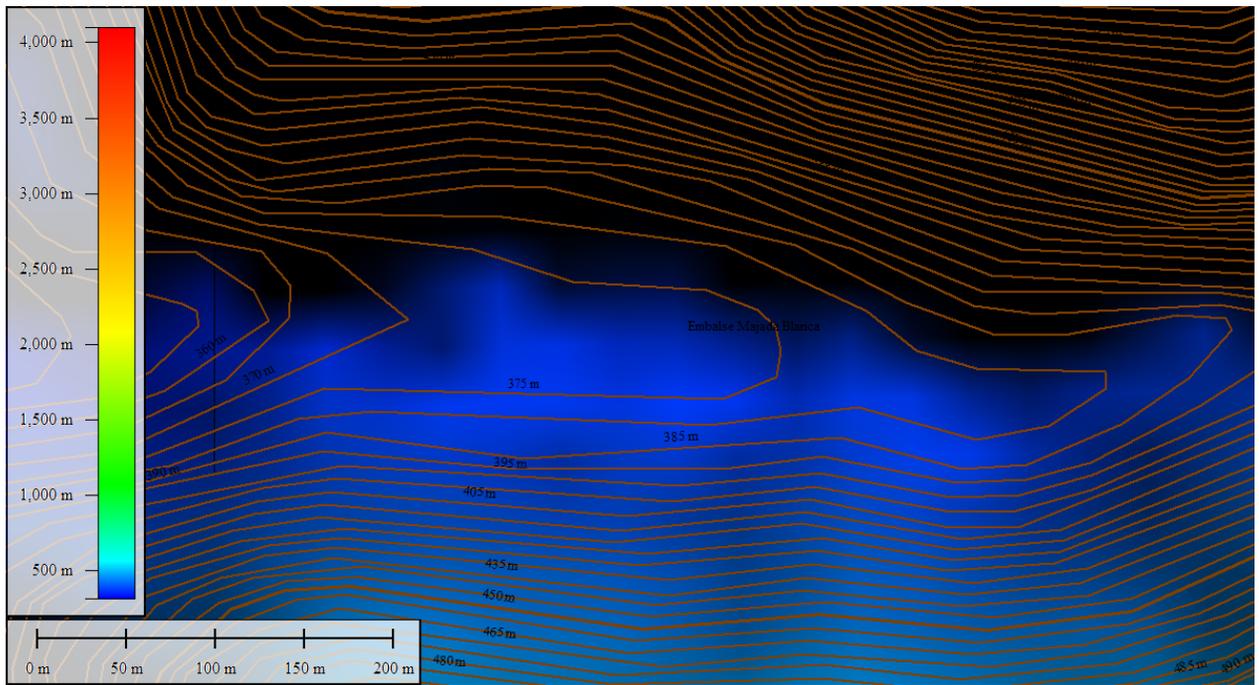


Ilustración 60: Generación de curvas de nivel en Global Mapper - embalse Majada Blanca.

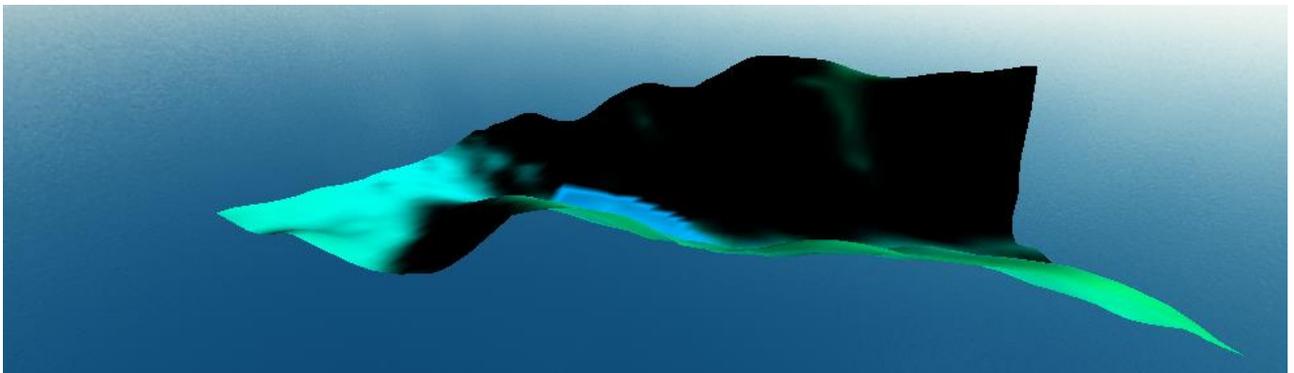


Ilustración 61: Visualización 3D de la quebrada en la ubicación del embalse Majada Blanca.

- Cálculo del volumen:
  - Áreas que forman las curvas de nivel.

Tabla 66: Área formada por cada curva de nivel embalse majada blanca.

Cota [m.s.n.m.]	Área AutoCAD [m <sup>2</sup> ]
390	75.330,6056
385	62.429,8097
380	43.716,0156
375	24.693,0299
370	6.867,9901

- Volúmenes que se forman entre las curvas de nivel.

Tabla 67: Volúmenes que se forman entre cotas embalse majada blanca.

Cota [m.s.n.m.]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Volumen [lt]
390-385	343.896,55	343.896.548,17
385-380	263.979,01	263.979.006,50
380-375	168.774,17	168.774.166,41
375-370	74.306,25	74.306.249,25
<b>TOTAL</b>	<b>850.955,97</b>	<b>850.955.970,33</b>

El total representa el volumen aproximado del embalse Majada Blanca.

- Estimación de la cantidad de arranques que podría cubrir la capacidad del embalse Majada Blanca.

Tabla 68: Cálculo de la cantidad de arranques que podrían ser provistos de agua potable de acuerdo a la capacidad aproximada del embalse Majada Blanca.

Detalle	Valor
Volumen aproximado del embalse [lt]	850.955.970,33
Volumen con porcentaje de pérdidas [lt]	619.155.564,02
Volumen de agua diario [lt/día]	1.696.316,61
Cantidad de personas abastecidas de agua potable durante un día	9.978
Cantidad de arranques abastecidos durante un día	3.219

Respecto a la información que se tiene de los 3 APRs que serían beneficiados por este embalse, estos suman en total 872 arranques, información con la que se puede concluir que el embalse Majada Blanca es capaz de suministrar agua a esta cantidad de arranques durante 3,7 años lo que se traduce en 44 meses aproximadamente.

#### Longitud de presa y coronamiento:

En la siguiente ilustración se muestra la sección de presa majada blanca.

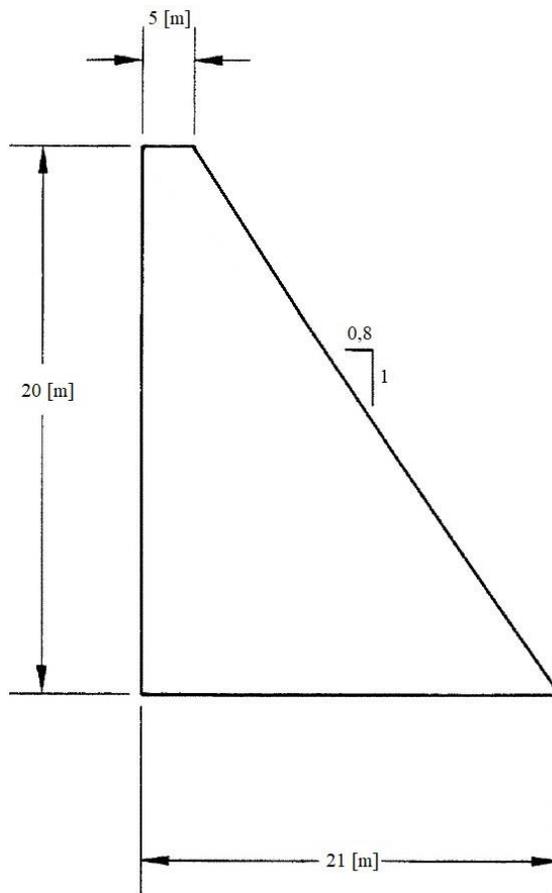


Ilustración 62: Sección presa Majada Blanca.

Cubicación presa:

Para poder desarrollar la cubicación es necesario tener en cuenta los siguientes datos:

Tabla 69: Datos para la cubicación de la presa Majada Blanca.

Detalle	Valor
Ancho coronamiento, $a_c$ [m]	5
Pendiente (talud aguas abajo) [-]	0,8
Altura presa, $H_p$ [m]	20
Longitud de la base de la presa, $b_p$ [m]	21
Longitud de la presa en el coronamiento, L [m] (AutoCAD)	174,40
Longitud de la presa en el coronamiento, L [m] (Google Earth Pro)	172

Ahora se entregan los detalles y resultados de cada método aplicado para la presa Majada Blanca.

Método N°1:

- Información extraída de AutoCAD:

$$V_p = \frac{1}{2} \cdot \left( 20 \cdot 5 + \frac{(21 - 5) \cdot 20}{2} \right) \cdot 174,40 = 22.671,65 \text{ [m}^3\text{]}$$

- Información extraída de Google Earth Pro:

$$V_p = \frac{1}{2} \cdot \left( 20 \cdot 5 + \frac{(21 - 5) \cdot 20}{2} \right) \cdot 172 = 22.360,00 \text{ [m}^3\text{]}$$

### Método N°2:

Tabla 70: Detalle del cálculo del volumen mediante longitudes de sección de presa para cada curva de nivel, Método N°2.

Cota [m.s.n.m.]	Longitud de presa [AutoCAD] [m]	Volumen presa [m³]	Longitud de presa [GE] [m]	Volumen presa [m³]
390	174,40	4.708,73	172,00	6.020,00
385	162,53	4.388,19	148,00	5.180,00
380	145,75	3.935,37	107,20	3.752,00
375	126,85	3.424,95	66,00	2.310,00
370	106,56		26,00	
<b>TOTAL</b>		<b>16.457,24</b>		<b>17.262,00</b>

### Método N°3:

Tabla 71: Detalle del cálculo del volumen mediante Método N°3.

$\Delta_i$	$\Delta$ [AutoCAD] [m]	Volumen [m³]	$\Delta$ [GE] [m]	Volumen [m³]
$\Delta_1$	36,40	4.732,60	84,00	10.920,00
$\Delta_2$	106,56	13.852,97	26,00	3.380,00
$\Delta_3$	31,43	4.086,08	62,00	8.060,00
<b>TOTAL</b>		<b>22.671,65</b>		<b>22.360,00</b>

A continuación se presenta una tabla con los resultados de la cubicación utilizando cada uno de los métodos.

Tabla 72: Volumen presa Majada Blanca.

Método	Volumen presa [m³]
1 [AutoCAD]	22.671,65
1 [Google Earth Pro]	22.360,00
2 [AutoCAD]	16.457,24
2 [Google Earth Pro]	17.262,00
3 [AutoCAD]	22.671,65
3 [Google Earth Pro]	22.360,00
<b>PROMEDIO</b>	<b>22.515,82</b>

De acuerdo a los resultados, se observa que entre los métodos hay poca diferencia entre los resultados, el más alejado es el método N° 2, por lo que no se considera para calcular un promedio. Finalmente, el promedio calculado con los demás resultado nos indica la cubicación aproximada de la presa.

## 7.5 Embalse Angostura

### Ubicación:

El sitio del embalse angostura se encuentra en las siguientes coordenadas.

Tabla 73: Coordenadas ubicación embalse Angostura.

Embalse	Coordenada Este [m]	Coordenada Sur [m]	Cota [m.s.n.m.]
Angostura	247.585,00	6.596.715,00	65

En la siguiente ilustración se muestra su ubicación relativa a los sistemas de APR más cercanos.

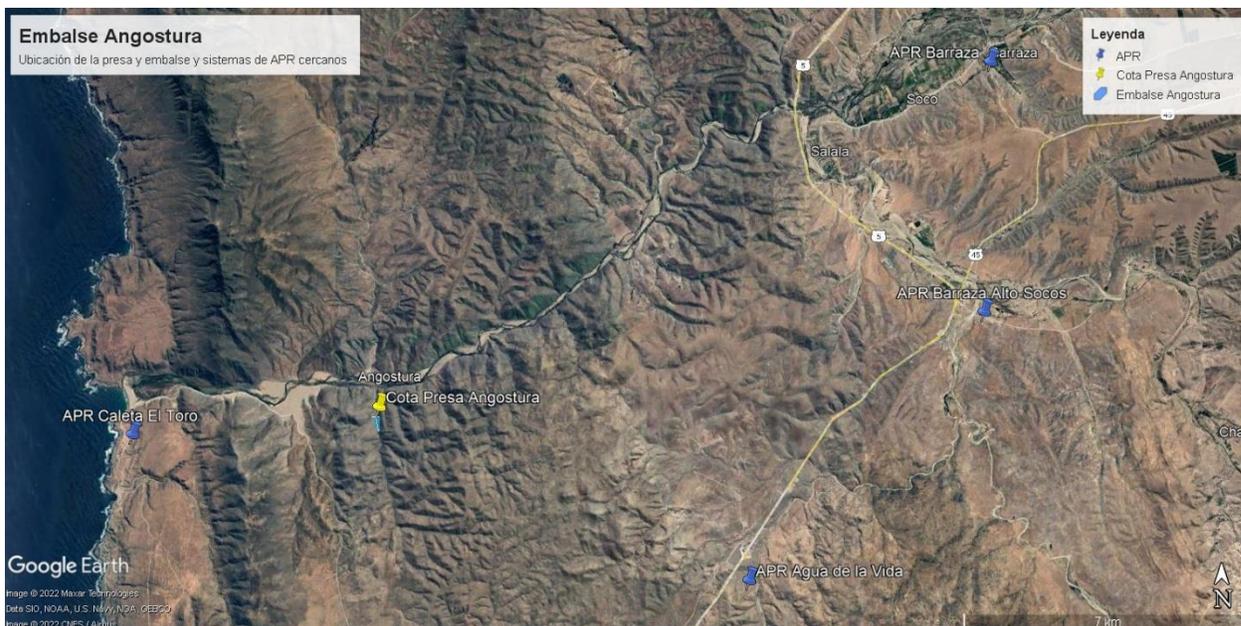


Ilustración 63: Ubicación del embalse Angostura y sistemas de APR cercanos.

Se observan principalmente los APRs Barraza, Barraza Alto – Socos, Agua de la Vida y Caleta el Toro, de los cuales los tres primeros se encuentran al oriente del embalse y el último se encuentra al poniente al lado de la costa. Todos pertenecen a la comuna de Ovalle y se cuenta con la siguiente información:

Tabla 74: Información de los APRs cercanos al embalse Angostura.

APR	Comuna	Arranques	N° de personas, por (3,1 arranque)	Demanda diaria estimada [m <sup>3</sup> ]
Barraza	Ovalle	1.619	5.019	853
Barraza Alto – Socos	Ovalle	565	1.752	298
Agua de la Vida	Ovalle	431	1.336	227
Caleta el Toro	Ovalle	-	-	-
<b>TOTAL</b>		<b>2.615</b>	<b>8.107</b>	<b>1.378</b>

No se cuenta con información detallada del APR Caleta del Toro por lo que para fines de este diseño conceptual, no se incluirá dentro de los cálculos.

Características del terreno y geometría del embalse y presa:

A continuación se presentan el perfil longitudinal (de elevación) y la sección transversal de la ubicación de la presa.



Ilustración 64: Perfil elevación del terreno - embalse angostura.

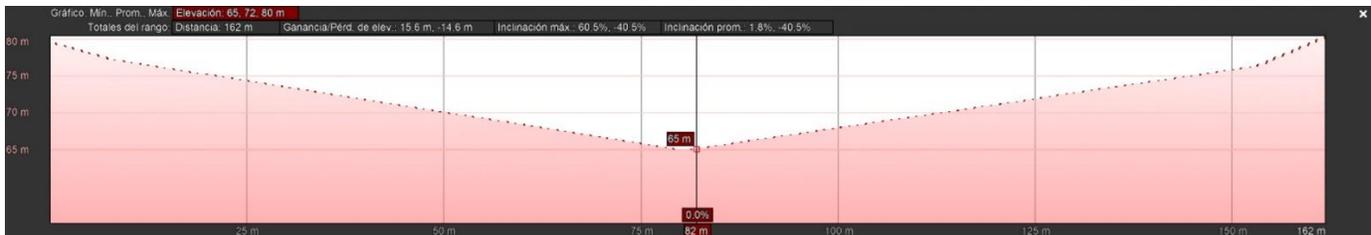


Ilustración 65: Perfil de elevación de la sección transversal del lugar de ubicación de la presa angostura.

Con esta información, se puede realizar el cálculo aproximado de las dimensiones del embalse y su respectiva presa:

Tabla 75: Dimensiones del embalse y presa Angostura. Información determinada con Google Earth Pro.

Dimensión	Valor
Cota mínima [m]	65
Cota máxima [m]	80
Largo (perfil elevación del terreno) [m]	351
Ángulo de inclinación (terreno) [°]	2,45
Ancho presa [m]	162
Altura presa [m]	15

Cubicación del embalse:

- Trazado del embalse en Google Earth Pro.

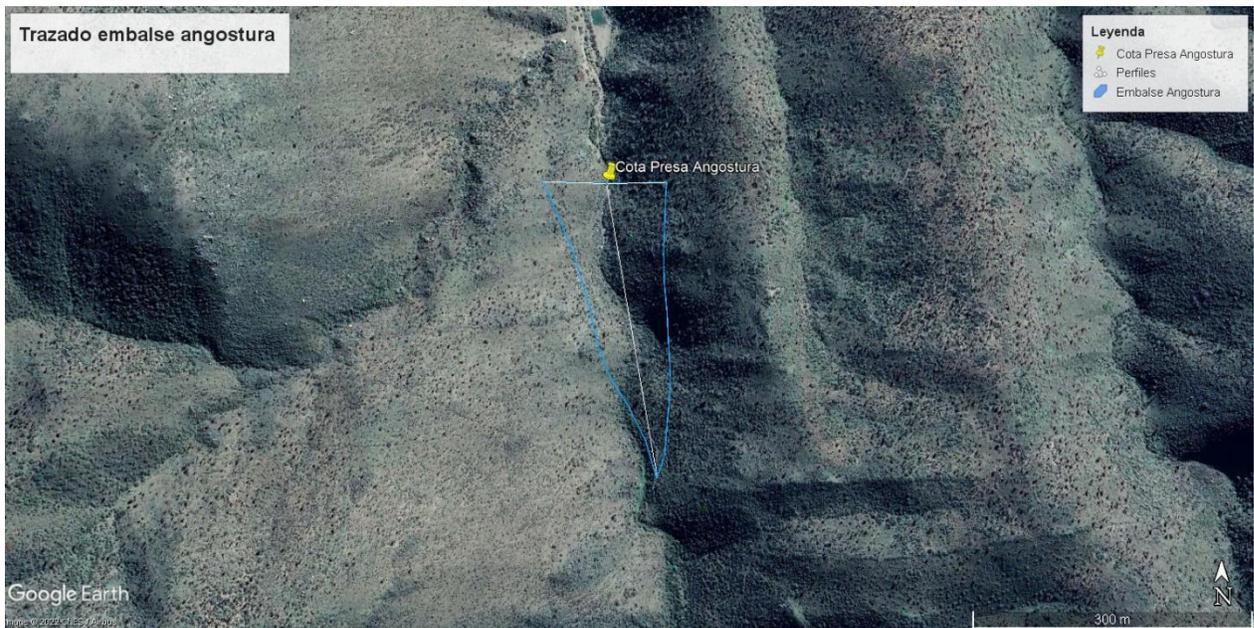


Ilustración 66: Trazado del embalse Angostura en aplicación Google Earth Pro.

- Generación de curvas de nivel y vista 3D de la ubicación del embalse en la quebrada.

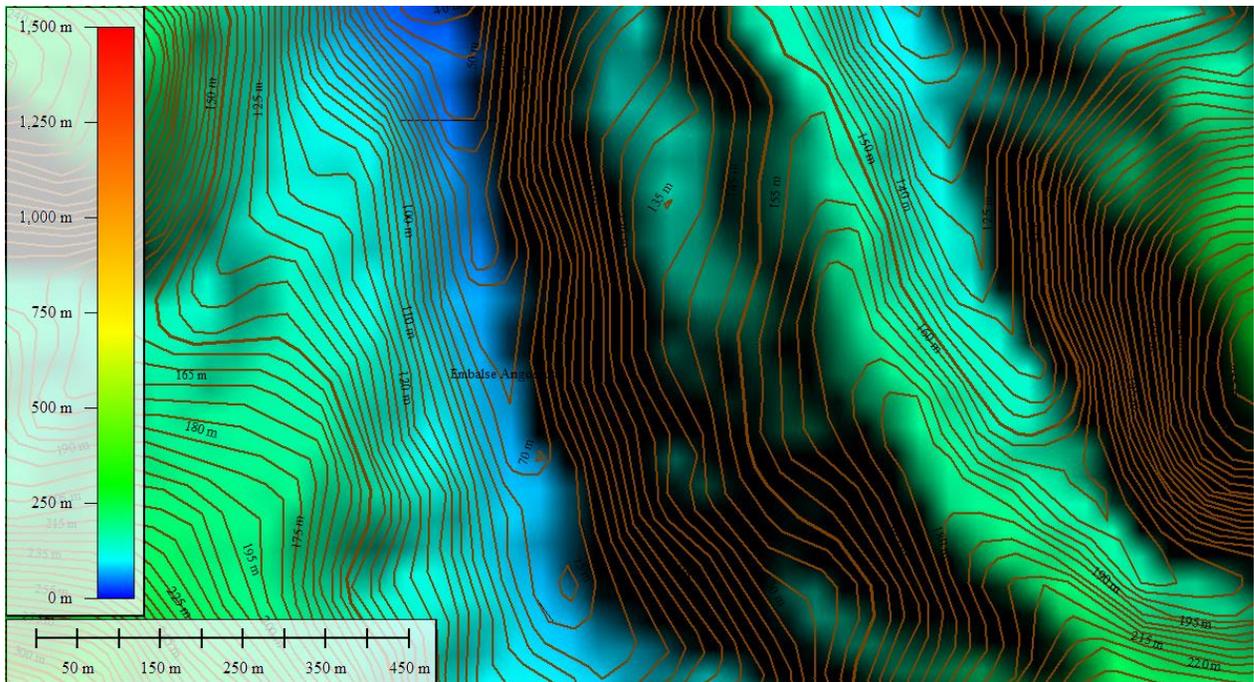


Ilustración 67: Generación de curvas de nivel en Global Mapper - embalse Angostura.

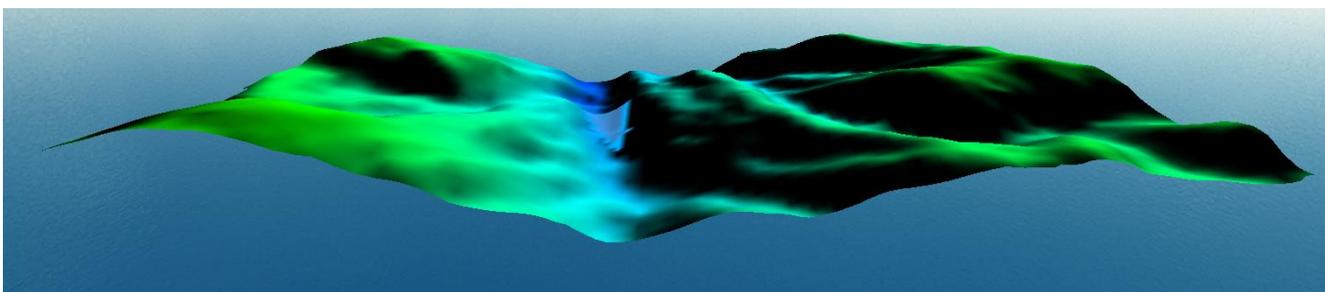


Ilustración 68: Visualización 3D de la quebrada en la ubicación del embalse Angostura.

- Cálculo del volumen:
  - Áreas que forman las curvas de nivel.

Tabla 76: Área formada por cada curva de nivel embalse Angostura.

Cota [m.s.n.m.]	Área AutoCAD [m <sup>2</sup> ]
80	63.459,3268
75	40.435,3343
70	24.776,5460
65	13.776,9568

- Volúmenes que se forman entre las curvas de nivel.

Tabla 77: Volúmenes que se forman entre cotas embalse Angostura.

Cota [m.s.n.m.]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Volumen [lt]
80-75	257.583,92	257.583.921,20
75-70	161.439,77	161.439.769,34
70-65	95.048,40	95.048.396,80
<b>TOTAL</b>	<b>514.072,09</b>	<b>514.072.087,34</b>

El total representa el volumen aproximado del embalse Angostura.

- Estimación de la cantidad de arranques que podría cubrir la capacidad del embalse Angostura.

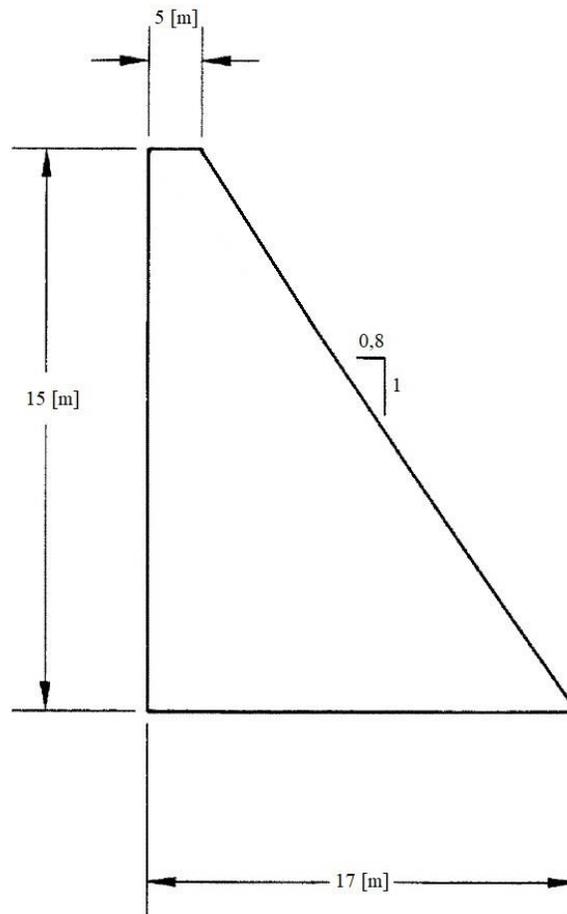
Tabla 78: Cálculo de la cantidad de arranques que podrían ser provistos de agua potable de acuerdo a la capacidad aproximada del embalse Angostura.

Detalle	Valor
Volumen aproximado del embalse [lt]	514.072.087,34
Volumen con porcentaje de pérdidas [lt]	374.038.850,75
Volumen de agua diario [lt/día]	1.024.763,97
Cantidad de personas abastecidas de agua potable durante un día	6.028
Cantidad de arranques abastecidos durante un día	1.945

Respecto a la información que se tiene de los 3 APRs que serían beneficiados por este embalse, estos cuentan con un total de 2.615 arranques, información con la que se puede concluir que el embalse Angostura es capaz de suministrar agua potable a estos sistemas durante 9 meses aproximadamente. Este embalse no cumple con asegurar un servicio continuo durante un año completo, sin embargo, 9 meses sigue siendo un tiempo importante de abastecimiento, considerando que los embalses sustentables serían una solución a problemas que presenten estos sistemas y no cumplirían el rol de fuente de agua permanente como un pozo profundo o noria.

Longitud de presa y coronamiento:

En la siguiente ilustración se muestra la sección de presa Angostura.



*Ilustración 69: Sección presa Angostura.*

Cubicación presa:

Para poder desarrollar la cubicación es necesario tener en cuenta los siguientes datos:

Tabla 79: Datos para la cubicación de la presa Angostura.

Detalle	Valor
Ancho coronamiento, $a_c$ [m]	5
Pendiente (talud aguas abajo) [-]	0,8
Altura presa, $H_p$ [m]	15
Longitud de la base de la presa, $b_p$ [m]	17
Longitud de la presa en el coronamiento, L [m] (AutoCAD)	154,30
Longitud de la presa en el coronamiento, L [m] (Google Earth Pro)	162,00

Ahora se entregan los detalles y resultados de cada método aplicado para la presa Angostura.

Método N°1:

- Información extraída de AutoCAD:

$$V_p = \frac{1}{2} \cdot \left( 15 \cdot 5 + \frac{(17 - 5) \cdot 15}{2} \right) \cdot 154,30 = 12.729,16 \text{ [m}^3\text{]}$$

- Información extraída de Google Earth Pro:

$$V_p = \frac{1}{2} \cdot \left( 15 \cdot 5 + \frac{(17 - 5) \cdot 15}{2} \right) \cdot 162,00 = 13.365,00 \text{ [m}^3\text{]}$$

Método N°2:

Tabla 80: Detalle del cálculo del volumen mediante longitudes de sección de presa para cada curva de nivel, Método N°2 para presa Angostura.

Cota [m.s.n.m.]	Longitud de presa [AutoCAD] [m]	Volumen presa [m <sup>3</sup> ]	Longitud de presa [GE] [m]	Volumen presa [m <sup>3</sup> ]
80	154,29	4.165,91	162,00	5.670,00
75	138,52	3.740,14	130,20	4.557,00
70	119,56	3.228,17	68,60	2.401,00
65	105,55		8,20	
<b>TOTAL</b>		<b>11.134,22</b>		<b>12.628,00</b>

Método N°3:

Tabla 81: Detalle del cálculo del volumen mediante Método N°3 para presa Angostura.

$\Delta_i$	$\Delta$ [AutoCAD] [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	$\Delta$ [GE] [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
$\Delta_1$	25,96	2.141,63	76,00	6.270,00
$\Delta_2$	105,55	8.707,73	8,20	676,50
$\Delta_3$	22,79	1.880,13	77,80	6.418,50
<b>TOTAL</b>		<b>12.729,49</b>		<b>13.365,00</b>

A continuación se presenta una tabla con los resultados de la cubicación utilizando cada uno de los métodos.

*Tabla 82: Volumen presa Angostura.*

<b>Método</b>	<b>Volumen presa [m<sup>3</sup>]</b>
1 [AutoCAD]	12.729,16
1 [Google Earth Pro]	13.365,00
2 [AutoCAD]	11.134,22
2 [Google Earth Pro]	12.628,00
3 [AutoCAD]	12.729,49
3 [Google Earth Pro]	13.365,00
<b>PROMEDIO</b>	<b>12.658,48</b>

De acuerdo a los resultados, observamos que entre todos los métodos los resultados son similares para el caso de este embalse y esto permite calcular el promedio de estos volúmenes y finalmente considerar este valor como la cubicación aproximada de la presa Angostura.

### 7.6 Embalse Vista al Río Combarbalá

#### Ubicación:

El sitio del embalse Vista al Río Combarbalá se encuentra en las siguientes coordenadas.

*Tabla 83: Coordenadas ubicación embalse Vista al Río Combarbalá.*

<b>Embalse</b>	<b>Coordenada Este [m]</b>	<b>Coordenada Sur [m]</b>	<b>Cota [m.s.n.m.]</b>
Vista al Río Combarbalá	307.354,00	6.550.939,00	870

En la siguiente ilustración se muestra su ubicación relativa a los sistemas e APR más cercanos.

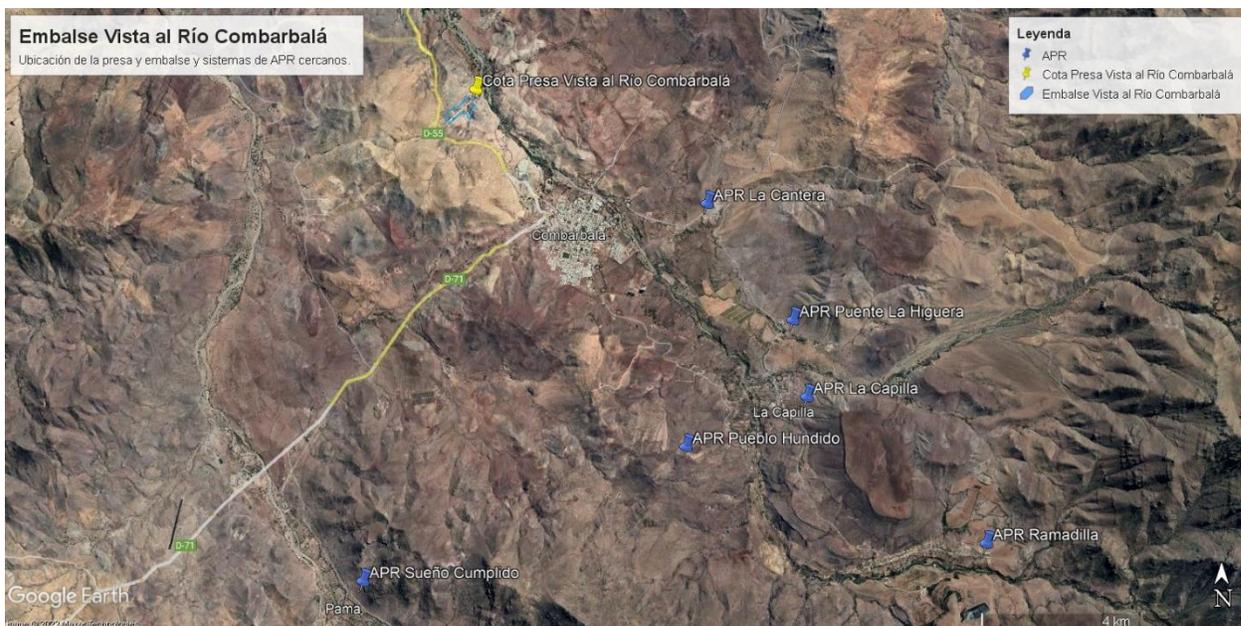


Ilustración 70: Ubicación del embalse Vista al Río Combarbalá y sistemas de APR cercanos.

Se observan principalmente los APRs La Cantera, Puente La Higuera, La Capilla y Pueblo Hundido que se caracterizan por estar en las laderas del Río Combarbalá. Respecto a estos sistemas se cuenta la siguiente información:

Tabla 84: Información de los APRs cercanos al embalse Vista al Río Combarbalá.

APR	Comuna	Arranques	N° de personas, por (3,1 arranque)	Demanda diaria estimada [m <sup>3</sup> ]
La Cantera	Combarbalá	53	165	28
Puente La Higuera	Combarbalá	-	-	-
La Capilla	Combarbalá	36	112	19
Pueblo Hundido	Combarbalá	-	-	-
Ramadilla	Combarbalá	119	369	63
<b>TOTAL</b>		<b>208</b>	<b>646</b>	<b>110</b>

En cuanto a los APRs de los cuales no se tiene información, se dejan fuera de los cálculos para el diseño conceptual.

Características del terreno y geometría del embalse y presa:

A continuación se presentan el perfil longitudinal (de elevación) y la sección transversal de la ubicación de la presa.

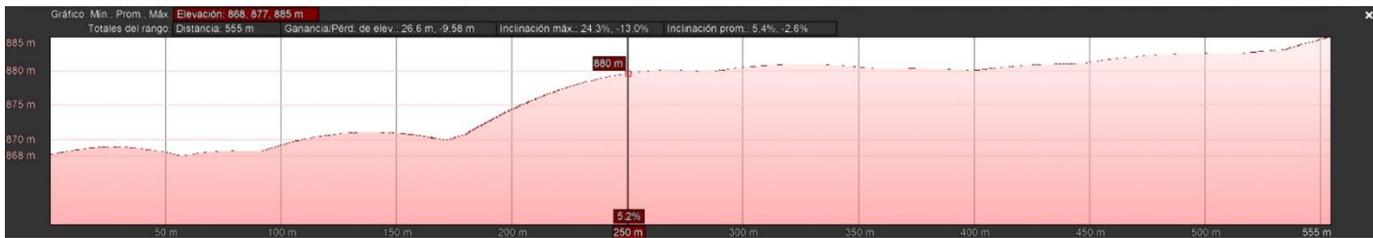


Ilustración 71: Perfil elevación del terreno - embalse Vista al Río Combarbalá.



Ilustración 72: Perfil de elevación de la sección transversal del lugar de ubicación de la presa Vista al Río Combarbalá.

Con esta información, se puede realizar el cálculo aproximado de las dimensiones del embalse y su respectiva presa:

Tabla 85: Dimensiones del embalse y presa Vista al Río Combarbalá. Información determinada con Google Earth Pro.

Dimensión	Valor
Cota mínima [m]	865
Cota máxima [m]	885
Largo (perfil elevación del terreno) [m]	555
Ángulo de inclinación (terreno) [°]	1,76
Ancho presa [m]	199
Altura presa [m]	20

### Cubicación del embalse:

- Trazado del embalse en Google Earth Pro.



Ilustración 73: Trazado del embalse Vista al Río Combarbalá en aplicación Google Earth Pro.

- Generación de curvas de nivel y vista 3D de la ubicación del embalse.

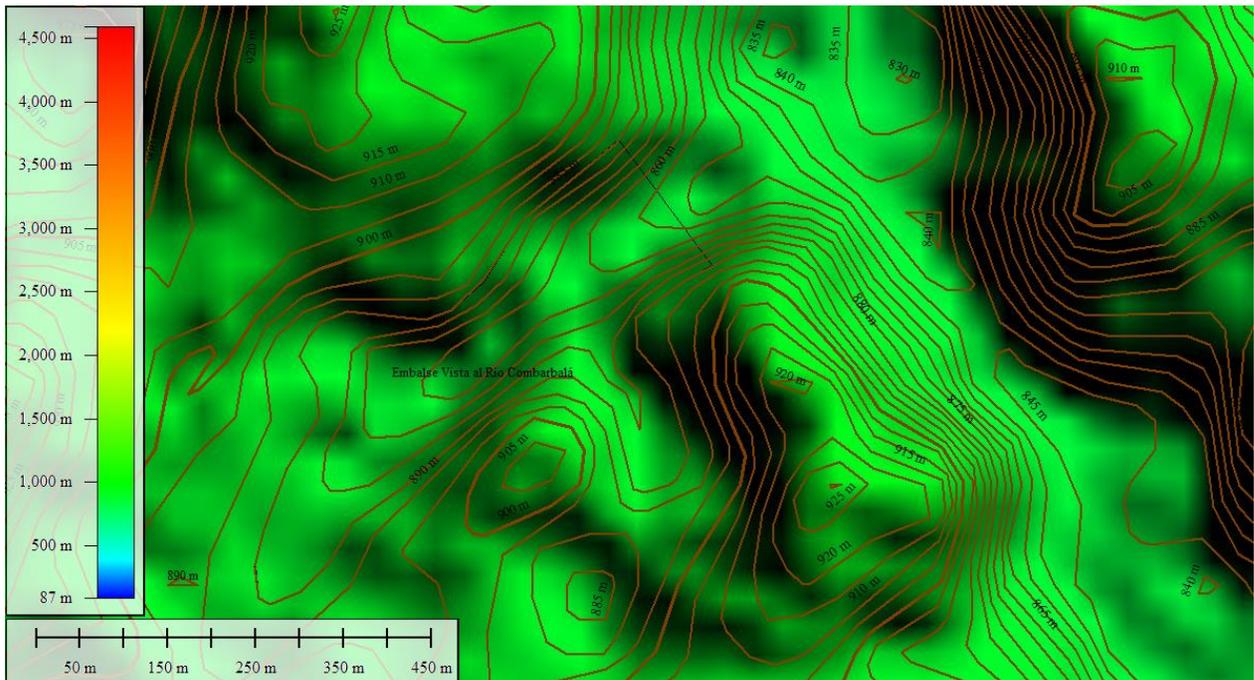


Ilustración 74: Generación de curvas de nivel en Global Mapper - embalse Vista al Río Combarbalá.

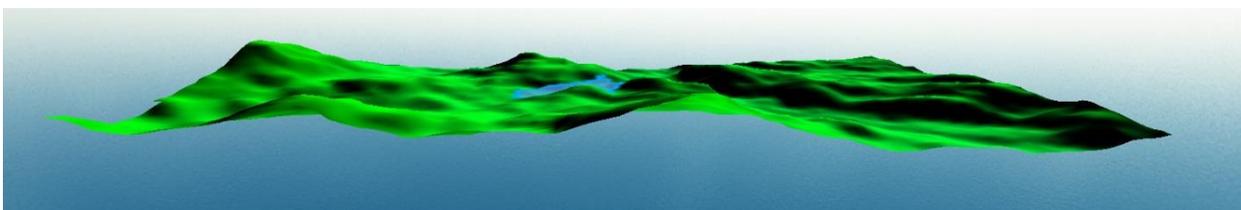


Ilustración 75: Visualización 3D de la ubicación del embalse Vista al Río Combarbalá.

- Cálculo del volumen:
  - Áreas que forman las curvas de nivel.

Tabla 86: Área formada por cada curva de nivel embalse Vista al Río Combarbalá.

Cota [m.s.n.m.]	Área AutoCAD [m <sup>2</sup> ]
885	103.078,2301
880	60.841,6434
875	40.264,7719
870	20.912,5837
865	7.239,4264

- Volúmenes que se forman entre las curvas de nivel.

Tabla 87: Volúmenes que se forman entre cotas embalse Vista al Río Combarbalá.

Cota [m.s.n.m.]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Volumen [lt]
885-880	405.187,26	405.187.256,14
880-875	251.002,69	251.002.693,35
875-870	150.325,48	150.325.480,34
870-865	67.427,14	67.427.136,91
<b>TOTAL</b>	<b>873.942,57</b>	<b>873.942.566,74</b>

El total representa el volumen aproximado del embalse Vista al Río Combarbalá.

- Estimación de la cantidad de arranques que podría cubrir la capacidad del embalse Vista al Río Combarbalá.

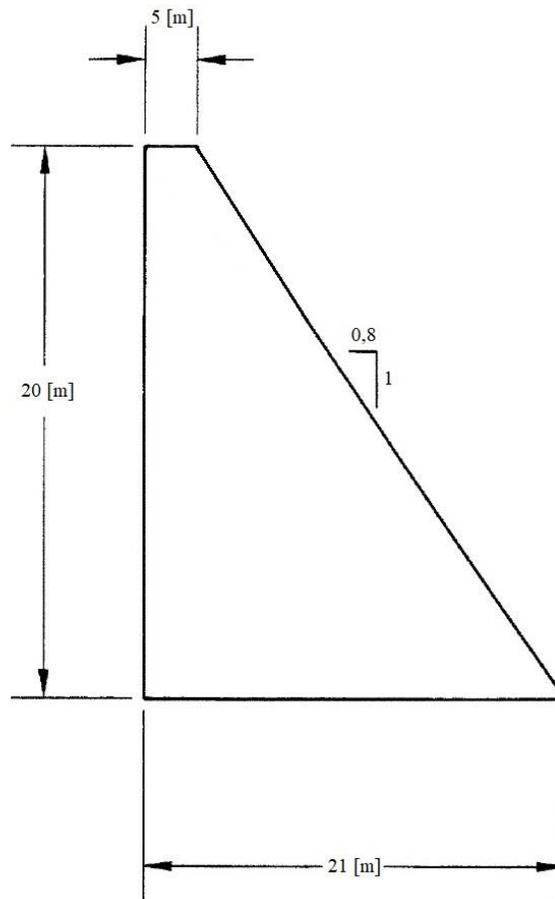
Tabla 88: Cálculo de la cantidad de arranques que podrían ser provistos de agua potable de acuerdo a la capacidad aproximada del embalse Vista al Río Combarbalá.

Detalle	Valor
Volumen aproximado del embalse [lt]	873.942.566,74
Volumen con porcentaje de pérdidas [lt]	635.880.611,56
Volumen de agua diario [lt/día]	1.742.138,66
Cantidad de personas abastecidas de agua potable durante un día	10.248
Cantidad de arranques abastecidos durante un día	3.306

Respecto a la información que se tiene de los 3 APRs que serían beneficiados por este embalse, estos cuentan con un total de 208 arranques, información con la que se puede concluir que el embalse Vista al Río Combarbalá es capaz de suministrar agua potable a estos sistemas durante 15,9 años lo que se traduce en 190 meses aproximadamente. Cabe destacar que otros sistemas podrían verse beneficiados a partir de aquellos embalses que su capacidad represente un alto porcentaje de rendimiento.

Longitud de presa y coronamiento:

En la siguiente ilustración se muestra la sección de presa Vista al Río Combarbalá.



*Ilustración 76: Sección de presa Vista al Río Combarbalá.*

Cubicación presa:

Para poder desarrollar la cubicación es necesario tener en cuenta los siguientes datos de la presa:

Tabla 89: Datos para la cubicación de la presa Vista al Río Combarbalá.

Detalle	Valor
Ancho coronamiento, $a_c$ [m]	5
Pendiente (talud aguas abajo) [-]	0,8
Altura presa, $H_p$ [m]	20
Longitud de la base de la presa, $b_p$ [m]	18,6
Longitud de la presa en el coronamiento, L [m] (AutoCAD)	179,64
Longitud de la presa en el coronamiento, L [m] (Google Earth Pro)	199,00

Ahora se entregan los detalles y resultados de cada método aplicado para la presa Vista la Río Combarbalá.

Método 1:

- Información extraída de AutoCAD:

$$V_p = \frac{1}{2} \cdot \left( 17 \cdot 5 + \frac{(18,6 - 5) \cdot 17}{2} \right) \cdot 179,64 = 23.352,78 [m^3]$$

- Información extraída de Google Earth Pro:

$$V_p = \frac{1}{2} \cdot \left( 17 \cdot 5 + \frac{(18,6 - 5) \cdot 17}{2} \right) \cdot 199,00 = 25.870,00 [m^3]$$

Método 2:

Tabla 90: Detalle del cálculo del volumen mediante longitudes de sección de presa para cada curva de nivel, Método N°2 para presa Vista al Río Combarbalá.

Cota [m.s.n.m.]	Longitud de presa [AutoCAD] [m]	Volumen presa [m <sup>3</sup> ]	Longitud de presa [GE] [m]	Volumen presa [m <sup>3</sup> ]
885	179,64	4.850,19	199,00	6.965,00
880	157,38	4.249,34	166,50	5.827,50
875	134,72	3.637,35	124,20	4.347,00
870	113,39	3.061,58	73,70	2.579,50
865	90,85	-	-	-
<b>TOTAL</b>		<b>15.798,47</b>		<b>19.719,00</b>

### Método 3:

Tabla 91: Detalle del cálculo del volumen mediante Método N°3 para la presa Vista al Río Combarbalá.

$\Delta_i$	$\Delta$ [AutoCAD] [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	$\Delta$ [GE] [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
$\Delta_1$	50,54	6.570,75	55,30	7.189,00
$\Delta_2$	90,85	11.810,62	73,70	9.581,00
$\Delta_3$	38,24	4.971,42	70,00	9.100,00
<b>TOTAL</b>		<b>23.352,78</b>		<b>25.870,00</b>

Tabla 92: Volumen presa Vista al Río Combarbalá.

Método	Volumen presa [m <sup>3</sup> ]
1 [AutoCAD]	23.352,78
1 [Google Earth Pro]	25.870,00
2 [AutoCAD]	15.798,47
2 [Google Earth Pro]	19.719,00
3 [AutoCAD]	23.352,78
3 [Google Earth Pro]	25.870,00
<b>PROMEDIO</b>	<b>24.611,39</b>

De acuerdo a los resultados, observamos que entre todos los métodos N° 1 y 3 los resultados son similares para el caso de este embalse y esto permite calcular el promedio de estos volúmenes y finalmente considerar este valor como la cubicación aproximada de la presa Vista al Río Combarbalá.

#### 7.7 Método constructivo HCR

A continuación, se describen los conceptos vertidos en el capítulo 5.4, para explicar el método constructivo del HCR.

##### 7.7.1 Suministros de áridos para el HCR

Primero es necesario identificar, con las especificaciones técnicas del proyecto, los áridos necesarios para la fabricación del hormigón, esto es, grava, gravilla, arenas. Esto incluye los tamaños de los áridos requeridos.

Por otro lado, debe considerarse la explotación de un yacimiento de origen fluvial que se encuentre en las cercanías de la obra. En caso de ser necesario, deben instalarse plantas de áridos que básicamente son maquinas chancadoras y/o, harneros para separar los áridos por tamaño.

Los áridos son, esencialmente, los mismos que se utilizan para la fabricación del hormigón convencional.

En general, hasta ahora, las presas de HCR construidas en Chile, se han proveído del hormigón mediante su fabricación in situ, explotando yacimientos para la obtención de los áridos, aprovechando las ventajas existentes en los lugares donde estas obras se han materializado, como lo es el cauce del río Bío – Bío.

Para los casos planteados en este estudio, no se tiene conocimiento sobre la existencia o no de yacimientos aptos para la obtención de áridos de hormigón en las zonas cercanas a las presas definidas. En caso de no existir esta disponibilidad, será necesario prospectar la obtención del HCR mediante plantas de fabricación de hormigón existentes en la zona, y trasladar el HCR desde esos lugares de fabricación hasta el sitio de la o las presas, tal como se hace actualmente con el hormigón convencional en camiones mixers, con la salvedad que este caso no serían mixers, sino camiones tolvas.

### 7.7.2 Producción del HCR

Debido a que aún no existe la comercialización del HCR en las empresas que fabrican hormigones, la producción de HCR se ha hecho mediante una planta de hormigón situada en la obra.

También, se debe considerar el transporte de los áridos desde el lugar de explotación y/o planta de áridos hasta la planta de hormigón, donde además se deben considerar las condiciones climáticas adversas que se puedan presentar en la zona. Por ejemplo, en el caso del proyecto Ralco, durante los meses de invierno, se hizo uso de una caldera para calentar el agua de amasado y también se incorporaron protecciones a los silos para evitar que fuesen afectados por las condiciones climáticas, con esto se logró evitar que en el mezclado de HCR no se disolvieran completamente los grumos congelados en la arena, generados por las bajas temperaturas, o se generaran dificultades en los sistemas de transporte de materiales por la presencia de humedad en sus respectivos centros de acopio.

Eventualmente, podrá prospectarse la posibilidad de que una planta de hormigones premezclados tenga instalaciones dedicadas para la producción de HCR por un plazo determinado.

En las experiencias mencionadas, un aspecto importante fue el suministro de cemento proveniente de proveedores chilenos, actores conocidos del mercado. La puzolana empleada, como complemento del cemento se obtuvo de yacimientos cercanos a las obras y plantas de hormigón.

El suministro del cemento constituyó una actividad importante por las cantidades requeridas, en forma diaria y semanal, y por la distancia de transporte desde su origen, como la planta de Polpaico, ubicada a 40 [km] al norte de Santiago; para la fabricación de HCR para la construcción de la presa Pangué en plantas ubicadas en el sitio de la obra, y distante a 630 [km] de Polpaico. La logística de transporte del cemento fue una actividad importante, porque la presa que cubica 750.000 [m<sup>3</sup>] y que fue construida en un plazo aproximado de 12 meses, demandó la fabricación y colocación de poco más de 2.000 [m<sup>3</sup>] diarios, con una ocupación de 320 toneladas de cemento por día, aproximadamente; los cuales debían ser transportados desde la zona de Tiltil hasta el sitio de Pangué.



*Ilustración 77: Planta de producción de HCR para la construcción de la Presa de la central Pangué. Fuente: Adolfo Ochoa.*

Para los casos de este estudio, tenemos volúmenes de presas entre 10.000 a 35.000 [m<sup>3</sup>]. Para aproximarnos a una estimación de la demanda de cemento y si consideramos una presa de 35.000 [m<sup>3</sup>] de HCR, con la siguiente planificación:

- Trabajos en turnos diurnos, de 9 hrs efectivas de trabajo.
- Jornadas semanales de lunes a viernes para la construcción de la presa.
- Uso de camiones tolva de 14 [m<sup>3</sup>] de capacidad.
- Ingreso de un camión tolva cada media hora.

Tendríamos que cada día sería necesario fabricar y colocar 252 [m<sup>3</sup>] de HCR, con lo cual la presa de 35.000 [m<sup>3</sup>] se construiría en 28 semanas aproximadamente, esto es, 6,2 meses y requeriría, a razón de 160 [kg] de cemento por [m<sup>3</sup>] de HCR, una cantidad de 40.320 [kg] de cemento por día.

Éste último valor, calculado en la forma estimada presentada, no representaría un problema mayor para el abastecimiento del cemento.

La puzolana necesaria para complementar el cemento sería suministrada desde yacimientos disponibles y que se encuentren cercanos a los sitios de las obras.

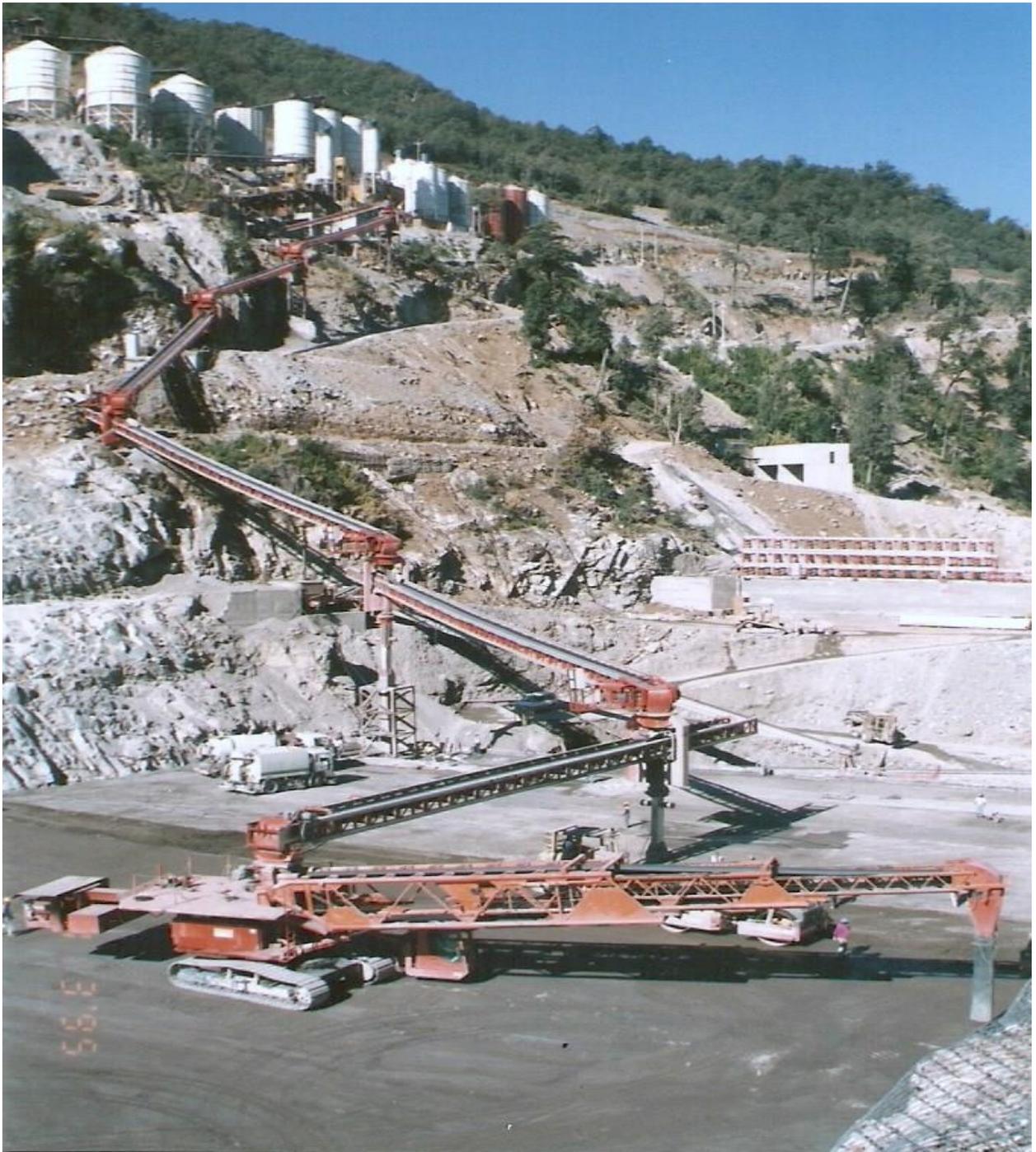
El análisis anterior se puede precisar más con un estudio más detallado, presa a presa, que contemple la cubicación de cada capa de 30 [cm], desde el fondo del valle hasta el coronamiento

de la presa, para lo cual habrá que tener el levantamiento topográfico necesario, y con ello será posible determinar la demanda más precisa de cemento que diariamente deberá ocupar la planta de hormigones.

### 7.7.3 Sistemas de transporte del HCR

Los sistemas de transporte pueden depender de las condiciones topográficas del terreno existente entre la planta de hormigón in situ, la fundación de la presa y la zona de rellenos propiamente tal, y de la distancia entre la planta de hormigón y el sitio de colocación.

Pueden ser camiones tolva o cintas transportadoras. No son necesarios los camiones mixer tradicionalmente usados en el transporte del hormigón convencional, porque en este caso se trata de un hormigón seco, que se comporta como si fuera tierra mientras es manipulado.



*Ilustración 78: Sistema de transporte del HCR mediante cintas transportadoras y colocación, o vaciado, con máquina Crawler Placer en la construcción de la Presa de la central Pangue, en niveles donde el área de colocación ya era importante. Fuente: Adolfo Ochoa.*



*Ilustración 79: Uso combinado de cintas transportadoras y camiones en la construcción de la presa de la central Pangue, en niveles inferiores de la presa, con áreas pequeñas de colocación que no permitían instalar aun la Crawler Placer. Fuente: Adolfo Ochoa.*

#### 7.7.4 Colocación del HCR

Las presas de HCR, como las presas de tierra, requieren de un trabajo sistemático, ordenado y secuencial para construir los rellenos capa a capa.

En general, las presas de tierra pueden estar constituidas por distintos materiales, que se distinguen por su granulometría y función dentro de la presa, como espaldones (para darle peso a la estructura), filtros, drenes y núcleo impermeable; y cada uno de esos tipos de relleno, dada la granulometría requerida, tiene un determinado espesor especificado para su construcción.

En el caso de una presa de HCR podemos considerar que es un relleno homogéneo, excepto por el hormigón convencional que conforma el paramento vertical de agua arriba, cuyo espesor es, normalmente, de 1 [m]. A ese paramento se adosan las capas de HCR que se construyen con un espesor de 30 [cm].



*Ilustración 80: Moldaje para conformar el paramento de aguas arriba de la presa Pangué. Fuente: Luis Uribe.*

Como todo proceso que puede ser manejado de manera industrial, requiere que se cumplan ciertas condiciones previas, o que se den las condiciones de borde necesarias, tales como:

- Adecuada estabilidad y sostenimientos de las laderas o empotramientos de la presa, para garantizar la seguridad de las personas, de las obras y equipos.
- Manejo de las filtraciones para garantizar el trabajo en seco y sin agua o humedades que afecten la calidad del hormigón.
- Limpieza permanente de las superficies que recibirán el HCR, previo a su colocación.

Cumplido lo anterior y verificado antes de colocar cada capa de HCR, el proceso constructivo contiene las siguientes actividades:

- a) Limpieza y preparación de la superficie que recibirá la capa de HCR.

La limpieza consiste en el soplado y lavado a presión de la superficie. La preparación considera la colocación de una lechada de hormigón de no más de dos centímetros, para garantizar la pega de la capa con la superficie inferior.

Las superficies que recibirán el HCR, al comenzar con la construcción de la presa, son los propios terrenos de fundación de ésta, típicamente roca, las que deberán estar exentas de materiales sueltos y el terreno debe ser aquél aprobado por el diseñador, el geotécnico a cargo de la supervisión de la construcción.

Luego de iniciados los rellenos, cada capa de HCR se adosará o apoyará en los estribos de la presa, que son las laderas que constituyen los empotramientos de la presa, constituidos por material natural y que conforma las fundaciones laterales del muro de HCR. Estas superficies deben ser tratadas al apoyar cada capa de HCR, mediante limpieza, lavado, soplado y humectación.

Todo el producto, desechos, del proceso de limpieza y lavado descrito anteriormente debe ser recogido, aspirado y retirado de la zona de rellenos de HCR.

En régimen, la preparación de las superficies que recibirán una capa de HCR, considera la colocación de una lechada de hormigón de no más de dos centímetros, para garantizar la pega de la capa con la superficie inferior.

b) Vaciado del HCR.

En espacios reducidos, que típicamente se presentan al iniciar la construcción de una presa, en el espacio más angosto del valle, el transporte es mediante camiones tolvas, o una cinta transportadora que llega hasta el lugar y allí el material es tomado por camiones tolvas, que transportan el HCR hacia su destino final en la superficie de la presa que recibirá una nueva capa. En estos casos se debe manejar la distancia entre los conos que forma el vaciado, para asegurar el espesor de 30 cm por capa.

A medida que se avanza con el crecimiento de la presa, las superficies de colocación van aumentando su tamaño, y en estos caso se emplea una maquinaria con orugas, llamada Crawler Placer, que se desplaza sobre la presa, vaciando el hormigón de manera uniforme, el que es transportado hasta el sitio mediante cinta transportadora desde las plantas de producción hasta la propia Crawler Placer.



*Ilustración 81: Actividades de preparación de superficie, en la fundación de la presa, y colocación de primeras capas, presa Pangué. Fuente: Luis Uribe.*

c) Esparcido del HCR, de los conos formados con el vuelco de la tolva, mediante un bulldozer, normalmente Caterpillar tipo D 4 o D 6. Esta actividad disminuye si la colocación es mediante Crawler Placer.

- d) Nivelación de la capa con motoniveladora y verificación del espesor especificado.
- e) Compactación con rodillo vibratorio, con el número de pasadas especificado, o el que se haya determinado en terraplenes de prueba realizados antes de la construcción de la obra.
- f) Verificación de las densidades de la capa, con densímetro nuclear.



*Ilustración 82: Densímetro nuclear. Fuente: Luis Uribe.*

Previo a la colocación de los rellenos de HCR para conformar una capa siguiente, se debe lavar a presión la superficie de la capa anterior, para eliminar la lechada seca superficial que aflora con la compactación, y luego el proceso sigue con la colocación de una nueva capa de lechada que recibirá la capa siguiente.

Así como cada capa se adosa al muro vertical de hormigón convencional que conforma el paramento de aguas arriba, y que va creciendo junto con la presa, cada capa de HCR tiene un moldaje en el paramento de aguas abajo para contener la capa, de tal manera que ese talud, el de aguas debajo de la presa, queda finalmente conformado por escalones.

### **7.8 Desarrollo del proyecto de embalse sustentable.**

Hasta aquí se han tratado diversas materias o temas específicos; pero para la materialización el proyecto se requerirá también de otras actividades o tareas que deberán ser realizadas, algunas legales o administrativas y otras de carácter logístico o vinculadas a actividades preliminares, tales como:

- Definición de los terrenos necesarios para el embalse y su construcción. Esto implica conocer las áreas que ocuparán las obras permanentes como aquellas que se emplearán para obras temporales y accesos. Entre éstas últimas: instalación de faenas, caminos para la construcción, talleres, bodegas, etc.

- Con base en lo anterior, determinar los pasos a seguir para que dichos terrenos puedan ser destinados, finalmente, para el proyecto. En este contexto se propone que ellos queden en poder de una entidad vecinal, local, para su administración.
- Avanzar con el diseño de las obras, a etapas más maduras, de ingeniería básica y de detalle, con los estudios necesarios para sustentarlos, como levantamientos topográficos, estudios geológicos – geotécnicos, estudios hidrológicos, entre otros.
- Realización del respectivo estudio de impacto ambiental y su tramitación. Con esto se podrán determinar los impactos y las medidas de mitigación, reparación o compensación de acuerdo con la legislación vigente.
- De acuerdo con el conocimiento que se tiene de la zona, producto de las visitas realizadas, en general los sitios se encuentran cercanos a localidades donde se podrá encontrar alojamientos, por lo cual no se prevé la construcción de campamentos de obra.
- Construcción de caminos de acceso y caminos de construcción de las obras. Esta actividad será necesaria; dados los sitios que se proponen.
- Construcción de líneas de alimentación eléctrica para la construcción de las obras.
- Determinación de las fuentes de suministro de agua para consumo humano y para uso industrial.

Con base en lo anterior se podrá avanzar en la planificación del desarrollo del proyecto, hasta su materialización.

## 8. Abastecimiento a comunidades

En paralelo al diseño de estos embalses, se debe diseñar el sistema de abastecimiento de agua proveniente desde los embalses sustentables hasta a los APRs que serían beneficiados por estos. Sin embargo, para este trabajo de título sólo se indicarán obras que eventualmente podrían diseñarse para que sea posible el abastecimiento de agua proveniente de embalses a los sistemas de APR.

A continuación, se exponen algunas ideas de abastecimiento para las comunidades beneficiadas por los embalses.

### 8.1 Distribución por gravedad: red de tuberías

Una posible obra de distribución del agua serían redes de tuberías que estén conectadas al embalse y se dirijan a las plantas de tratamiento de agua potable de los diferentes sistemas beneficiados. Cabe mencionar que no necesariamente existen plantas de tratamiento de agua, en algunos sistemas de APR sólo se hace filtración o incluso dependiendo de la calidad del agua de sus fuentes, el abastecimiento es directo a las viviendas. En este último caso se debe estudiar la calidad del agua embalsada para poder determinar que se debe hacer para potabilizar el agua. Una posible solución sería que antes de llegar a los sistemas de APR, el agua pase por una planta de potabilización de agua construida en un sector cercano al embalse de acuerdo con las necesidades que se presenten.

La potabilización del agua<sup>22</sup> consistiría en:

- Desbaste: eliminación de sólidos de gran tamaño suspendidos en el agua.
- Desarenado/pre – decantación: eliminación de la arena u otras partículas similares en peso a través de decantación.
- Coagulación y floculación: coagulación de partículas pequeñas para ser sedimentadas.
- Filtración por medio físico.
- Decantación: sedimentación de partículas sólidas que hayan quedado del proceso.
- Cloración: desinfección que asegure la potabilización del agua según la normativa chilena vigente (NCh 409/1).

Una vez que el agua haya superado el proceso de potabilización, puede llegar directamente a los estanques de almacenamiento de los sistemas de APR y no necesariamente pasar por sus propios procesos de potabilización. Otra opción que se podría estudiar es que el agua llegue directamente a las fuentes de agua que tengan los sistemas de APR, sin embargo, en este caso habría que poner énfasis en las pérdidas que se podrían generar, ya que la mayoría se abastece mediante norias y pozos profundos en donde no podemos determinar el tamaño del acuífero ni tampoco podemos determinar si está alimentando a pozos de terceros.

A partir de la cota que posea el embalse, lo ideal sería aprovechar la carga hidráulica y diseñar un sistema de escurrimiento por gravedad.

---

<sup>22</sup> Información extraída de la infografía ¿Cómo se obtiene el agua en Chile? del artículo “Así se obtiene el agua potable en Chile” realizado por Diego Istúriz para diario La Tercera con fuente en la Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios (Andess).

En cuanto a la materialidad, si bien el PVC es el material más utilizado, últimamente el HDPE ha tomado protagonismo debido a sus características como la flexibilidad, su resistencia a los golpes/impactos y su densidad. Muchos sistemas de distribución de agua potable han optado por utilizar este material o empezar a reemplazar sus tuberías que ya cumplieron su vida útil con este material, por lo cual se recomienda utilizar este material para la red de tuberías. Sin embargo, a diferencia del PVC el HDPE se une entre si mediante la termofusión, por lo que se requiere especialización en el manejo de este material.

A modo de ejemplo, se toma el caso del embalse Infiernillo que se encuentra a una cota 495 [m.s.n.m.] y cuyos sistemas más cercanos beneficiados son APR Nueva Aurora, Nuevo Futuro, Los Hinojos y Las Ramadas, los cuales debido a la cota que disponen estos sectores se podrían abastecer mediante escurrimiento por gravedad. A continuación, en la siguiente tabla e ilustración se muestran datos sobre las demandas de estos sistemas y además se observa un trazado de lo que podría ser esta red de tuberías para el abastecimiento de los APRs:

Tabla 93: Información sobre APRs beneficiados por embalse Infiernillo.

APR (comuna)	Cota [m.s.n.m.]	Arranques	Demanda anual estimada [m <sup>3</sup> ]
Nueva Aurora (Ovalle)	294	287	54.511
Nuevo Futuro (Ovalle)	312	314	59.565
Los Hinojos (Punitaqui)	315	410	78.840
Las Ramadas (Punitaqui)	262	111	21.170
<b>TOTAL</b>		<b>1.122</b>	<b>214.086</b>

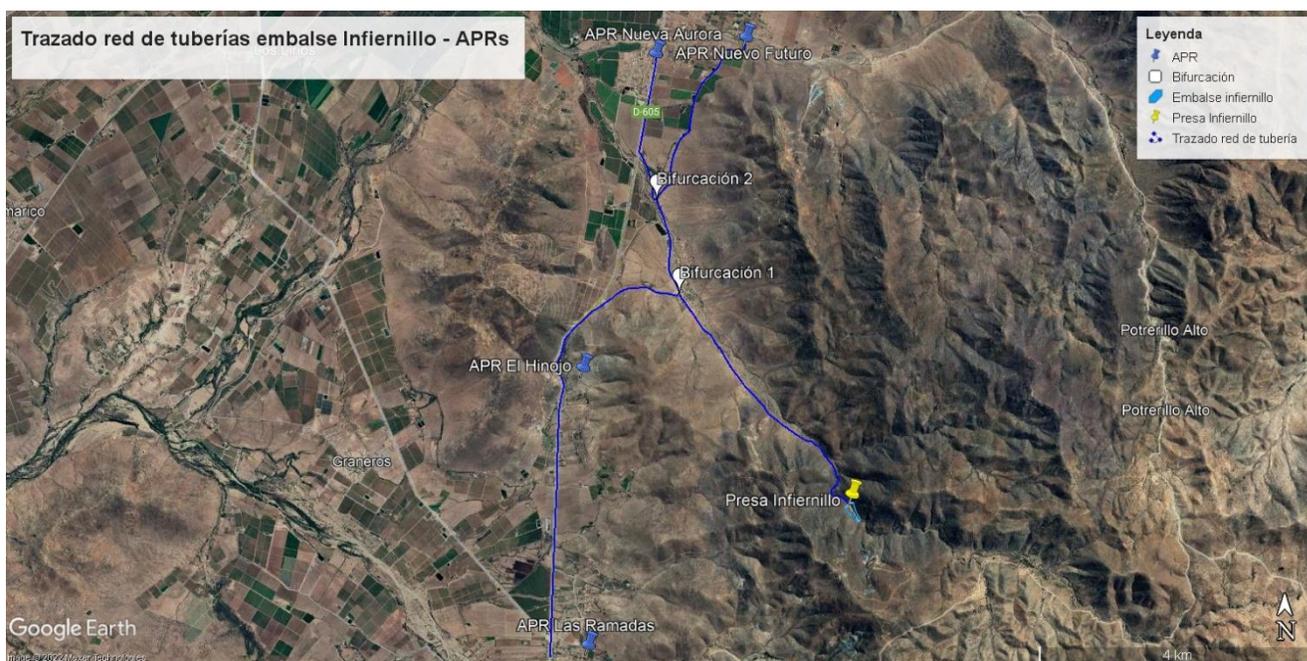


Ilustración 83: Trazado abastecimiento de APRs mediante red de tuberías por gravedad, embalse Infiernillo.

El trazado de la tubería comienza en la presa y continua por la quebrada hasta la primera bifurcación, desde donde nacen dos ramales, que se ubica en el punto 286.050 [m] E y 6.596.474 [m] S, desde este lugar para llegar a los APRs El Hinojo y Las Ramadas la tubería sigue el camino de tierra que lleva hasta el sur – poniente en donde se encuentra con la ruta D-605 y continua por el lado de esta ruta hasta el APR Las Ramadas. Por otro lado, desde la bifurcación 1 hacia el norte por la misma quebrada se llega a la segunda bifurcación que se sitúa en las coordenadas 285.682 [m] E y 6.597.878 [m] S, desde ahí también nacen dos ramales, uno que conduce al APR Nueva Aurora por el lado de la ruta D-605, y otro que conduce hasta el APR Nuevo Futuro por un camino de tierra no identificado.

Si se compara la demanda anual actual de estos sistemas con la capacidad del embalse Infiernillo, notamos que si el embalse alcanza su máxima capacidad de almacenamiento de agua, se puede asegurar el servicio por lo menos por 1,8 años considerando un 27,24% de pérdidas.

Por otro lado, a través de Google Earth Pro se puede determinar la longitud de la red de tubería:

*Tabla 94: Longitudes de la red de tubería.*

<b>Desde- hasta</b>	<b>Longitud aproximada de tubería [km]</b>
Embalse Infiernillo – APR Las Ramadas	11,2
Bifurcación 1 – APR Nueva Aurora	3,94
Bifurcación 2 – APR Nuevo Futuro	3,1
<b>TOTAL</b>	<b>15,14</b>

Es necesario mencionar que se deben estudiar las siguientes variables del sistema de distribución del agua embalsada a los APRs:

- Las obras de captación y conducción del agua proveniente desde los embalses, hasta las distintas localidades de los APR beneficiados en donde debe considerarse la construcción de cámaras de válvulas para control del agua que hace ingreso a sus propios sistemas. Como se mencionó anteriormente, lo ideal es aprovechar la presión generada por la diferencia de cotas entre las obras de captación en los embalses y su conexión a los APR.
  - o La obra de captación podría ser tanto superficial respecto a la presa o en otro sector dependiendo de las condiciones que se tengan, por lo cual debe considerarse desde el comienzo del diseño de la presa, ya que podría ser un canal de salida que se encuentre por alguno de los lados de la presa tipo aliviadero superficial lateral o bien podría ser construida una toma de servicio en algún lugar de la presa o el embalse mediante un túnel o tubería subterránea.
  - o Se deben considerar elementos de control y monitoreo de flujo en el lugar de captación del agua como lo son compuertas móviles, vertederos, válvulas de control, caudalímetros e incluso un presostato que permita conocer la presión del flujo en este punto. Para el caso de los últimos tres elementos se hace necesario la existencia de una cámara de inspección que permita llevar el control y monitoreo del flujo.

- Además, se deben tener en cuenta elementos que impidan el paso de materiales no deseados a la red de tuberías. Por ejemplo, rejillas que impidan el paso de componentes sólidos a la red.
- En cuanto a la conducción del agua que va por la red de tubería, se debe considerar:
  - La materialidad, en donde se recomienda el HDPE. También se debe determinar su clase y diámetro.
  - Diferentes tipos de válvulas de control a lo largo de la red, esto incluye válvulas que permiten la salida del aire de la red.
- Planta de tratamiento de agua potable (potabilización del agua) en caso de ser requerido. En este caso también se debe considerar como llega el agua hasta este lugar y cómo después será distribuida a los distintas localidades de los APR, incluyendo las cámaras de válvulas de control, caudalímetros, desagües, etc.
- Luego, si el agua va directamente a los reservorios de agua de los sistemas de APR (estanques), es necesario considerar como se hará llegar el agua hasta ellos, por ejemplo, si requieren de más presión para llegar debido a que se encuentran en una zona más alta que el lugar por donde va la red de tubería.
- Por otro lado, se puede evaluar la opción de que el tratamiento y distribución del agua quede directamente en manos de cada APR, es decir, el agua sea conducida directamente hasta sus lugares de tratamiento de agua potable.

Finalmente, es preciso mencionar una herramienta útil para la elaboración del diseño de la red de agua potable para el abastecimiento de las comunidades es el software llamado EPANET, que tan solo ingresando inputs como: peso específico y viscosidad cinemática del fluido, propiedades de la tubería (diámetro, longitud, rugosidad, etc.), singularidades del sistema y sus propiedades (tales como las cámaras de válvulas, bombas, etc.) permite desarrollar la calibración de una red de agua potable.

## 8.2 Distribución por gravedad: canal

Otro posible sistema de distribución de agua es mediante un canal, diseñando un sistema similar al que se utiliza en el riego.

El canal comenzaría desde el embalse y conduciría el agua, a diferencia de la conducción por tuberías (que es un ducto cerrado), en contacto directo con el exterior. Al presentar esta diferencia existe un factor relevante a considerar, que es la pérdida de agua por infiltración. Según la Comisión Nacional de Riego (2013) en su Manual del Regante los porcentajes de pérdida de agua de los canales dependen principalmente de tres factores:

1. Tipo de material por el cual escurrirá el agua: esto se refiere al tipo de material con el cual estará hecho el canal y/o el material del revestimiento.
2. Sección húmeda o perímetro mojado<sup>23</sup>.
3. Estado de mantenimiento y limpieza de los canales.

Entonces, a la hora de diseñar un canal de conducción de agua para abastecer a las comunidades es importante tener en consideración los tres factores mencionados por la comisión.

---

<sup>23</sup> Parte del perímetro del canal que se encuentra en contacto con el fluido.

Por otro lado, indican que existen otros factores a considerar debido a que el flujo transitará en contacto directo con el exterior y son:

- La contaminación de las aguas por la incorporación de residuos sólidos o líquidos.
- Materiales de derrumbes.
- Caídas de animales.
- Obstrucciones del canal de forma parcial o total que se traduzcan en el impedimento de la llegada del agua a su destino (sistemas de APR).

Entonces, las obras a considerar en el canal de distribución serían:

- La captación del agua desde el embalse.
- El canal como sistema de conducción: su materialidad, tamaño, características, etc.
  - o Canal principal y otros secundarios.
- Conexión a los sistemas de APR. Algunas opciones pueden ser:
  - o Sistema de captación desde el canal hasta el sistema de tratamiento de agua potable del APR.
  - o Sistema de conexión del canal a un estanque de almacenamiento que esté conectado al sistema de tratamiento de agua potable del APR.

Es importante que esté conectado al sistema de tratamiento del agua debido a que proviene desde el embalse y circula por el canal en contacto directo con el exterior.

A continuación, en la siguiente ilustración se muestra un ejemplo de canal de riego.



*Ilustración 84: Canal de riego. Fuente: Portal Agro Chile.*

Con esto lo que se quiere lograr es plantear la idea de utilizar este sistema de riego (modificado y adaptado a las condiciones de conducción de agua para consumo humano) ampliamente utilizado en la agricultura de la zona, como método de distribución de agua desde los embalses a las comunidades beneficiarias.

### 8.3 Sistemas colectivos de abastecimiento: embalse Valle Hermoso

Un caso particular sobre abastecimiento de agua potable mediante un sistema colectivo es el caso del embalse Valle Hermoso en la comuna de Combarbalá ubicado a aproximadamente 35 [km] al suroriente de la ciudad en un sector llamado Paso del Buey. Este embalse se inauguró el año 2019 y tiene como objetivos:

- Mejorar las condiciones de riego, tanto en regulación como en distribución, beneficiando a una superficie de 1.500 hectáreas, 291 predios y 1.164 personas según datos expuestos en el informe final de evaluación de programa Obras de Riego de la DOH, 2018.
- Como función multipropósito, estaba destinado a beneficiar a 17 Sistemas de APR mediante el suministro de agua potable traduciéndose en cerca de 2.670 personas beneficiadas (Paleo, 2017) y también a la generación de energía eléctrica según estudios de la DOH.

De la descripción del proyecto que se presenta en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del embalse Valle Hermoso se extraen algunas características de la presa y del embalse que se detallan a continuación:

1. El embalse consideró el diseño de una presa tipo CRFD (concrete fase rockfill dam, en español muro de roca con pantalla de hormigón) de 117 [m] de altura.
2. Tiene 455 [m] y 8 [m] de longitud y ancho de coronamiento respectivamente y posee una capacidad de 20,3 millones de [m<sup>3</sup>].
3. El nivel de coronamiento de la presa es la cota 1.671 [m.s.n.m.].
4. El volumen de muro es de 2.597.004 [m<sup>3</sup>].
5. El talud de aguas arriba esta revestido con una pantalla impermeable de hormigón armado.
6. Las obras complementarias consistieron en un túnel de desvío y evacuador de crecidas.
7. El túnel de desvío fue diseñado para un caudal de 32 [m<sup>3</sup>/s] con un periodo de retorno de 20 años y el evacuador está diseñado para un caudal de 346 [m<sup>3</sup>/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.



*Ilustración 85: Embalse Valle Hermoso, comuna de Combarbalá. Fuente: Conpax, 2019.*

En la actualidad, el embalse se encuentra en proceso de llenado que depende de las precipitaciones y acumulación de nieve de la zona en donde está ubicado.

Respecto a las obras que permitan el apoyo a los sistemas de APR, estas no fueron construidas en paralelo al embalse y tampoco fueron mencionadas como obras anexas al proyecto. Y según cita Díaz (2022) en su memoria de título a Arellano (2021) quien expone en su memoria de título una entrevista realizada el 25 de noviembre de 2019 al SEREMI de Coquimbo, quien explica que “...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 ... los sectores que hoy están más complicados en cuanto a fuentes de abastecimiento de agua”, sin embargo, a septiembre de 2020 esto seguía sin resolverse.

En el mismo trabajo realizado por Díaz (2022) en donde investiga sobre el estado de avance de las obras de apoyo, menciona que “A septiembre de 2022, no se tiene conocimiento de cuál es el estado de esta iniciativa, ni cuando se construirán las obras para abastecer con agua del embalse Valle Hermoso...”, sin embargo, cita a Arellano (2021) quien ante una solicitud vía Ley de Transparencia obtuvo la siguiente información sobre la “Construcción Sistema APR colectivo varias localidades, Combarbalá” por parte del Subdirector de Servicios Sanitarios Rurales de la Región de Coquimbo:

- La iniciativa cuenta con una Factibilidad Terminada, la que fue ejecutada entre los años 2012 al 2014, por la empresa consultora Arrau Ingeniería SPA.
- Para el año presupuestario 2021, estaba en proceso de postulación a la Etapa de Diseño ante el Ministerio de Desarrollo Social y Familia. A 29 de Junio de 2021 el

Subdirector informa que 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.

- A la fecha de respuesta de la solicitud de información, se encontraban subsanando las observaciones remitidas por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia a través de RATE OT (Resultado de Análisis Técnico Económico Objetado Técnicamente). Se presentarían nuevamente a revisión al MIDESOYF, durante el mes de Agosto del año 2021.
- El Diseño contemplaría diseñar a nivel de ingeniería la alternativa seleccionada en la 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.
- Según lo concluido en Estudio de Factibilidad Construcción Sistema Colectivo de Agua Potable Rural, Varias Localidades, Comuna de Combarbalá Provincia del 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 camiones aljibes (18 localidades).

Sin perjuicio de lo anterior, Díaz (2022) propone un diseño conceptual de sistemas colectivos de agua potable para los embalses Valle Hermoso y La Paloma de la Provincia del Limarí, específicamente de las comunas de Combarbalá y Monte Patria respectivamente.



Ilustración 86: Embalse La Paloma y Valle Hermoso. Fuente: Google Earth Pro.

A continuación, se resumirá lo expuesto por Díaz (2022) respecto al diseño conceptual del sistema colectivo proyectado para el embalse Valle Hermoso y se propondrá como un sistema que se puede

replicar para los embalses sustentables definidos en este trabajo de título. Lo primordial es detallar las obras que estarían involucradas en un sistema colectivo y su factibilidad técnica.

### 8.3.1 Toma de agua o captación

Respecto al embalse Valle Hermoso Díaz propone “...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 este bajo. Dado que no se tiene mayor información de terreno sobre en qué 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... 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 a 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 coronamiento y la cota dada por la diferencia entre la cota de coronamiento y la altura del muro...”

“En el caso de Valle Hermoso, el caudal que debe salir desde el embalse es 141,94 [l/s] (511 [m<sup>3</sup>/h]) y debe ser elevado a una altura manométrica de 117,40 [m] considerando pérdidas de carga.”

“... se seleccionan bombas en balsa Vogt de eje vertical serie VCB, con campos de trabajo de hasta 1.400 [m<sup>3</sup>/h] de caudal y 170 [m] 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.”



Ilustración 87: Ejemplos de bombas de balsa en eje vertical utilizadas para captación de aguas embalsadas. Fuente: vogt.cl

### 8.3.2 Tratamiento del agua

Díaz considera que *“cada embalse es una fuente de agua dulce, como lo es un pozo o una vertiente. Se transporta el agua cruda y esta se incorpora al tratamiento existente en cada APR.”*

Esto es lo mismo que se propone en el subcapítulo 8.1 de este capítulo, en donde se refiere a esto como dejar en manos de cada sistema de APR el tratamiento del agua.

### 8.3.3 Trazado de tuberías desde embalses hasta APRs

Al igual que en el subcapítulo 8.1 de este capítulo, Díaz propone hacer el trazado en la aplicación Google Earth Pro. Sin embargo, agrega que *“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.”*

Dentro del diseño conceptual de Díaz (2022) no se considera el transporte del agua hasta los estanques de los sistemas de APR debido a que falta información sobre la ubicación exacta de estos, en cambio se considera que a cada localidad donde llega la matriz de agua se almacena en un nuevo estanque de acumulación dimensionado según la demanda de la localidad beneficiada.

A continuación, se detallan los criterios de diseño utilizados por Díaz:

1. 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: *“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 profundidad desde la clave de la tubería.”*
3. Material de las conducciones: *“Dado que ... 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...”*
4. Velocidad de diseño y selección de diámetros: *“...se define un rango de velocidades entre 0,6-1,8 [m/s], esto con el fin de lograr transportar el caudal requerido sin dañar las tuberías.”*  
*“... 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 resultaran en el diámetro interior de la tubería. Dependiendo del espesor que se encoja la tubería soportara más o menos presión de trabajo...”*
5. Presiones de diseño: en este caso Díaz expone que según si la presión es mayor o menor a 200 m.c.a se debe cambiar la materialidad (tal como se cita en el punto 3).
6. Pérdidas friccionales y singulares: *“Para el cálculo de las pérdidas friccionales se opta por utilizar la ecuación de Hazen – Williams:*

*Ecuación 5: Hazen – Williams.*

$$J = \left( \frac{Q}{0,28 \cdot C \cdot D^{2,63}} \right)^{1,85}$$

$$\Delta_f = J \cdot L$$

Donde:

Q [m<sup>3</sup>/s] : Caudal.

C [-] : Coeficiente de Hazen – Williams (depende del material de la tubería, HDPE=140).

D [m] : Diámetro interior de la tubería.

L [m] : Longitud de la tubería.

J [m/m] : Pérdida de carga unitaria.

$\Delta_f$  [m] : Pérdida friccional.

*... 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.”*

- Volumen mínimo de incendio [ $V_{inc}$ ]: “...para un área servida con población de hasta 6 mil habitantes corresponde a 115 [m<sup>3</sup>]...”
- Volumen mínimo de regulación [ $V_{reg}$ ]: “...se calcula como el 15% del consumo máximo diario.”
- Volumen mínimo de reserva [ $V_{res}$ ]: “...debe ser equivalente a 2 horas del caudal máximo diario previsto para localidades con hasta 200.000 habitantes abastecidos.”

Entonces, “El volumen del estanque será el mayor valor resultante entre...  $V_{reg} + V_{inc}$  y  $V_{reg} + V_{res}$ ”.

Respecto a los resultados del sistema colectivo para el embalse Valle Hermoso, Díaz elabora el siguiente trazado en Google Earth Pro:



Ilustración 88: Trazado sistema colectivo embalse Valle Hermoso y los 18 APRs beneficiados. Fuente: Díaz, 2022.

De donde concluye que el largo total del trazado son 157,35 [km] de tubería, los cuales se dividen en la tubería principal que parte desde el mismo embalse Valle Hermoso, y durante su trayecto se divide en 8 ramales.

Respecto a los cálculos, Díaz los realiza con 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.” según lo que describe en su trabajo.

Los input del programa son los siguientes para el caso de las tuberías:

- Diámetro en [mm].
- Longitud en [m].
- Coeficiente Hazen – Williams según el material de la tubería [-].

- Coeficientes de pérdida singular [-].

Para los nodos se deben ingresar:

- Cotas en [m.s.n.m.].
- Demanda base en [l/s].

Para el caso del embalse sólo se requiere la cota en [m.s.n.m.].

Los output del programa son:

- Las presiones en los nodos en [m.c.a].
- Velocidad en las tuberías en [m/s].

Lo cual en palabras de Díaz “...permite realizar simulaciones... e ir modificando los valores de las cotas, diámetros, longitudes, etc. de manera simple y rápida, hasta llegar a la solución requerida.”

Es relevante indicar que según la norma chilena NCh 691 en su apartado 8.7.3 menciona que: “La velocidad máxima en las tuberías y sus elementos complementarios debe ser de 3 m/s.” y por otro lado, menciona que las presiones deben estar dentro del rango de 15 y 70 [m.c.a]. Lo cual nos entrega las velocidades y las presiones de diseño que se requieren para poder llegar a la calibración correcta de la red de tuberías de agua potable en EPANET.

#### 8.4 Sistemas de impulsión

El caso contrario al suministro gravitacional se da cuando los lugares a los cuales se debe llegar, en este caso a los sistemas de APR, se encuentran a cotas más altas que la ubicación del embalse, por lo cual existe necesidad de bombear el agua desde los embalses hacia las distintas localidades.

En su memoria de título, Díaz (2022) propone una solución para este tipo de casos y consiste en la instalación de una Planta Elevadora de Agua Potable (PEAP) que parta desde el embalse, y luego, de APR en APR o más bien de localidad en localidad, con su respectivo equipo de bombeo y estanque de elevación. Díaz propone que para almacenar el caudal requerido por cada APR se dispongan de estanques de acumulación en cada localidad, lo cual es analizable en cada caso, pues podría ocurrir que sea más conveniente almacenar esta agua directamente en los estanques disponibles y que se encuentran operativos en cada sistema, sin embargo, depende de las cotas en las que estén ubicados.

Al diseñar un sistema de impulsión de este estilo, Díaz menciona que es necesario tener en cuenta las presiones que se van generando a través de toda la red, pues se pueden generar altas presiones (no deseadas) en ciertos puntos en donde el agua se eleva a una gran altura de una sola vez. Para esto, es necesario considerar la instalación de plantas re – elevadoras en puntos estratégicos que deben ser analizados considerando el caso particular que se está diseñando.

El embalse Angostura, propuesto en este trabajo de título, posee una cota menor a 3 de los sistemas de APR beneficiados por el mismo, por lo tanto, la instalación de una PEAP es una de las formas posibles de suministrar agua a las comunidades. A continuación, se presenta de forma gráfica una propuesta del trazado de la red que elevaría agua a los APRs más cercanos al embalse.



Ilustración 89: Trazado abastecimiento de APRs mediante red de tuberías por impulsión, embalse Angostura.

Para entender por qué en este caso se plantea una PEAP, es necesario conocer las cotas de cada uno de los puntos involucrados.

Tabla 95: Cotas de cada punto importante dentro de la red.

	<b>Cota [m.s.n.m.]</b>
Presa Angostura	65
APR Caleta el Toro	35
APR Agua de la Vida	248
APR Barraza Alto – Socos	86
APR Barraza	108

Como se mencionó anteriormente, los APRs Agua de la Vida, Barraza Alto – Socos y Barraza se encuentran en localidades que están a cotas superiores al embalse Angostura, por lo tanto, se justifica la idea de implementar un sistema de impulsión mediante una PEAP que conduzca el agua hacia estos puntos.

El trazado de la tubería se parte desde la cola del embalse que continua por la quebrada hasta el punto 248.186 [m] E y 6.594.061 [m] S aproximadamente en donde se empalma con un camino de tierra no identificado que llega hasta la ruta de acceso a la desembocadura del Río Limarí y la Caleta el Toro. Desde ahí nacen dos ramales, uno que continua hacia Caleta el Toro y otro que continua hacia el oriente hasta la ruta 5 norte, ruta por la cual se llega hasta los APRs Agua de la Vida y Barraza Alto – Socos. Para llegar hasta el APR Barraza, se continua el trazado por la ruta 45 que comienza desde el Peaje Lateral Socos y luego se continua por la ruta D-561 hasta el APR.

Adicionalmente, a través de Google Earth Pro se puede determinar la longitud de esta red de tubería propuesta:

Tabla 96: Longitudes de la red de tuberías.

<b>Desde- hasta</b>	<b>Longitud aproximada de tubería [km]</b>
Embalse Angostura – Bifurcación	5,75
Bifurcación – APR Caleta el Toro	11,3
Bifurcación – APRs (Agua de la Vida, Barraza Alto – Socos, Barraza)	27,9
<b>TOTAL</b>	<b>44,95</b>

Finalmente, los sitios en donde se ubiquen re – elevadoras quedan planteados para un trabajo futuro, debido a que se escapa de los alcances de este estudio.

## 9. Comentarios finales y conclusiones

No cabe duda de que la escasez de agua ha generado un sinnúmero de situaciones que afectan a las personas y las actividades productivas que dependen de este recurso.

En particular, en el presente trabajo de título se han desarrollado ideas tendientes a crear sistemas de almacenamiento de agua para contribuir a una mejora en el suministro de agua con fines de consumo humano en sectores rurales de Chile, particularmente en la provincia de Limarí, IV región de Coquimbo.

Lo anterior en el entendido de que realmente no falta el agua para esos fines, sino que falta infraestructura para que el agua disponible llegue hasta los lugares en que viven las personas que necesitan de ella para su consumo como agua potable. Esto porque la demanda de agua potable en esos sectores de Chile es muy baja en comparación a la demanda del mismo recurso con fines de generación hidroeléctrica, explotación minera o riego, por ejemplo. Para efectos comparativos sólo cabe señalar que 1 [l/s] se estima suficiente para mantener cultivos en una hectárea de terreno agrícola, en tanto esa misma cantidad alcanzaría para suministrar agua potable a 508 personas a razón de 170 [lt/persona/día]. Esto conduce a pensar que se debe establecer y priorizar un manejo adecuado e integral de las cuencas hidrográficas del país y en particular de la zona en donde se realiza este estudio, en donde se asegure un aprovechamiento, conservación y uso correcto de los recursos naturales que existen.

Por otro lado, según el último censo realizado el año 2017, de una población total de 17,5 millones, un 12% (esto es, 2,1 millones de personas) vive en zonas rurales. De esta cantidad de personas hay un número importante de ellas que no tiene acceso a redes de agua potable, sin perjuicio de que aquellas que sí están conectadas, en muchos casos sufren la falta de continuidad del recurso y acceden a cantidades diarias inferiores a lo establecido, definido por la DOH en 150 [lt/persona/día]; o lo definido por la Corte Suprema en 100 [lt/persona/día] o lo consumido por personas conectadas a redes de la concesionaria de la IV región, ascendente a 170 [lt/persona/día]. Además, no solo existe este problema, muchos de estos sectores tampoco tienen acceso a red de alcantarillado y se utilizan fosas sépticas que deben ser limpiadas cada cierto tiempo y significa un costo anual importante para las familias. Dada estas condiciones en los sectores rurales del país y en particular de la IV Región, es que existe una gran fuga de habitantes que optan por trasladarse a las ciudades o lugares donde encuentran las condiciones básicas necesarias para poder vivir. Como consecuencia, estos lugares que en general son pueblos, aldeas o caseríos, se van envejeciendo y no hay motivación por parte de las nuevas generaciones en quedarse y formar un hogar en estos sectores, lo cual se traduce en falta de estudiantes, trabajadores, técnicos, profesionales, etc. en estas localidades que permitan un desarrollo de la comunidad.

Por lo expuesto, en el presente trabajo se ha desarrollado la idea de estudiar la factibilidad de instalar embalses de tamaño pequeño a mediano, sólo con fines de almacenar agua dulce natural, o desalinizada, destinada al consumo de las personas. Esto, además, porque los embalses existentes en Chile no están destinados al abastecimiento de agua potable para zonas rurales, sino para riego. La Dirección de Obras Hidráulicas algo ha avanzado en el uso de embalses para riego, con fines de abastecimiento de agua potable, declarándolos como embalses multipropósito; pero ello aún no se ha materializado con la instalación de las obras necesarias para tal fin.

La principal forma de abastecer a las zonas rurales es apoyar a los sistemas de Agua Potable Rural de forma que el agua almacenada en los embalses llegue a ellos y se aproveche su propia

infraestructura, sin embargo, a través de este trabajo se pudo dilucidar problemas que poseen estos sistemas respecto a la infraestructura ya que la mayoría lleva décadas de funcionamiento sin mantenimientos, reparaciones o cambios por lo que su sistema se ha visto envejecido y deteriorado. Respecto a esto, entra en vigencia con el reglamento promulgado el año 2020 la Ley de Servicios Sanitarios Rurales (Ley N° 20.998 publicada el año 2017) que establece un marco jurídico e institucional que regula estos servicios que incluyen la provisión de agua potable y, recolección y tratamiento de aguas servidas. Esto implicó la creación de la Subdirección de Servicios Sanitarios en la DOH del MOP que estaría a cargo de “...efectuar estudios, gestión comunitaria, inversiones de agua potable, inversiones de saneamiento, proyectos de agua potable, proyectos de saneamiento y llevar el registro de los operadores.” (Ley 20.998, 2021), lo que significa una mayor incidencia de la DOH en estos sistemas, prestando apoyo, capacitación y, diseño y construcción de nueva y mejor infraestructura para los APRs ahora llamados Servicios Sanitarios Rurales. Si bien esto aún no es así, al menos en la Provincia del Litoral, se espera que con el tiempo esta participación se haga presente en estos sectores que realmente necesitan del apoyo del Estado para tener condiciones de vida dignas al igual que todas las personas que tienen acceso continuo al servicio de agua potable y alcantarillado a través de las concesionarias.

Producto de este trabajo es posible señalar que:

1. Muchos de los sistemas de APR de toda la Provincia presentan problemas de escasez hídrica, siendo, en general, incapaces de producir agua potable de sus propias fuentes debido a la baja de nivel de sus norias, pozos, etc.
2. Si bien los camiones aljibes son una solución para combatir la escasez en los sistemas, no es una solución definitiva para las personas, ya que en muchos lugares se deben realizar cortes del suministro (en otras palabras, se entrega un servicio discontinuo) para poder abastecer a toda la comunidad con agua potable.
3. En muchos sistemas la que hace falta es infraestructura que les permita obtener y distribuir el agua a sus usuarios.
4. En algunas localidades la movilización de camiones aljibe es alta, ya que requieren de hasta dos camiones aljibes al día durante toda la semana lo cual representa un alto costo para las municipalidades o la institución pública que este invirtiendo en apoyo para los sistemas de APR, sin embargo, en algunas situaciones críticas, son los mismos comités quienes deben costear la llegada de camiones aljibes a sus Sistemas.

Respecto a estos puntos, es importante recalcar el punto que tiene relación con los problemas de infraestructura de estos sistemas que, debido a la falta de mantenimiento y cambios, con el paso del tiempo han traído consecuencias en el ámbito de las pérdidas de agua potable. Por ejemplo, en muchos de estos sistemas, la matriz que conduce el agua lleva décadas siendo la misma, por lo que el material (que en general es PVC) está llegando al fin de su vida útil y ha comenzado a ceder, lo que implica que el material se rompa e incluso que se llegue a fatigar fácilmente y ocurran las roturas de matrices. Debido a problemas como el descrito y otros que se comentaron a través de este informe es que los APRs de la Provincia del Litoral presentan en promedio un 27,24% de pérdidas de agua potable en sus servicios, una cifra que es preocupante debido a la escasez de agua que está presentando la región entera. Esto es otra evidencia de lo necesario que son soluciones de ingeniería para estos sistemas, en donde se diseñe y construya infraestructura que perdure en el tiempo y con las especificaciones necesarias para su mantención, reparación y renovación.

Plantear soluciones desde la ingeniería para estos sistemas significaría un impacto positivo en la vida de las personas que habitan en sectores rurales con problemas de abastecimiento de agua potable, ya que muchas de estas personas se mantienen mediante la llegada de camiones aljibes, lo cual sólo debería utilizarse para casos de emergencia, sin embargo, esto es una práctica que se ha mantenido durante un largo periodo de tiempo. Y si bien, las personas se han acostumbrado a este tipo de abastecimiento, no es la manera en que deberían vivir. Todos deberían tener acceso al agua de manera continua, en cantidad y calidad porque es un recurso esencial para vivir, y vivir en condiciones dignas.

Como se ha indicado el trabajo se sitúa en los territorios de la provincia de Limarí, compuesta por cinco comunas, de norte a sur: Río Hurtado, Ovalle, Monte Patria, Punitaqui y Combarbalá.

Como parte del presente trabajo se hicieron visitas y recorridos en terreno, destacando lo siguiente:

- Como base para el conocimiento de los sistemas de agua potable rural, se tiene la práctica profesional realizada en febrero de 2022 en el APR Cerrillos de Tamaya, de la comuna de Ovalle, y el recorrido por diversos APRs de la provincia en el contexto del programa de colaboración con la Asociación Gremial de APRs de la provincia de Limarí, que mantiene el profesor Adolfo Ochoa Llangato.
- Respecto de las posibles ubicaciones de embalses, también se tienen viajes realizados a la zona, en el contexto del programa ya señalado, ocasiones en que se ubicaron sitios posibles para embalses y presas.

En base a estos viajes, es que se logró un conocimiento considerable sobre sistemas de APRs de la zona y también conocimiento sobre los terrenos y las principales características que presentan en la IV Región.

En cuanto al cumplimiento de los objetivos, se puede indicar que, en cuanto a los embalses, en este trabajo se ha definido como embalse sustentable aquel que:

- Tiene un tamaño medio a bajo, ajustado sólo a la necesidad de almacenar agua para consumo humano, lo cual implica presas de tamaño entre 15 a 25 [m]de alto, cuyo diseño haya sido consensuado con la comunidad. Su desarrollo debe incluir la opinión de los vecinos, quienes por lo demás, son los encargados de gestionar los terrenos a ser usados, con los vecinos propietarios.
- Tiene áreas de inundación no tan extensas como los embalses existentes, disminuyendo el impacto ambiental de estos reservorios, cuyas obras pasarán a ser administradas por las comunidades rurales, tal como lo son actualmente sus sistemas de agua potable rural, sus pozos e instalaciones.
- Durante la construcción mantiene plenamente informadas a las comunidades sobre sus avances y riesgos asociados, y que tiene un sistema de control y seguimiento público sobre los impactos ambientales y cómo éstos se mitigan.
- Incorpora a las personas locales en su construcción, contratando mano de obra local en un alto porcentaje, capacitándola para tal fin.
- Podrían ser usados también como áreas recreativas, balnearios, zonas de camping, de pesca y otras actividades de beneficio de las comunidades rurales aledañas.
- Aquel cuyas obras contribuirían a la recarga de acuíferos.

Para la definición del tipo de presa a emplear, se realizó una investigación bibliográfica y de experiencia en Chile, determinándose como mejor alternativa el uso de Hormigón Compactado con Rodillo (HCR), por lo siguiente:

- No requieren de investigación previa de yacimientos o zonas de empréstito de materiales, como sí lo requiere una presa de tierra.
- Los hormigones pueden ser premezclados, en plantas existentes y cercanas a los emplazamientos elegidos.
- El muro, al ser de hormigón, es impermeable.
- El plazo de construcción y por tanto el costo, pueden ser más convenientes.
- La obra puede ser rebasada en crecidas, sin sufrir daños.

Teniendo todo lo anterior como base se procedió a buscar sitios propicios para la construcción de presas de HCR y la formación de embalses para almacenar agua para consumo humano. Este trabajo se hizo usando la aplicación Google Earth la que fue complementada con las visitas a terreno ya comentadas.

In situ se pudo apreciar las conformaciones geológicas y características geotécnicas de diversos sitios, distinguiendo sitios más impermeables que otros, angosturas para ubicar una presa, entre otras características relevantes. Los recorridos se hicieron por carretera, pudiendo constatar que en la provincia de Limarí existe una extensa red de caminos, en general buenos caminos, mayoritariamente pavimentados, lo cual facilita la instalación de este tipo de obras.

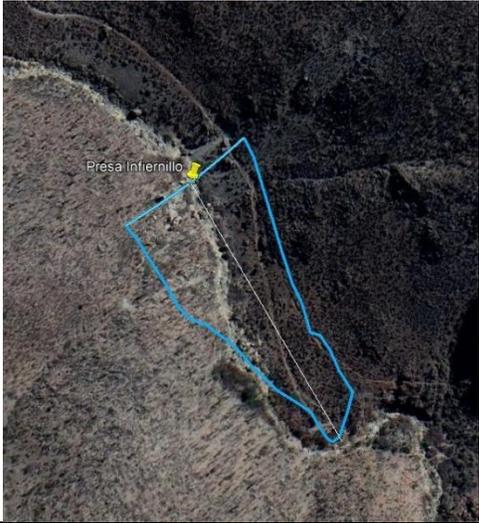
De esta forma se definieron los siguientes lugares para instalar embalses sustentables:

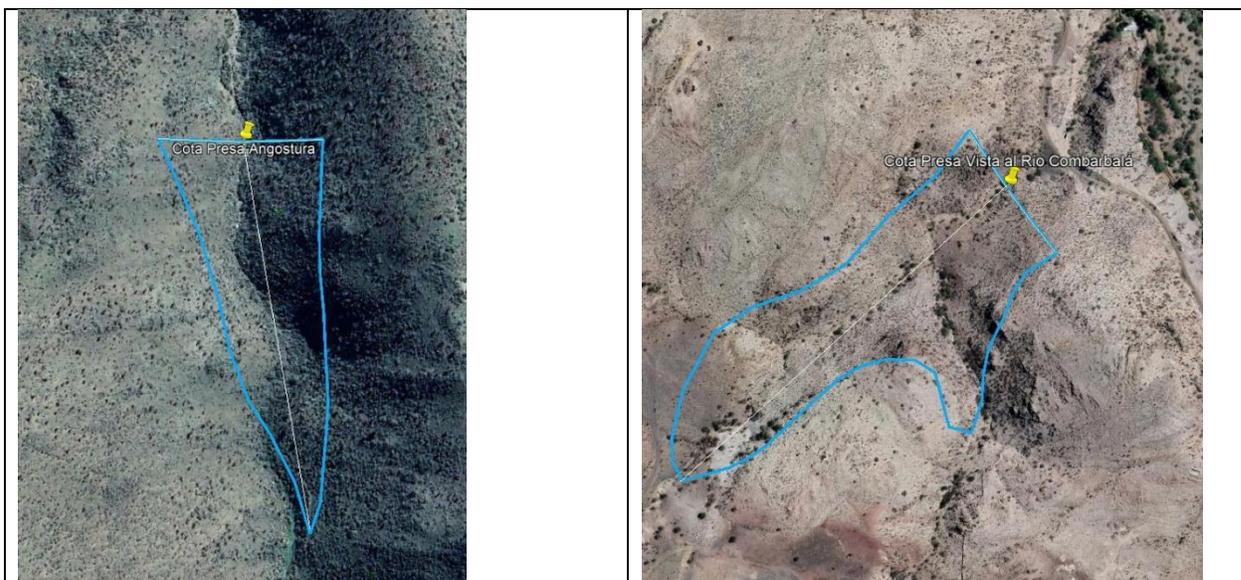
*Tabla 97: Resumen de la ubicación de los embalses sustentables.*

N°	Nombre del Embalse	Coordenadas de ubicación de la Presa	Comuna
1	Infiernillo	288.634 E; 6.593.396 S	Ovalle
2	Lagunillas	290.260 E; 6.620.141 S	Ovalle
3	Soruco	301.482 E; 6.557.386 S	Combarbalá
4	Majada Blanca	290.140 E; 6.583.900 S	Punitaqui
5	Angostura	247.585 E; 6.596.715 S	Ovalle
6	Vista al río Combarbalá	307.354 E; 6.550.939 S	Combarbalá

A continuación, se muestran los trazados de estos embalses, mediante imágenes de Google Earth Pro.

Tabla 98: Trazado de los embalses en Google Earth Pro.

Embalse Infiernillo	Embalse Lagunillas
	
Embalse Soruco	Embalse Majada Blanca
	
Embalse Angostura	Embalse Vista al Río Combarbalá



Las características de estos embalses son:

Tabla 99: Características de los Embalses Sustentables.

N°	Nombre	Altura presa HCR [m]	Volumen presa HCR [m <sup>3</sup> ]	Capacidad embalse [m <sup>3</sup> ]
1	Infiernillo	25	32.812 <sup>24</sup>	544.044
2	Lagunillas	20	36.114	592.780
3	Soruco	15	10.875	2.406.604
4	Majada Blanca	20	22.516	850.956
5	Angostura	15	12.659	514.072
6	Vista al rio Combarbalá	17	24.611	873.943

Y la utilidad de estos embalses es la siguiente, considerando los siguientes supuestos:

- Una dotación de 170 [lt/persona/día].
- Un promedio de 250 arranques por sistema de Agua Potable Rural (APR). Cabe destacar que el promedio de arranques en los sistemas de APR de la Provincia del Limarí son 207,3 arranques, sin embargo, para fines de este análisis se considera un valor mayor.
- Una cantidad de 3,1 personas por arranque según la bibliografía utilizada en este trabajo.
- Se ha considerado que el volumen del embalse es útil para un año, equivalente a 365 días.

<sup>24</sup> Como se explica en el informe, para este caso las estimaciones de cubicación fueron muy dispersas. Aquí se incluye el valor obtenido mediante el método N°1 expuesto en el informe con información extraída de Google Earth Pro.

Tabla 100: Utilidad de los embalses sustentables.

N°	Nombre embalse	Volumen diario disponible [lt]	Número de arranques	Cantidad personas beneficiadas	Cantidad de APRs beneficiados
1	Infiernillo	1.084.512	2.058	6.380	8,2
2	Lagunillas	1.181.662	2.242	6.951	9,0
3	Soruco	4.797.383	9.103	28.220	36,4
4	Majada Blanca	1.696.317	3.219	9.978	12,9
5	Angostura	1.024.764	1.945	6.028	7,8
6	Vista al río Combarbalá	1.742.139	3.306	10.248	13,2
<b>TOTAL</b>		<b>11.526.777</b>	<b>21.873</b>	<b>67.805</b>	<b>87</b>

De otra manera se ha considerado la vinculación de los embalses con sistemas de agua potable rural cercanos o aledaños, obteniendo la siguiente distribución:

Tabla 101: Vinculación de APRs a los embalses sustentables.

N°	Nombre embalse	APRs vinculados
1	Infiernillo	Nueva Aurora Nuevo Futuro Los Hinojos Las Ramadas
2	Lagunillas	Lagunillas La Ribera del Olivo Recoleta Samo Bajo
3	Soruco	El Sauce El Soruco Quilitapia
4	Majada Blanca	La Higuera de Punitaqui Medialuna Manquehua
5	Angostura	Barraza Barraza Alto – Socos Agua de la Vida Caleta El Toro
6	Vista al río Combarbalá	La Cantera Puente La Higuera La Capilla Pueblo Hundido Ramadilla
<b>TOTAL</b>		<b>23 APRs beneficiados</b>

En base a los resultados, es importante señalar que esto es un diseño a nivel de ingeniería conceptual, los resultados pueden resultar imprecisos y para considerar un estudio de ingeniería

básica se debe tener acceso a información sobre levantamientos topográficos. En este trabajo en particular, todo se realizó mediante sistemas de información geográfica gratuitos y softwares disponibles para estudiantes. Por esta última razón es que en las cubicaciones se utilizan distintos métodos con el fin de hacer comparaciones y encontrar un resultado adecuado. En particular, en el cálculo de volúmenes no se consideró ningún rango de error, pero si se debe tener presente.

Por otro lado, si bien en los objetivos y alcances de este trabajo no se consideraba el ámbito económico es preciso mencionarlo debido a la importancia que tiene en cuanto a las decisiones que se toman en los proyectos de este estilo, ya que siempre se evalúan costos y es posible que un proyecto no sea factible en este ámbito, sin embargo, este trabajo se enmarca netamente en la teoría por lo que no se consideraron las restricciones económicas de un proyecto. Ahora bien, es posible mencionar que si se compara la construcción de un embalse sustentable propuesto en este trabajo como, por ejemplo, el embalse Soruco<sup>25</sup> con un proyecto de HCR desarrollado en Chile como lo es Ralco, en donde podemos observar las siguientes diferencias:

Tabla 102: Información para comparar el embalse Soruco con el proyecto hidroeléctrico Ralco.

Presa	Altura [m]	Volumen HCR [m <sup>3</sup> ]	Capacidad de embalse [m <sup>3</sup> ]	Costo [USD]
Soruco	15	10.875	2.406.604	-
Ralco <sup>26</sup>	155	1.510.000	1.222 millones	570 millones <sup>27</sup>

Lo primero que se puede desprender es que Soruco al ser una presa de tamaño considerablemente menor debería ser más económica de construir en comparación a la presa Ralco que es 10 veces más grande y embalsará cerca de 500 veces lo que es capaz de almacenar la presa Soruco.

También se puede realizar una comparación con proyectos relativamente recientes de la Provincia en cuestión como lo son los embalses Murallas Viejas y La Tranca.

Tabla 103: Información para comparar el embalse Soruco con embalses Murallas Viejas y La Tranca.

Presa	Material	Altura [m]	Volumen hormigón [m <sup>3</sup> ]	Capacidad de embalse [m <sup>3</sup> ]	Costo [USD]
Soruco	HCR	15	10.875	2.406.604	-
Murallas Viejas <sup>28</sup>	CFRD	109	No encontrado <sup>29</sup>	50 millones	196 millones
La Tranca	CFRD	115	3 millones	46 millones	154 millones

<sup>25</sup> Se escoge este embalse debido a su gran capacidad de almacenamiento según los cálculos estimados realizados en este trabajo y el poco volumen de HCR que se requiere para la construcción de su presa. En otras palabras, es el embalse que notoriamente cumple con las condiciones técnicas para su construcción y por eso se utiliza para fines comparativos.

<sup>26</sup> Información extraída de la Descripción del Proyecto realizada por Endesa, 1997.

<sup>27</sup> (Aylwin, 2002).

<sup>28</sup> Tanto la información de este embalse y el embalse La Tranca fueron obtenidos de (CPI, 2020); (DOH, 2017) y (BIP Data Explorador de iniciativas de inversión pública en Chile del Ministerio del Desarrollo Social, 2022).

<sup>29</sup> Si bien no se encontró información disponible sobre el volumen de hormigón requerido por la presa del embalse Murallas Viejas, se estima que debe ser del orden de la presa del embalse La Tranca, debido a las semejanzas geométricas que tienen estos proyectos.

Si bien los proyectos Murallas Viejas y La Tranca están siendo construidos con otro tipo de material, la gran diferencia radica en los tamaños de las presas y la capacidad de almacenamiento de los embalses, siendo las presas de estos últimos entre 7 a 8 veces más grande que los propuestos en este trabajo, particularmente comparándolo con la presa Soruco. Dado lo anterior y la información disponible se deduce que esto incide en al menos 3 aspectos:

1. Los costos asociados al embalse Soruco deberían ser menores, en comparación a los otros embalses mencionados en la Tabla 103.
2. El embalse Soruco supone un menor impacto medioambiental y social.
  - a. Un menor impacto medioambiental asociado al menor tamaño de la presa y el embalse.
  - b. Un menor impacto social, también relacionado con su tamaño, pero además asociado a ser un proyecto bien acogido por las comunidades debido a los propósitos que tiene un proyecto de embalse sustentable como lo es Soruco.
3. El uso de HCR en las presas, de técnica conocida y ya desarrollada en Chile en otros proyectos de embalses. Además, debido al tamaño de las presas, se requiere un volumen mucho a menor a Murallas Viejas, La Tranca o cualquier otro proyecto de la zona relacionado a la acumulación de agua para riego.

De todas formas, es posible plantear el análisis de la factibilidad económica de la construcción de embalses sustentables en una continuación de este trabajo. No obstante, se trata de proyectos que involucran el abastecimiento de agua para las personas que más lo necesitan, ya que acceden a este recurso de forma restringida, por lo tanto, proyectos así deberían considerarse como inversiones al largo plazo que mejoran la calidad de vida de las personas, sobre todo de aquellas que viven en las zonas rurales de nuestro país.

Finalmente, es importante indicar que si bien existen otras formas de solucionar la necesidad de agua de los habitantes de las comunidades rurales, como por ejemplo:

- Fines multipropósito para embalses de riego ya existentes en la zona, es decir, que también sirvan de apoyo para el abastecimiento de agua potable a los sistemas de APR de la zona.
- Camiones aljibes (alternativa costosa y que no permite un servicio continuo de agua potable para las comunidades).

Este trabajo se centra en proponer infraestructura sustentable y técnicamente factible para el almacenamiento de agua potable que vaya en beneficio directo a los Sistemas de Agua Potable Rural de la Provincia del Limarí y en consecuencia asegurar un servicio en la cantidad, continuidad y calidad necesarias para todos los habitantes.

## 10. Bibliografía

- Aguas del Valle S.A. (2021). *PROGRAMA DE AGUA POTABLE RURAL*. Región de Coquimbo.
- American Concrete Institute . (Enero de 2013). ACI CT-13 Concrete Terminology. EE.UU.
- American Concrete Institute Committe 116. (16 de Marzo de 2000). ACI 116R-00 Cement and Concrete Terminology. EE.UU.
- American Concrete Institute Committee 207. (Julio de 2011). ACI 207.5R-11 Report on Roller-Compacted Mass Concrete. EE.UU.
- 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*. Santiago de Chile.
- Arnáiz, R. (2021). *Análisis de proyectos hidroeléctricos de embalse en marco de desarrollo sustentable* . Santiago de Chile.
- Atlas Agroclimatico de Chile - Agrimed. (2017). *Atlas Agroclimatico de Chile*. Recuperado el Noviembre de 2022, de <http://www.agrimed.cl/contenido.asp?Id=9&Titulo=Atlas%20Agroclimatico%20de%20Chile>
- Aylwin O., J. (2002). *Enlace Mapuche Internacional*. Obtenido de Medio Ambiente: <https://www.mapuche-nation.org/espanol/html/medioambiente/ma-ntcs-05.htm>
- BIP Data del Ministerio del Desarrollo Social. (2022). *Explorador de iniciativas de inversión pública en Chile*. Obtenido de CONSTRUCCIÓN EMBALSE MURALLAS VIEJAS RÍO COMBARBALÁ: <https://bipdata.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/profile/iniciativa/300656890>
- Cartes, F., Belmar, C., & Contreras, H. (2018). *INFORME FINAL EVALUACIÓN PROGRAMA OBRAS DE RIEGO*. Ministerio de Obras Públicas , Dirección de Obras Hidráulicas, Santiago.
- Comisión Nacional de Riego. (2013). *Manual del Regante*. Santiago, Chile: FUCOA.
- Congreso Nacional de Chile. (27 de Enero de 2018). Decreto con Fuerza de Ley 1122. *Fija texto Código de Aguas*. Chile.
- Conpax. (1 de Diciembre de 2019). *Conpax*. Obtenido de <https://www.conpax.cl/proyectos/embalse-valle-hermoso/>
- Consejo Políticas de Infraestructura . (13 de Octubre de 2020). *Los embalses que se proyectan para amortiguar la sequía en la región*. Obtenido de <https://www.infraestructurapublica.cl/los-embalses-se-proyectan-amortiguar-la-sequia-la-region/>
- Diario El Día. (25 de Noviembre de 2019). *Desaladoras y fortalecer APRs, prioridades para enfrentar la sequía*. Obtenido de Consejo Políticas de Infraestructura: <https://www.infraestructurapublica.cl/desaladoras-fortalecer-aprs-prioridades-enfrentar-la-sequia/>

- Díaz, A. (2022). *Factibilidad técnica de uso de embalses de riego existentes para abastecimiento de agua potable en zonas rurales en la Provincia del Limarí, Región de Coquimbo*. Santiago de Chile.
- Dirección de Obras Hidráulicas. (s.f.). Obtenido de Programa de Agua Potable Rural MOP: <http://www.doh.cl/APR/AcercadeAPR/Paginas/acercaAPR.aspx>
- DOH. (Enero de 2017). *Proyecto Embalse La Tranca, Región de Coquimbo*. Obtenido de Cámara de Diputadas y Diputados: <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=95266&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION>
- ENDESA. (Octubre de 1997). *Central Ralco Descripción del Proyecto*. Obtenido de Oficina Virtual DGA: <https://snia.mop.gob.cl/sad/PROY1636v19.pdf>
- Espinosa, M. (9 de Marzo de 2021). Firma canadiense anuncia acuerdo para operar la mina de cobre y oro Punitaqui. *Diario Financiero*, pág. 1. Obtenido de <https://www.df.cl/empresas/mineria/firma-canadiense-anuncia-acuerdo-para-operar-la-mina-de-cobre-y-oro>
- Gobierno de Chile. (s.f.). *Guías de descripción de Proyectos*. Obtenido de Servicio de Evaluación Ambiental: <https://sea.gob.cl/documentacion/guias-evaluacion-impacto-ambiental/descripcion-proyecto>
- Gobierno de Chile. (s.f.). *Instructivos para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Obtenido de Servicio de Evaluación Ambiental: <https://www.sea.gob.cl/instructivos-para-la-evaluacion-del-impacto-ambiental>
- Gobierno de Chile. (s.f.). *SEA*. Obtenido de Servicio de Evaluación Ambiental: <https://sea.gob.cl/que-es-el-seia>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2019). *Ciudades, Pueblos, Aldeas y Caseríos 2019*.
- Instituto Nacional de Normalización. (2015). *Agua potable - Producción, conducción, almacenamiento y distribución - Requisitos de diseño (INN Norma Chilena N° 691). Tercera edición*, 17. Santiago de Chile.
- Istúriz, D. (28 de Julio de 2019). ¿Cómo se obtiene el agua en Chile? *La Tercera*, pág. 1. Recuperado el Noviembre de 2022, de <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/se-obtiene-agua-chile/758004/>
- Ley N° 19.300 Diario Oficial de la República de Chile. (9 de Marzo de 1994). Chile. Obtenido de <https://bcn.cl/2f707>
- Ley N° 20.417 Diario Oficial de la República de Chile. (26 de Enero de 2010). Chile. Obtenido de <https://bcn.cl/2fade>
- Ley N°20.998 Diario Oficial de la República de Chile. (14 de Febrero de 2017). Chile.

- Martínez, E., Batanero, P., Martínez, I., Martínez, E., & González, E. (2007). *Diseño de Pequeñas Presas, Traducción de la 3ra edición americana*. Madrid, España: Bellisco Ediciones.
- Ministerio de Energía. (2017). *Propuesta de principios y criterios para un documento de referencia de buenas prácticas en hidroelectricidad sustentable en Chile, para la contribución de los compromisos de la Política Energética 2050*. Santiago de Chile.
- Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. (2015). *Infraestructura Hidráulica de Agua Potable Rural (APR)*. Santiago.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2015). *Programa Nacional de Consumo y Producción Sustentables*. Obtenido de [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/20160905\\_PNCPS.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/20160905_PNCPS.pdf)
- OCDE. (2017). *OECD Better Policies for Better Lives*. Obtenido de Acerca de OCDE: <https://www.oecd.org/acerca/>
- ONU. (25 de Septiembre de 2015). *Objetivos del Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Organización de las Naciones Unidas. (28 de Julio de 2010). *The Human Right to Water and Sanitation*. Recuperado el Noviembre de 2022, de Naciones Unidas: [https://www.un.org/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml](https://www.un.org/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml); [https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human\\_right\\_to\\_water\\_and\\_sanitation\\_media\\_brief.pdf](https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief.pdf)
- Ortiz, A. (2019). *Embalse Valle Hermoso, Infraestructura Vital para una Zona en Crisis*. Recuperado el Agosto de 2022, de <https://catalogo.extension.cchc.cl/datafiles/44715-2.pdf>
- Paleo, D. (5 de Abril de 2017). Dos embalses en la región se mantienen sobre su capacidad máxima. *El Día*, pág. 1. Obtenido de <https://www.diarioeldia.cl/economia/2017/4/5/dos-embalses-en-la-region-se-mantienen-sobre-su-capacidad-maxima-39164.html>
- Portal Agro Chile / Grupo Prensa Digital. (14 de Noviembre de 2019). Convocan a regantes de Elqui y Limarí a presentar proyectos de riego a concurso para obras civiles del convenio CNR – GORE Coquimbo. *Portal Agro Chile*, pág. 1. Obtenido de <https://www.portalagrochile.cl/2019/11/14/convocan-a-regantes-de-elqui-y-limari-a-presentar-proyectos-de-riego-a-concurso-para-obras-civiles-del-convenio-cnr-gore-coquimbo/>
- SEA. (2012). *Guía para la Evaluación del Impacto Ambiental de la Fase de Construcción de Proyectos*. Obtenido de [https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2017/12/19/guia\\_fase\\_construccion.pdf](https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2017/12/19/guia_fase_construccion.pdf)
- SEA. (2012). *RCA Proyecto "Embalse Valle Hermoso"*. La Serena.
- SEA. (2013). *Guía para la descripción del uso del territorio en el SEIA*. Obtenido de [https://sea.gob.cl/sites/default/files/migration\\_files/guias/guia\\_uso\\_del\\_territorio.pdf](https://sea.gob.cl/sites/default/files/migration_files/guias/guia_uso_del_territorio.pdf)

- SEA. (2017). *Guía para la descripción del Área de Influencia* . Obtenido de *ÁREA DE INFLUENCIA EN EL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL*: [https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2017/05/03/guia\\_area\\_de\\_influencia\\_ajuste\\_10.pdf](https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2017/05/03/guia_area_de_influencia_ajuste_10.pdf)
- SISS. (7 de Junio de 2019). *Datos.gob el repositorio de datos abiertos centralizado del Estado*. Obtenido de *CUADRO 9 DOTACIÓN DE AGUA POTABLE*: <https://datos.gob.cl/dataset/cuadro-009-dotacion-de-agua-potable>
- Superintendencia de Servicios Sanitarios . (7 de Junio de 2019). *Datos.gob el repositorio de datos abiertos centralizado del Estado*. Recuperado el Noviembre de 2022, de <https://datos.gob.cl/dataset/cuadro-009-dotacion-de-agua-potable>
- Uribe, L. (2003). *Características del diseño y construcción de la presa Ralco en Chile*.
- VOGT. (2022). Obtenido de <https://www.vogt.cl/serie-vcb/>

## Anexo A: Infografía del proceso de Potabilización del Agua

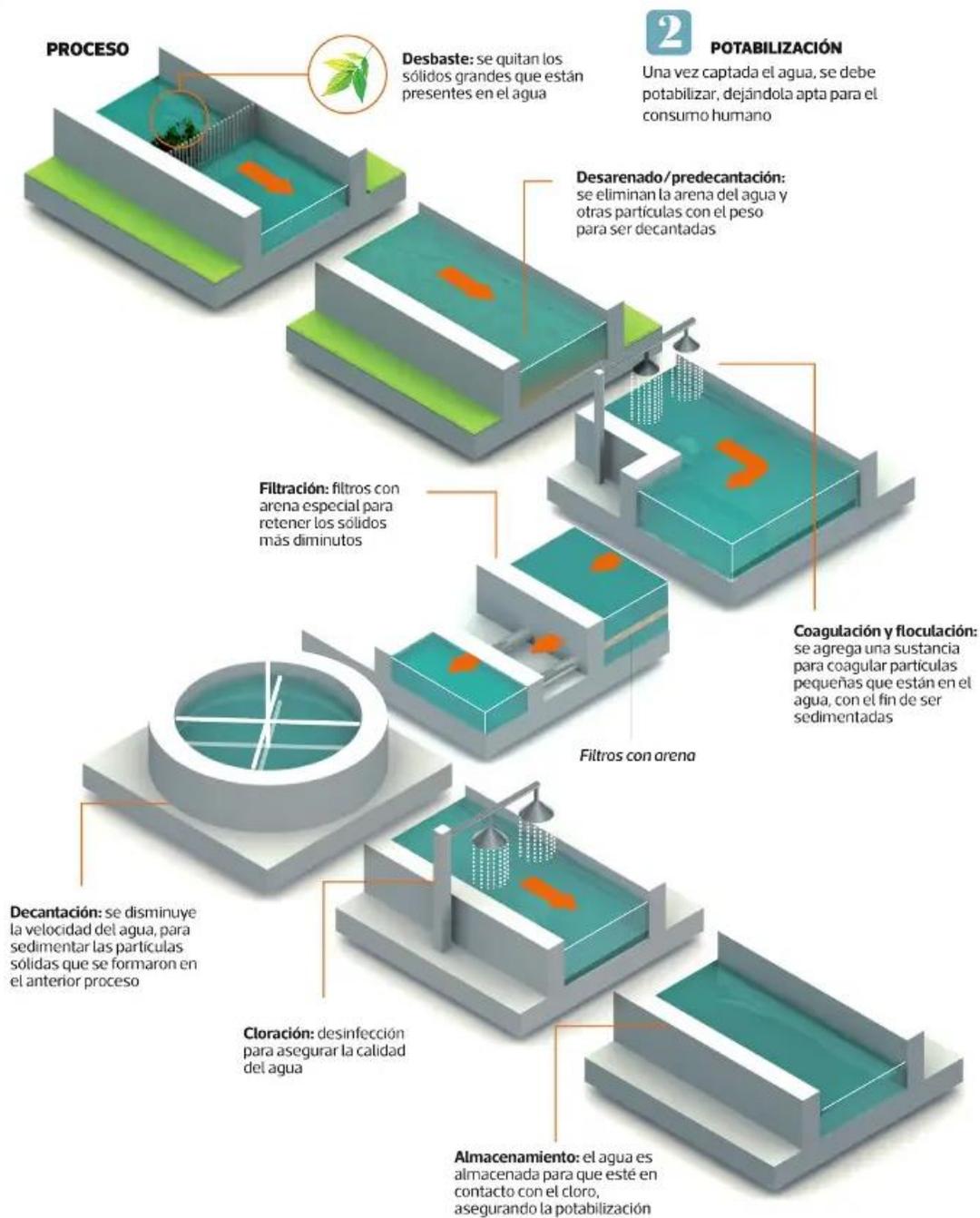


Ilustración 90: Infografía sobre el proceso de potabilización del agua. Fuente: artículo "Así se obtiene el agua en Chile" por Diego Istúriz para diario La Tercera.

## Anexo B: Información de la Dotación Promedio de Agua Potable de empresas concesionarias de Servicios Sanitarios Nacionales

Tabla 104: Dotación Promedio de Agua Potable [lt/hab/día] de empresas concesionarias de servicios sanitarios nacionales entre los años 2011 - 2017. Fuente: SISS, 2019.

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
	<b>Promedio</b>	<b>166,9</b>	<b>172,7</b>	<b>174,9</b>	<b>174,5</b>	<b>172,9</b>	<b>168,0</b>	<b>215,9</b>

## Anexo C: Solicitud de información sobre Sistemas de APRs



Francisca Rosales Cid <fran.rosales.cid@gmail.com>

---

### Solicitud

---

Francisca Rosales Cid <fran.rosales.cid@gmail.com>

27 de mayo de 2022, 16:02

Para: mcastillo@municipitaqui.cl

CC: atapia@municipitaqui.cl

Estimado Sr. Castillo,

Esperando que se encuentre bien, me presento, mi nombre es Francisca Rosales Cid y soy alumna de la Facultad de Ingeniería (FCFM) de la Universidad de Chile, en Santiago. Ante ese contexto, estoy bajo la guía del Profesor Adolfo Ochoa Llangato en mi memoria de titulación que tiene relación con el abastecimiento de agua potable en zonas rurales de la IV Región de Coquimbo.

El motivo de este correo es ver la posibilidad de acceder a información sobre el abastecimiento de agua potable mediante camiones aljibes o si es posible que se derive este correo a quien corresponda.

Entonces, formalmente mi solicitud es información sobre cuáles son los Sistemas de Agua Potable Rural (APR) de su comuna y cuáles de estos actualmente están siendo abastecidos de agua potable por o con camiones aljibes, o cuales han sido abastecidos por ese medio durante el último año.

Además, si es posible complementar esa información con:

- las cantidades o metros cúbicos destinados a cada APR
- frecuencia de viajes
- y periodos de tiempo en el cual se han realizado

De antemano, muchas gracias.

Saludos,

Francisca Rosales Cid

Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.

*Ilustración 91: Correo para solicitar información sobre sistemas de APRs que están recibiendo agua potable mediante camiones aljibes en la comuna de Punitaqui.*

## Anexo D: Solicitud vía Ley de Transparencia

### SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN

Su solicitud ha sido ingresada al **Portal de Transparencia del Estado** para el **organismo Municipalidad de Ovalle** con fecha **27/05/2022** con el N°: **MU192T0001503**. La confirmación de este ingreso ha sido enviada a su correo electrónico **fran.rosales.cid@gmail.com**

La fecha de entrega de la respuesta es el **28/06/2022** (el plazo para recibir una respuesta es de **20 días hábiles**). Le informamos que durante este proceso el organismo **Municipalidad de Ovalle** podría solicitar una prórroga de máximo **10 días hábiles** para dar respuesta a su solicitud.

En caso que su solicitud de información no sea respondida en el plazo de veinte (20) días hábiles, o sea ésta denegada o bien la respuesta sea incompleta o no corresponda a lo solicitado, en aquellos casos que la ley lo permite usted podrá interponer un reclamo por denegación de información ante el Consejo para la Transparencia [www.consejotransparencia.cl](http://www.consejotransparencia.cl) dentro del plazo de 15 días hábiles, contado desde la notificación de la denegación de acceso a la información, o desde que haya expirado el plazo definido para dar respuesta.

Para las solicitudes presentadas a organismos autónomos como por ejemplo Poder Judicial, Contraloría General de la República y el Congreso Nacional el procedimiento de reclamos se describe [en el siguiente enlace](#).

Podrá conocer el estado de su solicitud en este portal ingresando el **Código identificador de tu solicitud: MU192T0001503** y también ingresando con tus datos al portal de ciudadano.



### DATOS INGRESADOS PARA SU SOLICITUD

Solicitud de información	
A quien dirige su solicitud	Municipalidad de Ovalle
Región	Región de Coquimbo
Vía de recepción de solicitud	Correo electrónico
Correo electrónico	fran.rosales.cid@gmail.com
Correo electrónico notificaciones	fran.rosales.cid@gmail.com
Solicitud	<p>Esperando que se encuentre bien el lector de esta solicitud, me presento, mi nombre es Francisca Rosales Cid y soy alumna de la Facultad de Ingeniería (FCFM) de la Universidad de Chile, ubicada en Santiago. Ante ese contexto, estoy bajo la guía del Profesor Adolfo Ochoa Llangato en mi memoria de titulación que tiene relación con el abastecimiento de agua potable en zonas rurales en la IV Región de Coquimbo.</p> <p>Entonces, formalmente mi solicitud es información sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- los sistemas de agua potable rural (apr) de la comuna de ovalle (cómo se llaman, donde se ubican, etc.)</li> <li>- cuáles de estos sistemas de apr existentes en la comuna están siendo abastecidos de agua potable mediante camiones aljibes durante el último año</li> <li>- la cantidad de agua en litros o metros cúbicos que están siendo entregados a estos apr's</li> <li>- la frecuencia con la que se envían estos camiones</li> <li>- los periodos de tiempo en el cual se ha hecho lo anterior</li> </ul> <p>De antemano, muchas gracias.</p>

Ilustración 92: Solicitud de información sobre sistemas de APRs que están recibiendo agua potable mediante camiones aljibes en la comuna de Ovalle mediante Portal de Transparencia del Estado.

## Anexo E: Información sobre Volúmenes de agua producidos, consumidos y pérdidas en Sistemas de APR Villaseca, comuna de Ovalle

POZO 1 2021	Lectura	Lectura	Estanque General	Consumo	Pérdida de Agua	
	Anterior	Actual			m3	%
ENERO	50.235	54.465	4.230	3.440	790	19%
FEBRERO	54.465	59.961	5.496	3.288	2.208	40%
MARZO	59.961	63.923	3.962	3.417	545	14%
ABRIL	63.923	67.577	3.654	2.790	864	24%
MAYO	67.577	70.677	3.100	2.555	545	18%
JUNIO	70.677	74.237	3.560	2.830	730	21%
JULIO	74.237	76.857	2.620	2.477	143	5%
AGOSTO	76.857	79.726	2.869	2.613	256	9%
SEPTIEMBRE	79.726	83.311	3.585	3.253	332	9%
OCTUBRE	83.311	87.027	3.716	2.920	796	21%
NOVIEMBRE	87.027	90.516	3.489	3.329	160	5%
DICIEMBRE	90.516	94.736	4.220	3.764	456	11%
		<b>44.501</b>	<b>44.501</b>	<b>36.676</b>	<b>7.825</b>	<b>18%</b>

Ilustración 93: Volúmenes de agua producidos, consumidos y pérdidas del Sistema de APR Villaseca Pozo N°1, comuna de Ovalle.  
Fuente: elaboración Adolfo Ochoa Llangato.

POZO 2 2021	Lectura	Lectura	Estanque General	Consumo	Pérdida de Agua	
	Anterior	Actual			m3	%
ENERO	108.096	113.521	5.425	4.542	883	16%
FEBRERO	113.521	120.262	6.741	4.303	2.438	36%
MARZO	120.262	126.884	6.622	4.444	2.178	33%
ABRIL	126.884	132.740	5.856	3.814	2.042	35%
MAYO	132.740	137.957	5.217	3.328	1.889	36%
JUNIO	137.957	142.734	4.777	3.665	1.112	23%
JULIO	142.734	147.226	4.492	3.226	1.266	28%
AGOSTO	147.226	151.907	4.681	3.229	1.452	31%
SEPTIEMBRE	151.907	158.141	6.234	4.450	1.784	29%
OCTUBRE	158.141	163.993	5.852	4.246	1.606	27%
NOVIEMBRE	163.993	170.874	6.881	4.849	2.032	30%
DICIEMBRE	170.874	177.479	6.605	4.538	2.067	31%
			<b>69.383</b>	<b>48.634</b>	<b>20.749</b>	<b>30%</b>

Ilustración 94: Volúmenes de agua producidos, consumidos y pérdidas del Sistema de APR Villaseca Pozo N°2, comuna de Ovalle.  
Fuente: elaboración Adolfo Ochoa Llangato.