



Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Medioambiente
Ingeniería Ambiental

**EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA LA REDUCCIÓN EN EL CONSUMO DE
AGUA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO ILLAPEL.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL**

EVELYN BELÉN CORTÉS BARRAZA
PROFESOR GUÍA: MG. HÉCTOR ANDRADE CAROCA

VALPARAÍSO, CHILE

2021

Resumen

La subcuenca del río Illapel es una de las cuatro pertenecientes a la cuenca del río Choapa, al sur de la Región de Coquimbo, ésta se caracteriza por períodos prolongados de déficit hídrico, donde las tres estaciones fluviométricas presentes en el río no muestran un aumento significativo desde hace más de 20 años, debido a la sequía meteorológica que afecta al centro-norte del país, sin embargo, este no es el único factor que ha repercutido en la disponibilidad hídrica, ya que la creciente demanda de acceso al recurso asociado principalmente a las actividades del sector agrícola por ser el mayor consumidor de uso consuntivo, ha ocasionado una creciente escasez en el territorio. Considerando el actual escenario de la subcuenca, el presente trabajo busca determinar la viabilidad ambiental y económica de la implementación de tecnologías aplicables a actividades agrícolas, que permitan recuperar la mayor cantidad de agua desaprovechada producto de la evapotranspiración, infiltración y evaporación.

Al cuantificar el caudal autorizado para la actividad agrícola, se confirmó que representa el mayor consumidor de agua con 4.670 l/s, equivalente al 60% del total de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas en la unidad de estudio. Posteriormente, mediante la aplicación de juicio de experto con presencia local, se seleccionó y priorizó distintas herramientas tecnológicas que pudiesen ser implementadas, con las cuales es posible proyectar una reducción en el consumo de agua cercana al 17% del caudal autorizado en meses estivales. De igual manera, se estimó que la mayores fracciones de agua recuperada corresponden a la reducción de la evapotranspiración, siendo esta última, la principal fuente de pérdidas de agua hacia el medio. Para alcanzar esta reducción, se estimó una inversión superior a las 400 mil UF en un plazo de 20 años.

No obstante, la estrategia empleada no permitiría satisfacer los Derechos de Aprovechamiento de aguas que están comprometidos, requiriéndose complementarla con la importación de agua desde otros sistemas hídricos.

Agradecimientos

El presente trabajo representa el enorme esfuerzo que durante años significó llevar adelante la carrera.

En primer lugar, agradecer a quienes me han apoyado desde pequeña, a mi Madre María Teresa, quien partió de este mundo a la mitad de este proceso universitario, sé que me acompaña día a día y que donde se encuentre en este momento está orgullosa de mí. A mi Padre Jaime Cortés, quien sin duda me ha brindado las palabras necesarias para continuar cuando todo se venía abajo, por creer en mis capacidades y por incentivarme a seguir adelante. A mi hermano Carlos Ariel y mi cuñada Melissa, por todo su apoyo desde que comencé con la carrera, también agradecer a mis sobrinitos, por su enorme alegría que irradian todos los días y por ser una luz en mi camino.

Agradecer también a Bastián, por su comprensión, amor y compañía este último año. Gracias por brindarme tu apoyo incondicional y siempre incentivarme a confiar en mí.

A mi grupo de estudio, al Sebastián, Carlos y Joaquín, con quienes encontré un apoyo dentro de la carrera, sufrimos, reímos y nos complementábamos para llevar adelante los trabajos, muchas gracias, chicos.

Por último, agradecer a mis profesores por todo el conocimiento entregado, que de aquí en adelante serán parte del día a día laboral. Finalmente, a mi profesor guía Héctor Andrade, por su apoyo, paciencia y dedicación en todo momento, por ayudarme a creer en mí y en este trabajo, mis respetos y admiración para él.

Índice

1. Introducción.....	1
1.1. El agua como un bien.....	1
1.1.1. A través de la historia	1
1.1.2. Servicio Ecológico	2
1.1.3. Servicios Económicos.....	3
1.1.4. La agricultura, el mayor consumidor de agua.....	6
1.1.5. Valor futuro	9
1.1.6. Indicador de escasez hídrica.	10
1.1.7. Capital tecnológico y disponibilidad hídrica.	12
1.2. Unidad de estudio.....	13
1.2.1. Caracterización de la subcuenca del Río Illapel.	13
1.2.2. Comuna de Illapel.....	16
1.2.3. Cantidad de aguas en la subcuenca del río Illapel.....	18
1.2.4. La agricultura y su uso de agua de la subcuenca	21
1.3. Herramientas tendientes a lograr un mejor rendimiento del agua.....	23
1.3.1. Herramientas empleadas en procesos productivos.....	24
1.3.2. Herramientas empleadas para lograr una mejor eficiencia de riego.....	26
1.3.1. Singapur como ejemplo de rendimiento eficiente del agua.....	29
2. Problema.....	31
3. Objetivos.....	32
3.1. General	32

3.2. Específicos.....	32
4. Metodología.....	33
4.1. Cuantificar el caudal destinado a la actividad agrícola en la subcuenca del río Illapel.....	33
4.1.2. Clasificación de usuarios y determinación de grupos significativos.	33
4.2. Seleccionar aquellas tecnologías que pueden ser aplicadas por los usuarios de agua en la subcuenca en estudio.	34
4.2.1. Revisión bibliográfica de tecnologías orientadas a la eficiencia en el uso de agua del sector agrícola.....	34
4.2.2. Presentación de las tecnologías.	35
4.2.3. Resumen de tecnologías	37
4.2.4. Selección de tecnologías.....	37
4.3. Determinar el agua recuperada por la implementación de las tecnologías.....	38
4.3.2. Estimación de pérdidas por evapotranspiración en cultivos.....	40
4.3.3. Implementación de las tecnologías.....	42
4.3.4. Balance de las pérdidas y agua recuperada a lo largo del proyecto.	43
4.4. Evaluar ambiental y económicamente la implementación de las tecnologías en la unidad de estudio.	43
4.4.2. Estimación de costos económicos.....	45
5. Resultados.....	47
5.1. Cuantificar el caudal destinado a la actividad agrícola en la subcuenca del río Illapel.....	47
5.1.1. Determinar la demanda del uso del agua, para los distintos sectores económicos de la subcuenca.	47

5.2. Seleccionar aquellas tecnologías que pueden ser aplicadas por los usuarios de agua en la subcuenca en estudio.	53
5.2.1.1. Revisión Bibliográfica	53
5.2.2. Presentación de fichas técnicas	55
Esferas de polietileno de alta densidad (HDPE).....	55
Retenedores de agua biodegradable	57
Microirrigación subterránea	59
Fertirrigación subterránea por microirrigación	63
Mulch plástico.....	65
Mulch orgánicos.....	67
Sensores de humedad para riegos programados	69
5.2.3. Tabla resumen de tecnologías.....	73
5.2.4. Selección de tecnologías	74
5.3. Determinar el agua recuperada por implementación de tecnologías.	76
5.3.1. Estimación de pérdidas por infiltración y evaporación en tranques acumuladores.....	76
5.3.2. Estimación de pérdidas por evapotranspiración en cultivos.	85
5.3.3. Implementación de las tecnologías	88
5.3.4. Balance de las pérdidas y el agua recuperada a lo largo del proyecto.	95
5.4. Evaluar ambiental y económicamente la implementación de las tecnologías en la unidad de estudio.	98
5.4.1. Cálculo de índice de escasez hídrica.....	98
5.4.2. Estimación de costos económicos.....	101
6. Discusión.....	110
7. Conclusiones	122

8. Referencias	123
9. Anexos	xv

Índice de tablas

Tabla 1.1: Demanda consuntiva de agua para los años 2015, 2030 y 2040..	5
Tabla 1.2: Categorías para el índice de escasez hídrica..	12
Tabla 1.3: Porcentaje de participación en los subrubros presentes en la comuna de Illapel.	17
Tabla 1.4: Número de las principales empresas según subrubro para el año 2018, en la comuna de Illapel.....	18
Tabla 1.5: Número y superficie de explotaciones silvoagropecuarias a nivel nacional, regional y comunal.....	21
Tabla 4.1: Clasificación de los rubros económicos existentes en la subcuenca del río Illapel.	33
Tabla 4.2: Factores considerados para la selección de tecnologías.	34
Tabla 4.3: Resumen de las tecnologías según su aplicación	37
Tabla 4.4: Puntuación de las encuestas	37
Tabla 5.1: Número de usuarios, caudal autorizado, tipo de derecho, naturaleza del agua, clasificación de la fuente y ejercicio del derecho, de los rubros existentes en la subcuenca del río Illapel.	47
Tabla 5.2: Caudal autorizado, tipo de derecho, naturaleza del agua, clasificación de la fuente y ejercicio del derecho, del canal matriz Nueva Cocinera.	49
Tabla 5.3: Caudales totales de los distintos sectores económicos.....	50
Tabla 5.4: Caudales totales de los distintos rubros, asumiendo la fracción “sin definir” como parte del sector agrícola.....	51
Tabla 5.5: Tecnologías factibles de implementar.	53
Tabla 5.6: Resumen de tecnologías que pueden ser aplicadas en tranques acumuladores.	73
Tabla 5.7: Resumen de tecnologías que pueden ser aplicadas en cultivos.	73
Tabla 5.8: Dimensiones de tranque acumulador modelo.....	76
Tabla 5.9: Valores referenciales de velocidad de infiltración básica según textura del suelo	78

Tabla 5.10: Pérdidas por infiltración diaria del tranque modelo.	78
Tabla 5.11: Promedio de datos meteorológicos diarios para las estaciones del año.	79
Tabla 5.12: Pérdida por evaporación diaria del tranque modelo.	80
Tabla 5.13: Número de tranque acumuladores según subsubcuenca en la cual se emplazan.	83
Tabla 5.14: Pérdidas totales por evaporación e infiltración en los tranques presentes en la unidad de estudio.	83
Tabla 5.15: Promedio de datos meteorológicos diarios para las estaciones del año.	86
Tabla 5.16: Pérdidas por evapotranspiración diaria en el área de cultivo modelo.....	87
Tabla 5.17: Pérdidas totales por evapotranspiración en cultivos presentes en la unidad de estudio.....	87
Tabla 5.18: porcentaje de pérdidas por evaporación, infiltración y evapotranspiración, respeto al caudal autorizado para riego, excluyendo la fracción “sin definir”.....	89
Tabla 5.19: porcentaje de pérdidas por evaporación, infiltración y evapotranspiración, respeto al caudal autorizado para riego, incluyendo la fracción “sin definir”.....	89
Tabla 5.20: Porcentaje de agua recuperada, posterior a la implementación de las esferas de HDPE.....	90
Tabla 5.21: Porcentaje mínimo de agua recuperada, posterior a la implementación del recubrimiento por geomembrana.....	90
Tabla 5.22: Porcentaje de agua recuperada, posterior a la implementación de fertirrigación subterránea por microirrigación.....	91
Tabla 5.23: Agua recuperada según estación del año.	92
Tabla 5.24: porcentajes de agua recuperada respecto a los caudales autorizados en los 2 escenarios establecidos.	92
Tabla 5.25: Resumen del caudal disponible en el río, autorizado y de pérdidas.	95
Tabla 5.26: Pérdidas proyectadas y agua recuperada considerando el rendimiento de las tecnologías.....	96
Tabla 5.27: Captación, retorno y consumo por sector productivo en la subcuenca del río Illapel, para el Escenario N°1.....	98

Tabla 5.28: Captación, retorno y consumo por sector productivo en la subcuenca del río Illapel, para el Escenario N°2	99
Tabla 5.29: Índice de escasez una vez sean implementadas las tecnologías para el Escenario N°1.....	100
Tabla 5.30: Índice de escasez una vez sean implementadas las tecnologías para el Escenario N°2.....	101
Tabla 5.31: Costo asociado a la compra de agua para alcanzar los caudales de agua actualmente autorizados.	102
Tabla 5.32: Costos en la implementación de esferas de HDPE en la unidad de estudio...	103
Tabla 5.33: Costos en la implementación de equipos y materiales utilizados en la fertirrigación subterránea por microirrigación en la unidad de estudio.	104
Tabla 5.34: Ahorro monetario proyectado en ahorro anual promedio de agua.	106
Tabla 5.35: Flujo de caja para el Escenario N°1.....	107
Tabla 5.36: Flujo de caja para el Escenario N°2.....	108

Índice de figuras

Figura 1.1: El ciclo del agua a escala local, con los trayectos más importantes de movimientos.....	2
Figura 1.2: Demanda global de agua por sector para los años 2014, 2025 y 2040.....	4
Figura 1.3: Distribución de demanda consuntiva por sector, año 2015.....	5
Figura 1.4: Distribución regional de los usos y coberturas de las tierras.	6
Figura 1.5: Localización de estructuras hidráulicas que permiten la administración del agua de riego.....	8
Figura 1.6: Subcuencas de la cuenca del Río Choapa.	14
Figura 1.7: Subsubcuencas del río Illapel.	14
Figura 1.8: Red hídrica principal de la subcuenca del río Illapel.	15
Figura 1.9: Proyección demográfica para el año 2021 en la comuna de Illapel.....	16
Figura 1.10: Tendencia temporal del caudal del río Choapa, periodo 1970-2015.....	19
Figura 1.11: Localización de las tres estaciones fluviométricas presentes en la subcuenca río Illapel.....	20
Figura 1.12: Caudales medios mensuales en las tres estaciones fluviométricas, periodo 2000-2021.....	20
Figura 1.13: Tipos de uso actual en Illapel - Terrenos Agrícolas..	22
Figura 1.14: Sistema de recirculación en acuicultura..	25
Figura 1.15: Distribución geográfica de las plantas desalinizadoras en Chile.....	26
Figura 1.16: Sectores que forman parte de un sistema de riego por goteo.	27
Figura 1.17: Sistemas hidropónicos: a) NFT; b) Flotantes y c) NGS.....	28
Figura 1.18: Cultivo aeropónico.....	28
Figura 4.1: Ubicación de la estación “Vivero CONAF”	39
Figura 5.1: Localización de las extracciones autorizadas por la DGA, subterráneas (color azul), superficiales (color naranja).....	48
Figura 5.2: Canales de riego presentes en la subcuenca y punto de la actual bocatoma canal Nueva Cocinera.	49

Figura 5.3: Porcentajes del caudal destinado a distintos sectores económicos.....	50
Figura 5.4: Porcentajes del caudal destinado a distintos rubros, asumiendo la fracción “sin definir” como parte del sector agrícola.	51
Figura 5.5: Esferas de polietileno flotando sobre tranque acumulador agrícola. Proyecto realizado en Viña Concha y Toro – Casablanca, por empresa Exma.	55
Figura 5.6: Aplicación de retenedor de agua en seco (superior) o hidratado (inferior).....	57
Figura 5.7: Instalación de un sistema de riego por goteo subterráneo.....	59
Figura 5.8: Planta solar flotante desarrollado por la empresa Solarity en la comuna de Putaendo, Chile.....	61
Figura 5.9: Sistema de riego subterráneo con adaptaciones para su utilización en fertiirrigación.	63
Figura 5.10: Acolchado de polietileno instalado en una plantación de cítricos.	65
Figura 5.11: Acolchado de grama seca (paja), en cultivo de hortalizas.....	67
Figura 5.12: Módulo electrónico de un sensor de humedad instalado en un cultivo de hortalizas.	69
Figura 5.13: Geomembrana instalada en tranque acumulador.	71
Figura 5.14: Resultado para herramientas tecnológicas que pueden ser aplicadas en tranques acumuladores de agua.	74
Figura 5.15: Resultado para herramientas tecnológicas que pueden ser aplicadas en cultivos.	74
Figura 5.16: Vista superior de tranque acumulador.....	76
Figura 5.17: Vista lateral de tranque acumulador.....	77
Figura 5.18: Comportamiento de la Velocidad de infiltración según textura.....	78
Figura 5.19: Tranques acumuladores presentes en la subsubcuenca “Río Illapel entre Estero Auco y Río Choapa”.....	80
Figura 5.20: Tranques acumuladores presentes en la subsubcuenca “Estero Auco entre junta Quebrada Chillan y Río Illapel”.....	81
Figura 5.21: Tranques acumuladores presentes en la subsubcuenca “Río Illapel entre Quebrada el Chivato y Estero Auco”.....	81

Figura 5.22: Tranques acumuladores presentes en la subsubcuenca “Río Illapel entre arriba Junta Río Caren y bajo Quebrada El Chivato” .	82
Figura 5.23: Tranques acumuladores presentes en la subsubcuenca “Río Illapel entre arriba Junta Río Tres Quebradas y arriba Junta Río Caren” .	82
Figura 5.24: Pérdidas por evaporación en los traques presentes en la unidad de estudio.	84
Figura 5.25: Pérdidas por infiltración en los tranques presentes en la unidad de estudio.	84
Figura 5.26: Repartición de la evapotranspiración en evaporación y transpiración durante el periodo de crecimiento de un cultivo anual.	85
Figura 5.27: Área de cultivo de 1 hectárea.	86
Figura 5.28: Pérdidas totales por evapotranspiración en cultivos presentes en la unidad de estudio.	88
Figura 5.29: Caudal autorizado, caudal de pérdidas totales y caudal de pérdidas posterior a la implementación de las tecnologías, para el Escenario N°1.	92
Figura 5.30: Caudal autorizado, caudal de pérdidas totales y caudal de pérdidas posterior a la implementación de las tecnologías, para el Escenario N°2.	93
Figura 5.31: Comparación de los resultados obtenidos con respecto al caudal disponible en el río, en el año 2020. Dejando fuera la fracción “sin definir” del caudal total autorizado (Escenario N°1).	94
Figura 5.32: Comparación de los resultados obtenidos con respecto al caudal disponible en el río, en el año 2020.	94
Figura 5.33: Pérdidas proyectadas y agua recuperada considerando el rendimiento de las tecnologías, en comparación con ambos escenarios planteados.	97
Figura 5.34: Componentes del sistema de fertirrigación.	104
Figura 6.1: Tranques impermeabilizados con geomembrana en la subcuenca en estudio.	114
Figura 6.2: Nuevo índice en comparación a los escenarios planteados y la cuenca del Choapa.	118
Figura 6.3: Canal matriz Nueva Cocinera.	121

Glosario

Agua Recuperada: Agua que producto de la implementación de las tecnologías, ya no es parte de las pérdidas por evapotranspiración, infiltración o evaporación (Definición propia).

Brecha Hídrica: Es la visualización de zonas con potencial falta de agua al evaluar la oferta referencial de agua y la demanda hídrica productiva (Radiografía del Agua, 2018)

Capacidad máxima de campo: Cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje (FAO, 2021).

Derecho de Aprovechamiento de Aguas: Derecho real que recae sobre las aguas subterránea y superficiales, el cual consiste en el uso y goce de ellas con los requisitos y en conformidad a las reglas que prescribe el Código de Aguas Chileno. (Código de Aguas, DFL N°1122 /1981).

Punto de marchitez: Contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo (FAO, 2021).

Listado de abreviaciones

- CEAZA:** Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas.
- CIREN:** Centro de información de Recursos Naturales.
- CNID:** Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo.
- CNR:** Comisión Nacional de Riego.
- DAA:** Derechos de Aprovechamiento de Aguas.
- DGA:** Dirección General de Aguas.
- DGAC:** Dirección General De Aeronáutica Civil.
- DOH:** Dirección de Obras Hidráulicas.
- FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- IAEA:** Organismo Internacional de Energía Atómica.
- INDAP:** Instituto de Desarrollo Agropecuario.
- INE:** Instituto Nacional de Estadística
- INTAGRI:** Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura.
- IVA:** Impuesto al Valor Agregado.
- JVRCH:** Junta de Vigilancia del Río Choapa y sus Afluentes.
- MOP:** Ministerio de Obras Públicas.
- ODEPA:** Oficina de Estudios y Políticas Agrarias.
- OMM:** Organización Meteorológica Mundial.
- PROSAP:** Programa de Servicios Agrícolas.
- SII:** Servicio de Impuestos Internos.
- SISS:** Super Intendencia de Servicios Sanitarios.
- UNESCO:** Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- USACH:** Universidad de Santiago de Chile.

1. Introducción

1.1. El agua como un bien

1.1.1. A través de la historia

El agua es el elemento más importante para el desarrollo de la humanidad y su escurrimiento superficial ha sido aprovechado por el hombre como primera fuente de abastecimiento, tanto para su consumo, como también para la producción de alimentos. Es así como los valles cercanos a los ríos ha sido el lugar elegido para establecer las primeras civilizaciones (Ballén *et al.*, 2006), como la antigua civilización egipcia que dependió del río Nilo y su valle para poder desarrollarse, llegando a construir presas y canales de aguas para abastecer sus cultivos (Olivero, 1961), mientras que la civilización mesopotámica ubicada entre los ríos Tigris y Éufrates, fue la primera en domesticar los cultivos por medio de canalizaciones y acueductos permitiendo de esta manera la expansión de la agricultura (Ávila *et al.*, 2020). El crecimiento de las principales metrópolis en el mundo dependió en gran medida de su ubicación, ya que todas se concentraban principalmente a lo largo de las costas y vías navegables de los continentes, siendo así las aguas el principal medio de transporte que permitió el desarrollo económico, social y cultural de estos grandes asentamientos.

Sin embargo, históricamente el empleo de las aguas van más allá de la subsistencia y el transporte, ya que a medida que se desarrollaron nuevas tecnologías de bombeo y traslado de las aguas en largas distancias sus usos se masificaron en distintos ámbitos, como por ejemplo, un medio de recreación, siendo imprescindible en la cotidianidad de los emperadores romanos, quienes practicaban los baños termales como medio recreativo, terapéutico y medicinal, llegando a atribuirles cualidades sagradas, creencia que posteriormente se expandiría por todo Europa (Días, 1985).

1.1.2. Servicio Ecológico

El agua es el elemento esencial de la vida por ser un factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos que hacen posible el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta, contribuye a la estabilidad del funcionamiento del entorno y de los organismos que la habitan, además constituye alrededor del 80% del cuerpo de la mayoría de los organismos, participando en los procesos metabólicos y en la fotosíntesis (Paredes, 2013). Cubre alrededor de un 75% de la superficie de la tierra y se la encuentra en océanos, lagos, ríos; en el aire y en el suelo, contribuye en la regulación del clima y con su fuerza formidable modela la Tierra. Posee propiedades químicas únicas que la convierten en un excelente solvente, asimismo tiene una gran capacidad calorífica y se expande cuando es sometida a bajas temperaturas (Fernández, 2012).

Los usos ecológicos del agua tienen relación con las interacciones que mantiene con el entorno, en este sentido se puede mencionar, el mantenimiento de los ríos, plantas y todos los elementos que forman los ecosistemas. En la Figura 1.1 se observan las interacciones esenciales entre el ciclo hidrológico y el ambiente, la lluvia por un lado proviene de la evaporación del agua de mar, y es un factor clave tanto en la producción vegetal como la escorrentía superficial que alimenta a los ríos y lagos, mientras que la vegetación cumple un rol fundamental al regular la humedad por medio de la evapotranspiración e infiltración del agua, sumado a la recarga de los acuíferos.

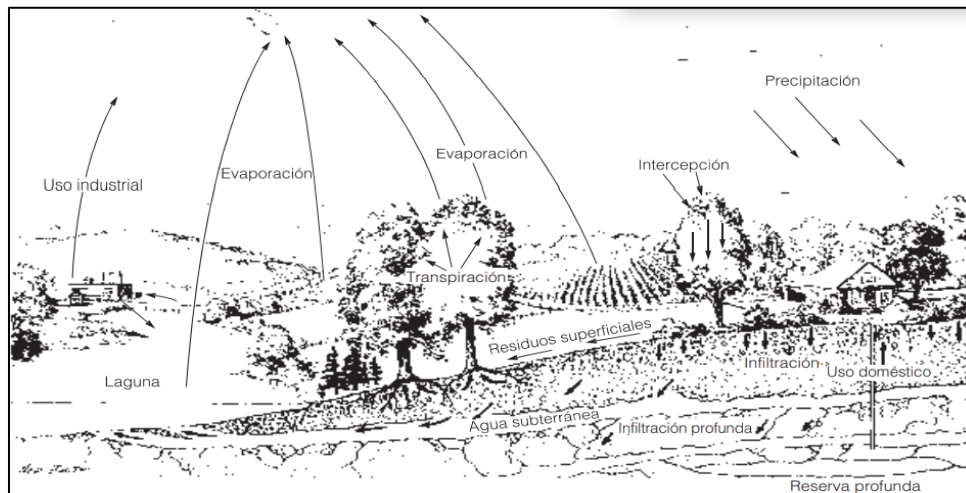


Figura 1.1: El ciclo del agua a escala local, con los trayectos más importantes de movimientos. Fuente: Smith, 2007.

1.1.3. Servicios Económicos

El agua es un recurso complejo y difícil de gestionar, sus fuentes naturales se encuentran generalmente lejos del alcance de la población y es preciso trasladarla, tratarla y distribuirla por lo general a elevados costos. Su acceso es un derecho básico al ser esencial para la vida y la salud de las personas, por lo que uno de sus principales usos económicos está ligado a los sistemas de saneamiento que prestan servicios de potabilización y distribución. Sin embargo, existe un amplio conjunto de actividades económico-productivas que dependen del agua, como la agricultura, la generación de energía, la minería, industrias urbanas, entre otros (Zegarra, 2014).

1.1.3.1. Demanda global de agua por rubros económicos.

Al ser un factor vital de la producción, la disponibilidad de agua interviene directamente en el crecimiento económico mundial (Banco Mundial, 2019). Sus usos han aumentado en un 1% anual desde la década de 1980, impulsado por una combinación de factores, entre los que se encuentran, el aumento de la población, el desarrollo socioeconómico y el cambio en los modelos de consumo. De esta manera se espera que la demanda del consumo de agua siga aumentando en un ritmo muy similar hasta el año 2050, llegando a un incremento entre un 20 y un 30% por encima del nivel actual, aunque las proyecciones suelen variar un poco, el análisis actual sugiere que gran parte de este crecimiento se atribuirá a los aumentos en la demanda de los sectores industrial y doméstico (Unesco, 2019).

A nivel mundial, el rubro de la agricultura (incluida la irrigación, la ganadería y la acuicultura) es el mayor consumidor de agua, representando el 69% de las extracciones anuales a nivel global, seguido por la industria (incluyendo la generación de energía) con un 19%, y los hogares con un 12%. Si bien es probable que la porción de la agricultura en el uso total de agua disminuya en comparación con otros sectores, seguirá siendo el mayor usuario en las próximas décadas (como se puede observar en la Figura 1.2, donde se encuentran 2 gráficos, uno que presenta la extracción de agua para los años 2014 - 2025 y 2040; y el otro de consumo de agua para estos mismos años). (UNESCO, 2019)

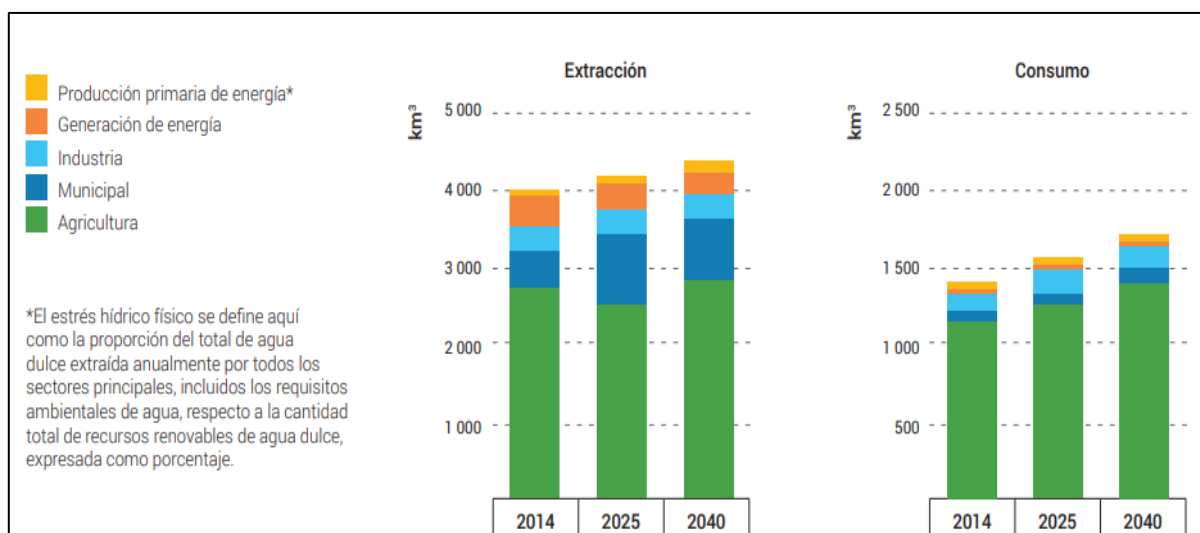


Figura 1.2: Demanda global de agua por sector para los años 2014, 2025 y 2040. Fuente: UNESCO, 2019.

1.1.3.2. Demanda nacional de agua por rubros económicos.

En Chile, el consumo de agua ha aumentado en los últimos años, las extracciones ascienden a 4.900 m³/s, equivalentes a 166 mil millones de m³/año (DGA, 2017a). Según la “Estrategia nacional de recursos hídricos 2012-2025”, el sector agrícola es el principal usuario de agua, con extracciones de alrededor de un 73%, mientras que la minería y los usos industriales comparten un 21%, de acuerdo con esto, el sector conformado por las actividades agrícolas, ganaderas y forestales es el mayor consumidor de aguas de uso consuntivo a nivel nacional, lo que permite el riego de 1,1 millones de hectáreas ubicadas entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos (MOP, 2013).

El Decreto con Fuerza de Ley N°1122 del año 1981, Fija Texto del Código de Aguas a nivel nacional, y en su artículo N°5 se expresa “Las aguas son bienes nacionales de uso público y se otorga a los particulares el derecho de aprovechamiento de ellas, en conformidad a las disposiciones del presente código”, bajo esta premisa, en la actualidad la Dirección General de Aguas (en adelante DGA) dispone de un Catastro Público de Aguas donde se encuentran registrados todos los **Derechos de Aprovechamiento de aguas**¹ (en adelante DAA)

1. **Derecho de Aprovechamiento de Aguas:** Derecho real que recae sobre las aguas subterránea y superficiales, el cual consiste en el uso y goce de ellas con los requisitos y en conformidad a las reglas que prescribe el Código de Aguas Chileno. (Código de Aguas, DFL N°1122 /1981).

presentes en el mercado y los cuales los diferentes usuarios de agua tienen la facultad para utilizar, gozar y disponer para la producción de bienes y servicios en un área específica (Escenarios Hídricos, 2018). El sector con mayor DAA consuntivos permanentes a nivel nacional registrados en el Catastro Público de Aguas es el agrícola, seguido en orden decreciente por los sectores de agua potable y saneamiento, industrial y minero (Escenarios Hídricos, 2018), tal como se observa en la Figura 1.3.

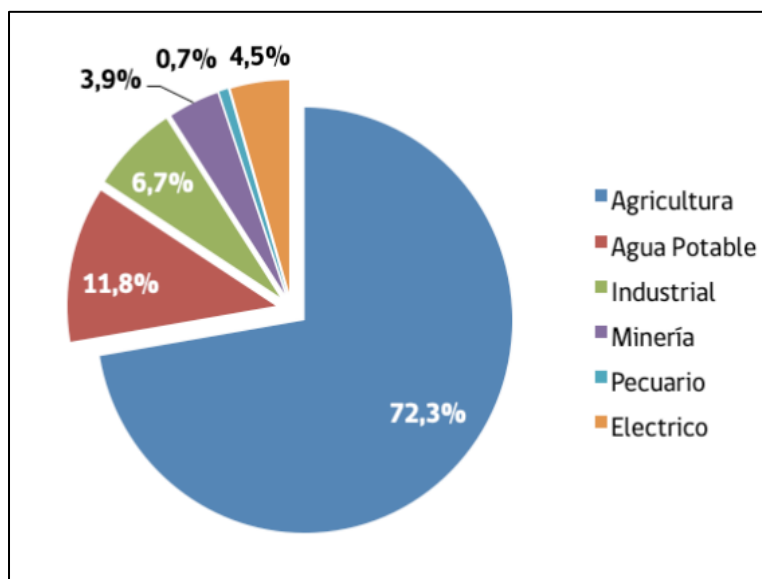


Figura 1.3: Distribución de demanda consuntiva por sector, año 2015. Fuente: DGA, 2017b.

Hacia el futuro se proyecta que la demanda de agua siga creciendo, en este sentido, los estudios realizados por de la DGA proyectan un aumento de 4,5% en la demanda consuntiva al 2030, y de 9,7% al 2040 (MOP, 2020a), como se observa en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1: Demanda consuntiva de agua para los años 2015, 2030 y 2040. Fuente: DGA, 2017b.

Demanda consuntiva de agua	2015	2030	2040
(Millones de m ³ /año)	10.909	11.404	11.969

El sostenido crecimiento económico y desarrollo social que ha experimentado Chile durante las últimas décadas ha generado una presión cada vez mayor sobre los recursos hídricos, estimando que la demanda total de agua crecerá entre 35 % y 60 %, e incluso podría duplicarse para el año 2050 (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015).

1.1.4. La agricultura, el mayor consumidor de agua.

La agricultura mundial ha sido capaz de responder a la demanda creciente de productos asociado al aumento de la población, existiendo una notable mejora en los niveles de nutrición y disminuyendo los niveles de pobreza. Los precios de los principales alimentos del mundo también disminuyeron en un orden del 60%, esto indica que, a escala mundial, los suministros no solo crecen a ritmo de la demanda, sino que también en ciertas zonas geográficas incluso con mayor rapidez (FAO, 2015).

La superficie mundial del planeta es de 13.200 millones de hectáreas, de esta, un 12% (1.600 millones de ha) se dedica actualmente al cultivo agrícola, un 28 % (3.700 millones de ha) a los usos forestales y un 35 % (4.600 millones de ha) corresponde a pastizales y ecosistemas de bosque. Asia Meridional es la región que cuenta con la mayor superficie de tierra de cultivo (Figura 1.4), seguido por Europa occidental y central, y posteriormente América Central y el Caribe (FAO, 2012).

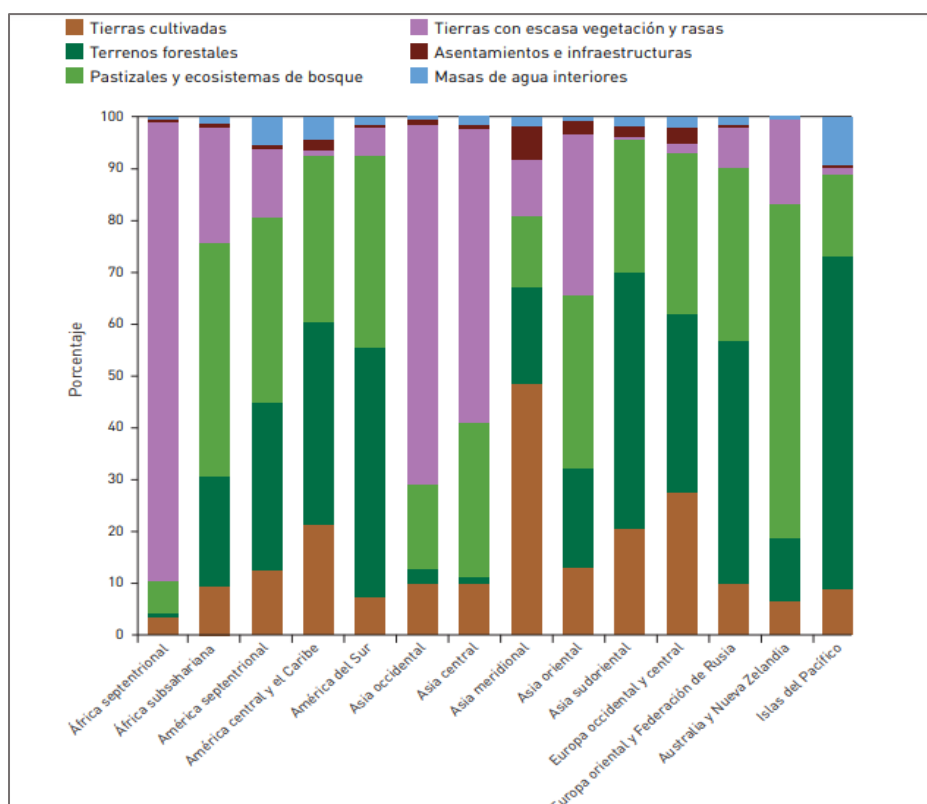


Figura 1.4: Distribución regional de los usos y coberturas de las tierras. Fuente: FAO, 2012.

Son más de 330 millones de hectáreas a nivel mundial las que cuentan con instalaciones de riego, siendo la agricultura de regadío un 20 % del total de la superficie cultivada y aportando alrededor del 40 % de la producción total de alimentos en todo el mundo (Banco mundial, 2021). Se prevé que para mediados de siglo las necesidades mundiales de agua para la agricultura habrán aumentado en un 50 %, situación preocupante debido a que, en muchas partes del mundo, la escasez de agua y su mala calidad constituyen un grave problema para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad medioambiental futura (IAEA, 2021).

La superficie mundial con infraestructura de regadío continúa expandiéndose a un ritmo del 0,6% al año y el uso de aguas subterráneas como fuente primaria o secundaria para el regadío se está incrementando rápidamente, alcanzando casi el 40 %, sin embargo, la mayoría de los sistemas de regadío del mundo están funcionando por debajo de su capacidad y no se ajustan a las necesidades de la agricultura actual, de esta manera, son menos las oportunidades de usar eficazmente el recurso hídrico y obtener así mayores rendimientos económicos (FAO, 2012).

En Chile, según los registros oficiales del VII Censo Nacional Agropecuario de 2007 (INE), la superficie total destinada al sector agrícola y forestal alcanza las 31.635.041 hectáreas, de las cuales el 73,4% serían predios de un tamaño inferior a 20 hectáreas, 19% predios entre 20 y 100 y el 7,6% restante tienen un tamaño superior a 100 hectáreas. Si bien existen algunas dificultades territoriales y climáticas para el desarrollo de las actividades agropecuarias (principalmente en los extremos longitudinales del país), existe una amplia gama de estas que se encuentran en las regiones de La Araucanía, Biobío y Maule, las cuales centran alrededor del 54% del total nacional (ODEPA, 2019), mientras que las infraestructuras de riego también se centran en las regiones centro-sur, como se puede observar en la Figura 1.5.



Figura 1.5: Localización de estructuras hidráulicas que permiten la administración del agua de riego. Fuente: Minagri, 2014

Estas infraestructuras de riego corresponden a obras hidráulicas de captación, conducción, distribución o regulación de las aguas, permitiendo su aprovechamiento en un área de cultivo determinada. Según el Ministerio de Agricultura se clasifican en extrapredial si su finalidad es captar el agua desde la fuente (río-lago) o intrapredial si corresponden a obras que permiten la aplicación en cultivos al interior de un predio. Por lo general, las infraestructuras extraprediales son proyectos de inversión gestionados por la Comisión Nacional de riego (en adelante CNR), quienes manejan y generan la información territorial necesaria para identificar distintas soluciones en las problemáticas de riego.

Las proyecciones indican que las actividades del sector irán en alza en los próximos años y de acuerdo con estas, se prevé un desplazamiento de los cultivos hacia el sur del país producto de la baja disponibilidad de aguas para riego en la zona centro-norte, generando cambios en la producción y previniendo efectos negativos en cuanto a cantidad y calidad de los productos.

1.1.5. Valor futuro

El cambio climático afecta y seguirá afectando directamente en la disponibilidad de los recursos hídricos mundiales, debido a esto, resulta cada vez más difícil poder predecir su cantidad y calidad a nivel global, amenazando de esta manera la producción de energía, la seguridad alimentaria, la salud humana, el desarrollo económico y la reducción de la pobreza. Según el “Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020 Agua y Cambio Climático”, el uso global de agua se ha multiplicado por seis en los últimos 100 años y bajo este escenario, resultan cada vez más numerosos los desafíos asociados a la gestión sustentable del agua que permita el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en especial al objetivo N°6 de “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos” ya que es probable que el cambio climático ralentice el progreso del acceso al agua y al saneamiento (Unesco, 2020).

Según estudios realizados por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) predicen que la escasez de agua seguirá aumentando en el futuro, siendo alrededor del 52% de la población mundial la que vivirá en regiones con estrés hídrico para 2050. Es justamente bajo este contexto, que a partir del día 7 de diciembre del año 2020 el agua cotiza en la segunda bolsa de valores electrónica y automatizada más grande de Estados Unidos, la Bolsa Mercantil de Chicago (CME), a través del índice Agua de Nasdaq Veles California por sus siglas NQH2O, que responde a las condiciones de oferta y demanda del Estado de California (Campanini, 2020).

Aunque el índice está basado en los precios de las principales cuencas fluviales de California, en un futuro, sus valores podrían ser usados como referente para el resto del mundo en los mercados del agua, ya que según la CME es una herramienta innovadora que permite brindar a los usuarios de agua agrícolas, comerciales y municipales una mayor transparencia, descubrimiento de precios y transferencia de riesgos, lo que puede ayudar a alinear de manera más eficiente la oferta y la demanda de este recurso vital (EMASESA, 2020).

El NQH2O se encuentra guiado por el “Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI)”, que utiliza datos de temperatura y precipitación fácilmente disponibles para estimar la sequedad relativa, de esta forma, cuando caigan los valores del PDSI, esto es un indicativo de condiciones hidrológicas más secas, lo cual suele coincidir con una disminución en el suministro de agua, resultando un aumento en la demanda y, por lo tanto, un aumento en el precio de mercado predominante (OMM, 2016).

La asignación de agua a través de mercados de derechos de agua es un régimen de privatización del agua, al igual que los minerales, hidrocarburos u otros recursos naturales que son extraídos por organismos privados o públicos y que se dispone de ellos como cualquier otra propiedad. Pero Estados Unidos no es el único país en el que este régimen, ya que se encuentra vigente en otros países como Australia, Sudáfrica, Chile, Inglaterra, Omán, Islas Canarias, entre otros, quienes podrían emplear el índice NQH2O como referencia en la dinámica del mercado de derechos de agua, para usuarios de negocios con altas rentabilidades quienes requieran del agua como un insumo esencial.

Sin embargo, el índice NQH2O prioriza a aquellos sectores productivos que cuentan con elevados activos, discriminando el uso equitativo y razonable del recurso hídrico para la población al no considerar el agua un derecho humano básico, pudiendo desencadenar inestabilidades políticas, sociales y económicas en los países.

1.1.6. Indicador de escasez hídrica.

Existen diversas formas de evaluar la escasez hídrica en un territorio, una de estas es a través del índice de escasez hídrica, el cual fue construido a partir de las relaciones de presión sobre el recurso hídrico presentadas en la “Evaluación General de los Recursos de Agua Dulce del Mundo” el año 1997, allí se propone que existe escasez de agua cuando la cantidad de agua tomada de las fuentes es tan grande que se suscitan conflictos entre el abastecimiento de agua para las necesidades humanas, las ecosistémicas, las de los sistemas de producción y las de las demandas hídricas proyectadas hacia el futuro inmediato (Domínguez *et al.*, 2008).

Este índice relaciona la demanda de agua por parte de las actividades socioeconómicas y la oferta hídrica “neta” desde la fuente abastecedora de la siguiente manera.

$$\text{Índice de escasez hídrica} = \frac{\text{Demanda total de agua}}{\text{Oferta hídrica neta}} \times 100$$

La oferta hídrica “neta” se define como la cantidad de agua que ofrece la fuente luego de haber descontado la cantidad de agua que debe quedar en ella para efectos de mantener el caudal mínimo del período de estiaje y para tomar en cuenta los efectos adversos de la irregularidad temporal de la oferta (Domínguez *et al.*, 2008). Mientras que la demanda total de agua es el volumen de agua dulce extraída de fuentes, superficiales y/o subterráneas, por parte de diferentes usuarios en un espacio y tiempo determinado para producir bienes y servicios, que no retorna al ambiente de donde se extrajo (Escenarios hídricos, 2018).





Una forma de obtener la demanda total hídrica es en base a la metodología internacional de Huella Hídrica desarrollada por Water Footprint Network y que ha sido ampliamente utilizada a nivel mundial como una herramienta que permite estimar la cantidad de agua requerida para producir bienes y servicios en un área específica (país, cuenca, proceso, entre otros). La Huella Hídrica (HH) es un indicador que se define como “el volumen de agua fresca apropiada o no devuelta al sistema, tomando en cuenta los volúmenes de agua consumida y contaminada”, y se compone de la suma de las huellas hídricas azul, verde y gris asociadas a un área o sistema en estudio (Escenarios hídricos, 2018)

- ✓ La Huella Hídrica azul (HH azul) se refiere al volumen de agua fresca extraída de fuentes superficiales y/o subterráneas por parte de los diferentes usuarios, que no retorna al ambiente de donde se extrajo.
- ✓ La Huella Hídrica Verde (HH verde) se refiere al volumen de agua lluvia utilizada por los sectores que aprovechan esta fuente para riego, principalmente el agrícola y forestal, la cual queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo, la que se puede evaporar, evapotranspirar o incorporar en la vegetación.

- ✓ La Huella Hídrica Gris (HH gris) es un indicador virtual del grado de contaminación del agua fresca y corresponde al volumen de agua requerida para diluir los contaminantes hasta el punto en que la calidad de agua esté sobre los estándares aceptables.

Para analizar los resultados de la aplicación del índice, existen umbrales críticos que evalúan las distintas necesidades humanas, de ecosistemas, actividad productiva y demandas potenciales (OMM, 1997), en estos se distinguen las cuatro categorías que se observan en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2: Categorías para el índice de escasez hídrica. Fuente: OMM,1997.

1. Índice Escasez hídrica	2. Porcentaje Oferta hídrica utilizada	3. Color	4. Explicación
ALTO	> 40 %		Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico, denota una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y demanda. En estos casos la baja disponibilidad de agua es un factor limitador del desarrollo económico.
MEDIO	20 – 40%		Cuando los límites de presión exigen entre el 20 y 40% de la Oferta hídrica disponible es necesario el ordenamiento tanto de la oferta como de la demanda. Es menester asignar prioridades a los distintos usos y prestar particular atención a los ecosistemas acuáticos para garantizar que reciban el aporte hídrico requerido para su existencia. Se necesitan inversiones para mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos hídricos.
MODERADO	10 – 20%		Indica que la disponibilidad de agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo.
BAJO	<10%		No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico.

1.1.7. Capital tecnológico y disponibilidad hídrica.

Si bien el recurso hídrico es cada vez más escaso en algunas zonas geográficas del planeta, las ciencias, el avance tecnológico y la innovación, han permitido mejorar la eficiencia con que utilizamos el agua, logrando un incremento en su disponibilidad, por esta razón, es que países desarrollados han invertido elevados recursos económicos para fomentar sus capacidades tecnológicas, tales como laboratorios, instrumentación, estaciones de monitoreos y sistemas de información, los cuales acrecientan la disponibilidad hídrica en sectores económicos, como el industrial, agrícola y minero (UNESCO, 2019). Israel, por ejemplo, ha logrado una reducción significativa en el consumo de agua para la agricultura,

a pesar de presentar un incremento anual en su productividad agrícola en las últimas décadas, todo esto debido al modelo de investigación y desarrollo que han implementado desde principios de los años 60, permitiendo el flujo constante de información entre investigadores y agricultores, logrando de esta manera, el desarrollo de tecnologías innovadoras que brindan soluciones específicas de eficiencia hídrica, las cuales actualmente son exportadas y utilizadas en diversos países (Israel-NEWTech, 2014).

Según el Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID), Chile evidencia un claro déficit en esta materia, principalmente por la baja presencia de capacidades científicas vinculadas a los retos tecnológicos asociados al manejo y disponibilidad de los recursos hídricos. De esta manera, es cada vez más compleja la idea de resolver el problema de escasez y surgen ideas como que la simple importación de tecnología podrá resolver el problema de fondo, sin embargo, esta opción requiere de conocimientos especializados que en muchos casos necesitará la adaptación a las condiciones locales, también es preciso fortalecer las instalaciones de investigación y testeo de tecnologías, para crear un vínculo directo con las necesidades que surgen en los territorios y en las diversas actividades productivas que en ellos se desarrollan (CNID, 2016).

1.2. Unidad de estudio

1.2.1. Caracterización de la subcuenca del Río Illapel.

La Subcuenca del río Illapel nace en la cordillera de Los Andes en el límite internacional con Argentina, en la parte sur de la IV región de Coquimbo, es una de las cuatro subcuencas pertenecientes a la cuenca del Río Choapa (Figura 1.6) y comprende un área total de 2054,7 km², subdividiéndose en 5 subsubcuenca como se observa en la Figura 1.7 (DGA., 2004). Su río principal es el río Illapel el cual pertenece a la comuna del mismo nombre, éste nace sobre los 1.400 m.s.n.m de la unión entre el estero Cenicero y el río Tres Quebradas, posee una extensión total de 85 km desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Choapa (Martínez *et al.*, 2003).

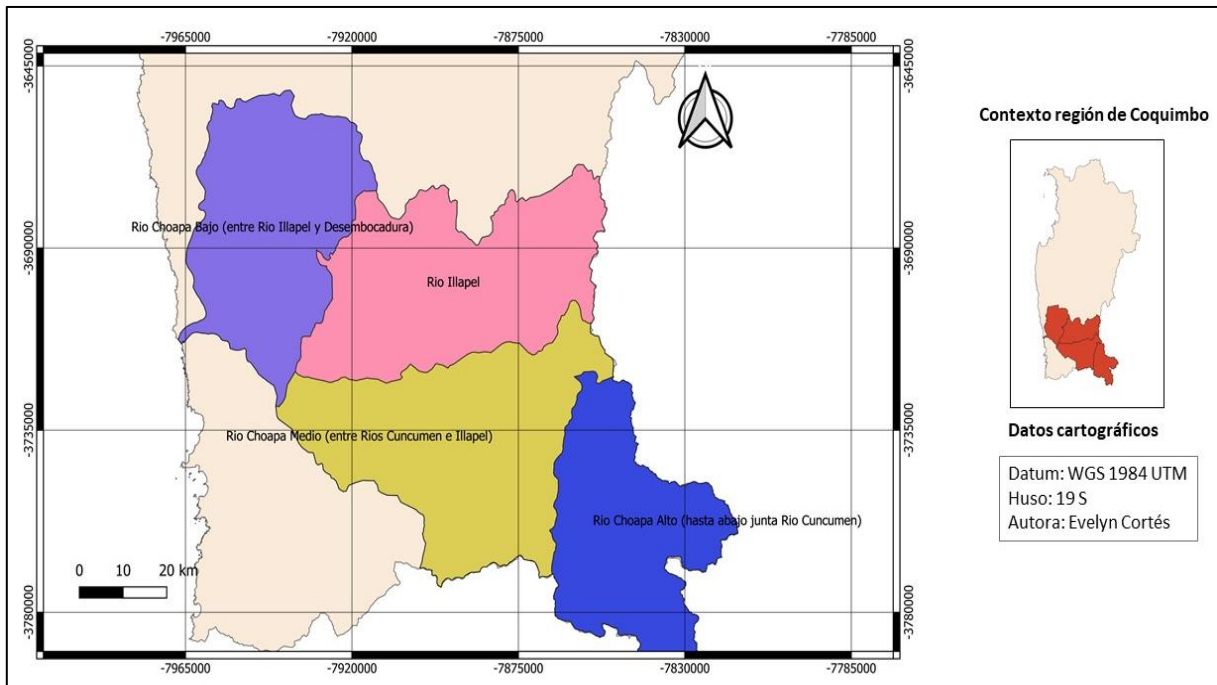


Figura 1.6: Subcuencas de la cuenca del Río Choapa.

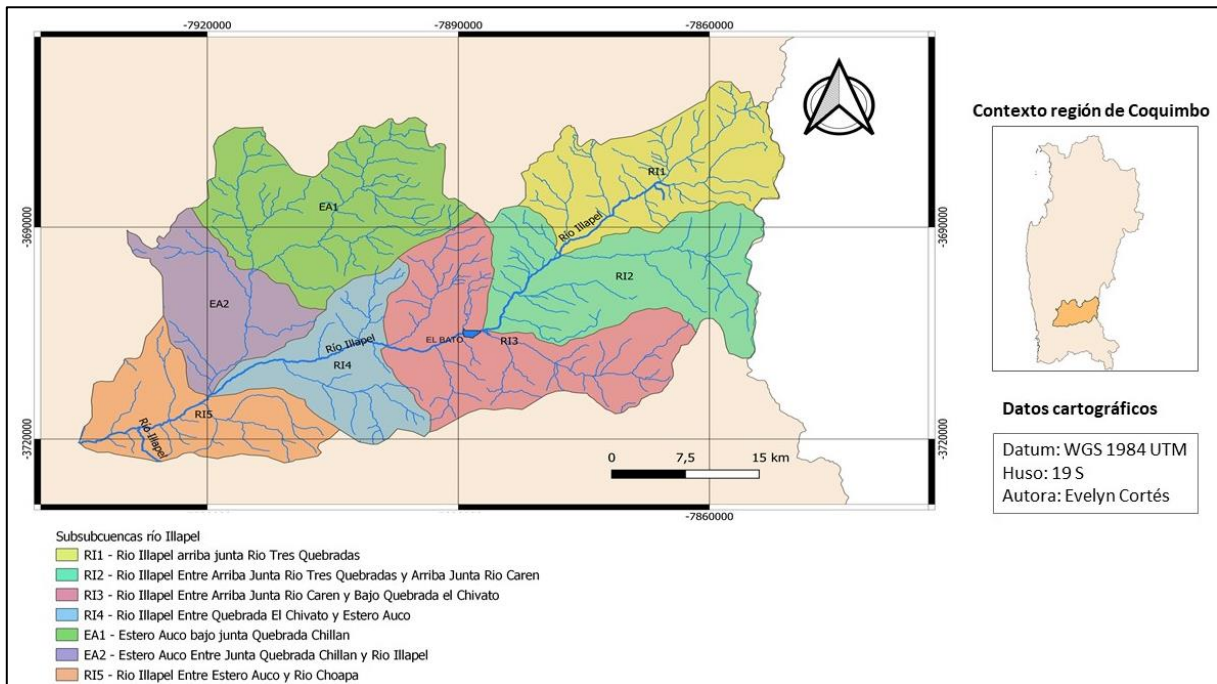


Figura 1.7: Subsubcuencas del río Illapel.

El régimen del río Illapel es de tipo nival, al igual que la mayoría de los ríos del centro norte del país, observándose que sus caudales presentan una disminución en meses invernales y un aumento en meses estivales, esto, sin considerar los años de déficit hídricos donde los caudales no presentan una marcada diferencia.

En la Figura 1.8 se observa el embalse “El Bato”, el cual según la información entregada por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), se ubica a 32 km al nororiente de la ciudad de Illapel, posee una capacidad de 25,5 millones de m³, formando un lago artificial de 117 hectáreas, la finalidad del embalse es regular los caudales del río Illapel y otorgar una seguridad de riego de un 80% para un total de 4.150 hectáreas.

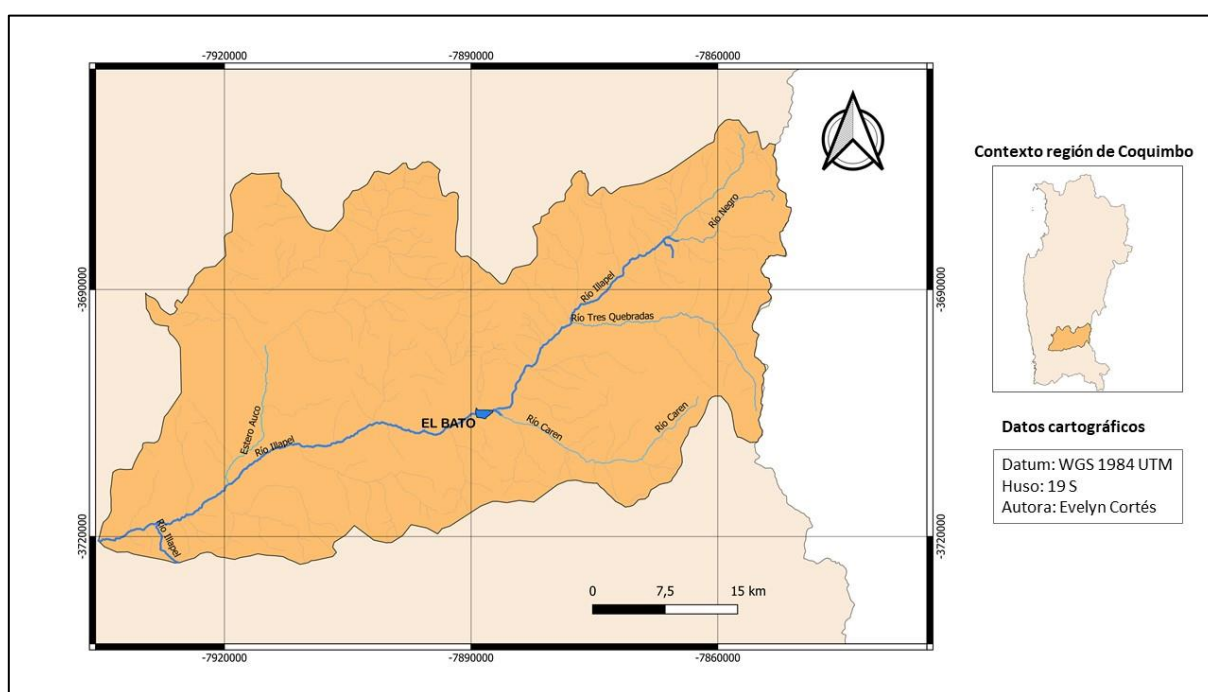


Figura 1.8: Red hídrica principal de la subcuenca del río Illapel.

La subcuenca en estudio se caracteriza por períodos prolongados de sequía, manifestándose en un déficit hídrico muy marcado. Además, posee un clima de “estepa cálida con precipitaciones” que se caracteriza por la ausencia de nubosidad durante gran parte del año y sequedad en el aire, con precipitaciones no tan abundantes y periodos de sequía, mientras que la zona más alta se caracteriza por un clima templado frío de altura con bajas temperaturas, precipitaciones y nieve (DGA, 2004).

En cuanto a su geomorfología, la subcuenca se encuentra sobre formaciones geológicas de depósitos no consolidados y rellenos de depósitos fluviales. El cauce en la parte alta es mayoritariamente encajonado por cerros andinos de laderas escarpadas poco regulares, los cuales aportan material sólido al cauce. En la zona baja se da lugar a sectores que presentan terrazas discontinuas de sedimentación fluvial aprovechados como zonas altamente agrícolas y de asentamiento (DGA, 2004).

1.2.2. Comuna de Illapel

La comuna de Illapel desde el punto de vista político-administrativo es aquella que posee la mayor densidad poblacional de la provincia del Choapa con 15,18 hab/km², según los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) en el censo del año 2017 la comuna cuenta con 30.828 habitantes de los cuales 14.739 son hombres y 16.109 son mujeres, además en la comuna hay 12.320 viviendas, en donde un 68,2% de la población reside en el área urbana (GORE Coquimbo., 2015), en la Figura 1.9 se puede observar la proyección del comportamiento demográfico estimado por el INE para el año 2021 (Troncoso, 2021).

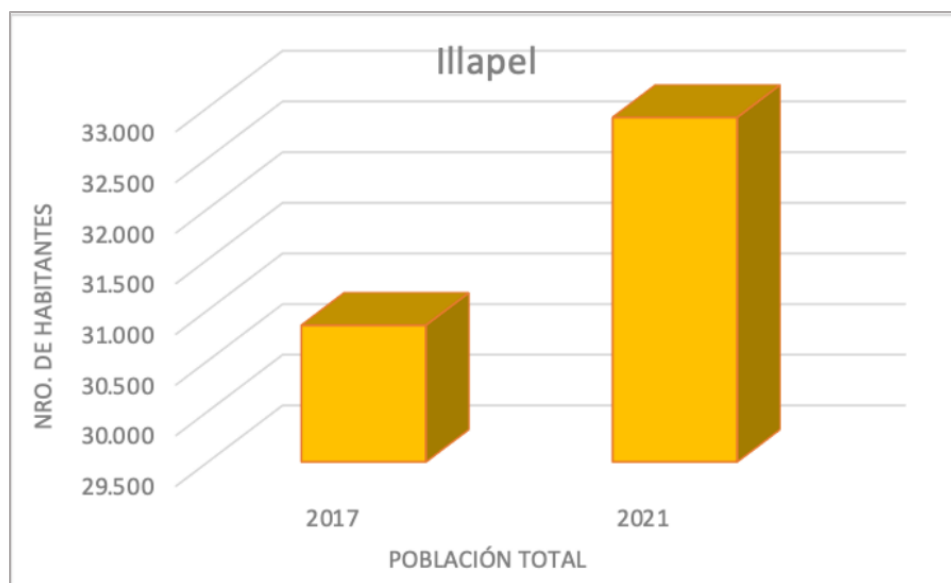


Figura 1.9: Proyección demográfica para el año 2021 en la comuna de Illapel. Fuente: Troncoso, 2021.

La principal actividad productiva de la comuna se basa en la minería, tanto artesanal, como pequeña, que además de autoempleo son la punta de lanza de la economía local a través de la contratación de trabajadores, transporte y otros servicios asociados. En la actualidad

se vislumbran grandes proyectos mineros que podrían cambiar la forma de ver dicho rubro en la zona (Troncoso, 2021).

La agricultura y la ganadería, también en su mayoría son actividades económicas de subsistencia o pequeña, destacándose la crianza de caprinos, cuya leche es explotada para la fabricación de quesos y en menor grado la carne, también cada año son más las iniciativas de agricultura más moderna para grandes plantaciones de nueces, paltas y arándanos (Troncoso, 2021). En el año 2018, el tamaño de mercado en la comuna de Illapel fue de USD 101 millones, en donde los principales rubros económicos fueron comercio al por mayor y menor, reparación de vehículos y enseres, construcción y transporte, almacenamiento y comunicaciones, de acuerdo con la clasificación de rubros del Servicio de Impuestos Internos (SII). En la Tabla 1.3 se observa tamaño del mercado según subrubros económicos, expresado en el porcentaje de participación.

Tabla 1.3: Porcentaje de participación en los subrubros presentes en la comuna de Illapel.
Fuente: Portal Adalytics de la Universidad de Concepción, 2018.

Sub rubro	Porcentaje
Construcción	10,9
Otros tipos de transporte por vía terrestre	9,01
Venta de vehículos automotores	8,91
Venta al por mayor de productos intermedios y desechos no agropecuarios	6,58
Venta de partes, piezas y accesorios de vehículos automotores	6,27
Venta al por mayor de materias primas agropecuarias	5,9
Actividades de servicios agrícolas y ganaderos	5,61
Enseñanza preescolar, primaria, secundaria y superior	5,25
Comercio al por menor de otros productos nuevos	4,8
Comercio al por menor no especializado en almacenes	4,8
Extracción de minerales metalíferos	4,55
Actividades empresariales y de profesionales prestadas a empresas	3,87
Venta al por mayor de enseres domésticos	3,01
Actividades jurídicas y de asesoramiento empresarial	2,2
Venta al por menor de combustible para automotores	2,16
Otros	16,18

La fuerza laboral ha crecido anualmente a una tasa promedio de 7,9%, pasando de 2.199 trabajadores en 2010 a 4.051 trabajadores en 2018, donde el rubro de la agricultura, la ganadería, caza y silvicultura concentró el mayor número de trabajadores. En el año 2018, la comuna contaba con 539 empresas, donde aquellas de cultivos (productos de mercado, hortalizas) toman el primer lugar con 58 empresas, representado el 10,8% del total de empresas de la comuna, le sigue el subrubro construcción con 47 empresas equivalente a un 8,7% del total y la extracción de minerales metalíferos con un 8% (Troncoso, 2021). En la Tabla 1.4 se encuentra el número de empresas que representan cada subrubro en el año 2018.

Tabla 1.4: Número de las principales empresas según subrubro para el año 2018, en la comuna de Illapel.
Fuente: Portal Adalytics de la Universidad de Concepción, 2018.

Sub rubro	N° empresas
Cultivos, cultivos de productos de mercado, horticultura	58
Construcción	47
Extracción de minerales metalíferos	43
Comercio al por menor de otros productos nuevos	35
Enseñanza preescolar, primaria, secundaria y superior	33
Otros tipos de transporte por vía terrestre	30
Captación, depuración y distribución de agua	23
Restaurantes, bares y cantinas	20
Actividades empresariales y de profesionales prestadas a empresas	20
Actividades relacionadas con la salud humana	16
Comercio al por menor no especializado en almacenes	14
Actividades inmobiliarias realizadas con bienes propios o arrendados	13
Otras	207

1.2.3. Cantidad de aguas en la subcuenca del río Illapel

Los caudales de los principales ríos a nivel nacional se han mostrado altamente variables en las últimas décadas, observándose períodos alternados entre altos y bajos caudales asociados principalmente a ciclos más lluviosos y secos vinculados a la oscilación decadal del Pacífico (ODEPA, 2017). Aunque a modo general los caudales no muestran una

tendencia clara, la cuenca del río Choapa muestra una marcada declinación de la escorrentía en la última década (Figura 1.10).

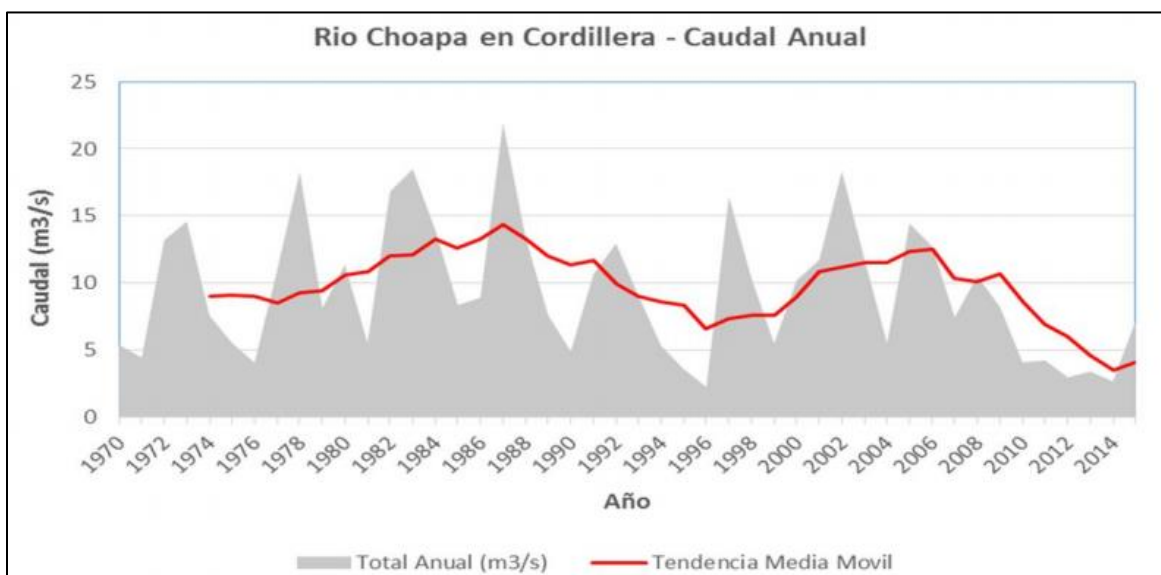


Figura 1.10: Tendencia temporal del caudal del río Choapa, periodo 1970-2015. Fuente: ODEPA, 2016.

Las tres estaciones fluviométricas presentes en la subcuenca del Río Illapel (Figura 1.11) son monitoreadas por la DGA, y como se puede observar en la gráfica de la Figura 1.12, los caudales medios mensuales registrados en las tres estaciones no muestran un aumento significativo desde inicios del año 2000, en donde hasta el mes de mayo del año 2015 el déficit hídrico alcanzó un 67% y el embalse solo contaba con un 3% de su capacidad (CEAZA, 2015).

Entre los últimos meses del año 2015 hasta fines de 2017 se observó un aumento en los caudales medios mensuales de las tres estaciones, esto producto del aumento en las precipitaciones caídas que marcaron un superávit al finalizar el invierno de 2016, lo cual permitió que el embalse pudiera registrar por primera vez una capacidad igual 100%. Sin embargo, a partir del año 2018 se han registrado bajas precipitaciones, en donde el 2019 fue uno de los años más secos de los últimos 40 años (CAEZA, 2021).

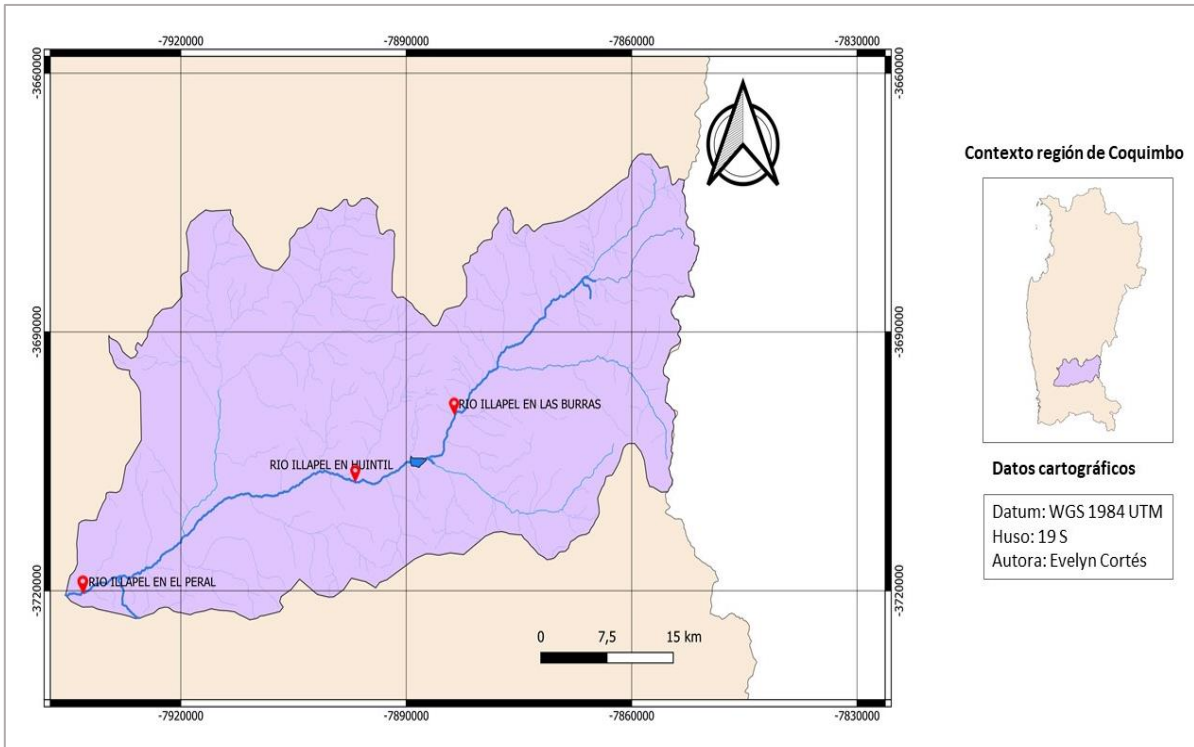


Figura 1.11: Localización de las tres estaciones fluviométricas presentes en la subcuenca río Illapel.

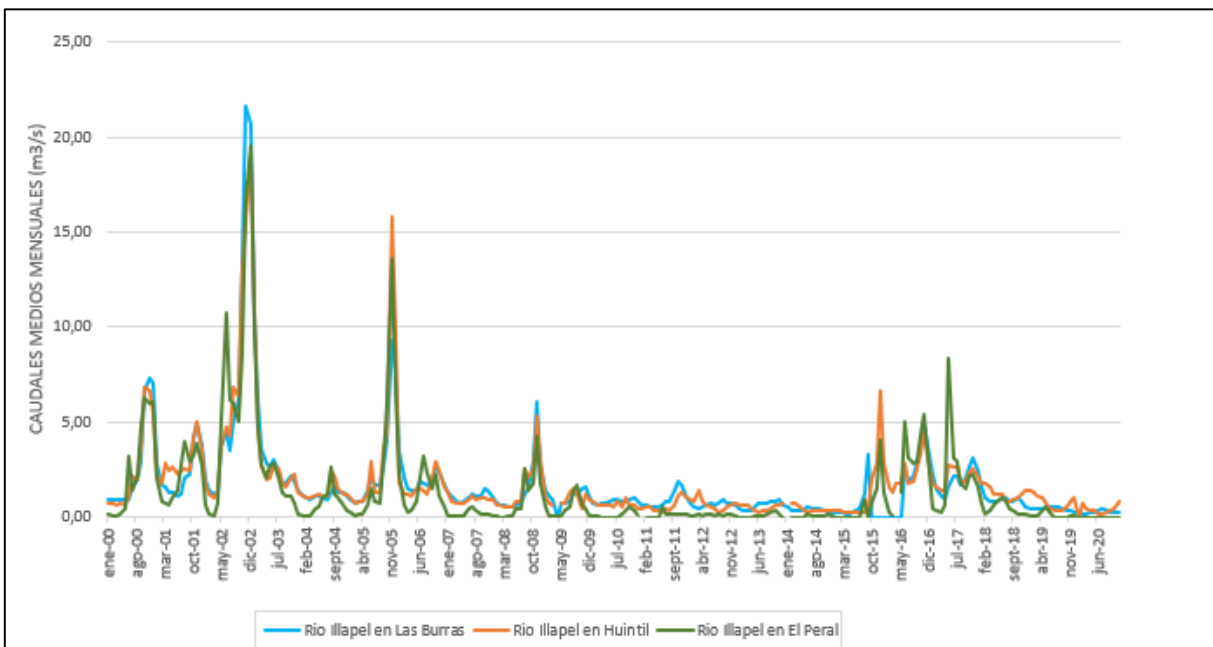


Figura 1.12: Caudales medios mensuales en las tres estaciones fluviométricas, periodo 2000-2021.

En la actualidad los datos no son alentadores, según el Informe semanal hidrometeorológico del 24 de mayo de 2021, el embalse solo cuenta con un 6% de su capacidad (1,53 millones de m³), cifra que al compararse con el promedio histórico mensual, decae en un 90,67%.

El Decreto N°2 de fecha 4 de enero de 2021 del Ministerio de Obras Públicas (MOP) declara Zona de Escasez la región de Coquimbo por seis meses, entregándole a la DGA atribuciones para establecer criterios y delimitaciones en las autorizaciones de extracción de aguas, con el objeto de proveer determinadas herramientas a los usuarios para reducir al mínimo los daños derivados de la sequía (MOP, 2021).

1.2.4. La agricultura y su uso de agua de la subcuenca

Si bien la comuna de Illapel ha estado ligada históricamente a la explotación minera en pequeña escala, el sector minero no es el principal usuario de aguas, ya que el sector agrícola toma protagonismo en este sentido. Según los resultados del VII Censo Nacional Agropecuario del año 2007, entregados por el Instituto Nacional de Estadística, indican que en la comuna de Illapel existen un total de 1.287 explotaciones agropecuarias (Tabla 1.5) (CIREN, 2017).

Tabla 1.5: Número y superficie de explotaciones silvoagropecuarias a nivel nacional, regional y comunal. Fuente: CIREN, 2017.

Comuna de Illapel. Explotaciones Silvoagropecuarias, Número y Superficie.										
País, Región y Comuna	Explotaciones censadas		Explotaciones Agropecuarias						Explotaciones forestales	
			Total		Con tierra					
	Número	Superficie (ha)	Número	Superficie (ha)	Con actividad		Temporalmente sin actividad		Número	Superficie (ha)
					Número	Superficie (ha)	Número	Superficie (ha)		
Total país	301.269	36.439.533,2	280.484	29.781.690,8	275.933	29.762.611,0	2.727	19.079,9	20.785	6.657.842,4
Región de Coquimbo	15.773	3.991.396,9	15.751	3.990.348,6	15.012	3.987.344,6	109	3.004,0	22	1.048,3
Comuna de Illapel	1.337	259.556,3	1.333	259.526,1	1.287	259.516,5	6	9,6	4	30,2

Las principales clases de uso de suelo en la comuna de Illapel son: praderas y matorrales (192 mil há), áreas desprovistas de vegetación (50,5 mil há) y terrenos agrícolas (7,31 mil

hás). De los terrenos agrícolas, la mayor cantidad corresponden a frutales y cultivos anuales (CIREN, 2021), en la Figura 1.13 se encuentran los porcentajes de estos.

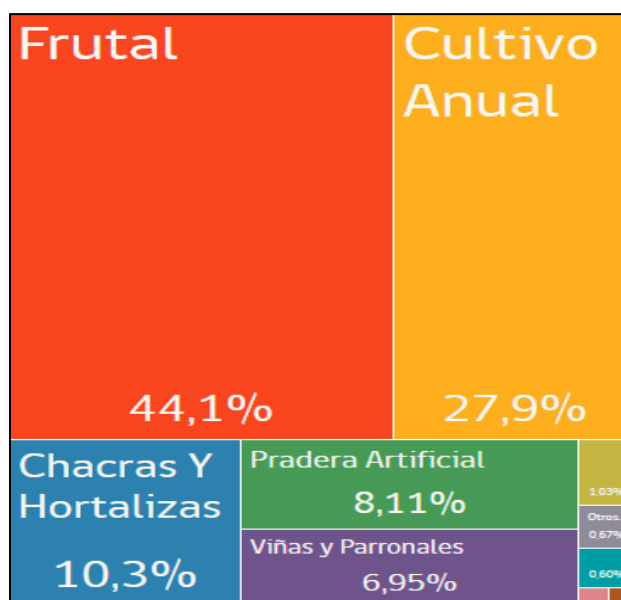


Figura 1.13: Tipos de terrenos agrícolas, según el Uso actual de suelos. Fuente: CIREN, 2021.

Las especies frutícolas con mayor superficie sembrada en la comuna de Illapel son: palto (17,6 mil hás), nogal (10,2 mil hás) y mandarino (2,02 mil hás), mientras que las variedades frutícolas con mayor superficie sembrada son: paltas hass, y nogales chandler (CIREN, 2021).

La mayor parte de las explotaciones registran tamaños inferiores a 5 hás, disminuyendo en cantidad a medida que se aumenta el tamaño. De las 1.287 explotaciones agropecuarias que consideró el Censo del 2007, un 85% cuentan con sistema de riego, equivalente a una superficie de 4.508,3 hás, estos sistemas corresponden a:

1. Riego gravitacional: Tendido, surco, con variedades.
2. Mecánico mayor: Riego por aspersión y por pivote.
3. Micro riego: Sistema de goteo.

El sistema de riego gravitacional es el más utilizado, comprendiendo un 74,4% de la superficie regada, seguido por el micro riego con un 23,9% y en último lugar el riego mecánico con tan solo 1,7% (CIREN, 2017).

1.3. Herramientas tendientes a lograr un mejor rendimiento del agua.

El desarrollo de la Humanidad ha estado ligado a la capacidad que ha tenido el ser humano de poder ingeniar y utilizar tecnologías vinculadas al agua, por ejemplo, tecnologías de extracción, acumulación, distribución, eliminación y depuración de aguas residuales, además del empleo de diversos sistemas de manejo de las aguas como los sistemas optimizados de riego, sistemas de contención de aguas, mecanismos de desalación de agua marina, entre otros (Douas *et al.*, 2013). El aumento de la población mundial y la mejora en la calidad de vida de las personas a incrementado tanto la demanda del recurso, como también la desigualdad de distribución. Por ejemplo, en EEUU una persona consume en promedio 575 litros al día, mientras que en países con menor desarrollo económico el consumo promedio diario alcanza solo unas decenas de litros, valor muy por debajo de los límites que aseguran la supervivencia. En Chile, el consumo promedio diario por habitante se encuentra en el orden de los 170 litros, esto según datos entregados por la Super Intendencia de Servicios Sanitarios (SISS), existiendo marcadas diferencias entre regiones y comunas del país. Es en este contexto, que el desarrollo de conocimientos y tecnologías relacionadas con el agua permite disminuir los problemas de abastecimiento, mejorando la relación entre la oferta y la demanda, la cual en muchas ocasiones requiere un mejoramiento en las infraestructuras hidrológicas de las cuencas, esto último implica obras mayores como embalses, sistemas de infiltración y recarga, mejoramiento de canales, sistemas automatizados de distribución del agua, entre otros. Sin embargo, la implementación de estos sistemas por lo general es lento y requiere períodos no menores a 20 años, mientras que el gasto sería inaccesible para un país en vías de desarrollo (como lo es Chile), bajo la eventual situación de que lleguemos a un estado crítico de escasez de agua antes de la mitad de este siglo (ODEPA, 2017). Debido a esto, son claves aquellas tecnologías que cuenten con un alto nivel de adopción y que sean socialmente aceptadas (FAO, 2013).

A modo general para definir qué tipo de tecnología se emplea, esto se hace en base a:

1. El rubro productivo predominante en el lugar donde se desea implementar.
2. Las condiciones socioeconómicas del productor.
3. Las características del sistema productivo.
4. El conocimiento que se tiene del sistema.

Por otro lado, las tecnologías que se promueven para el uso eficiente del agua deben estar acompañadas con acciones dirigidas a la conservación y protección del recurso, es decir, que se debe trabajar con un enfoque integrado que considere todo el sistema y las variables que influyen en la cantidad y calidad del agua (FAO, 2013).

1.3.1. Herramientas empleadas en procesos productivos.

1.3.1.1 *Recirculación*

El proceso de recirculación de agua es una práctica común para incrementar el rendimiento y el uso racional del agua, esta acción consiste en utilizar el agua en el proceso donde inicialmente se usó, en general, la primera vez que el agua ha sido utilizada, cambia sus características físicas y químicas y, por lo tanto, podría requerir de algún tipo de tratamiento (Mendieta, 2013). Por lo general este tipo de herramienta se utiliza en industrias de distintas áreas ya que además de lograr un uso eficiente del agua, les permite mantener un monitoreo y control de los parámetros físicos y químicos del agua tales como: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, (pH), la alcalinidad, entre otros, permitiendo así una producción continua y detectando fallas o falencias oportunamente (Timmons *et al.*, 2002).

Por lo general los sistemas de recirculación de aguas requieren de procesos adicionales, que les permitan mantener las condiciones iniciales (entrada) inalteradas, por ejemplo, procesos de remoción de sólidos, filtración, aireación, etc. En la Figura 1.14 se encuentra el esquema general de una planta de acuicultura que utiliza sistemas de recirculación de aguas (Agrotendencia, 2020)

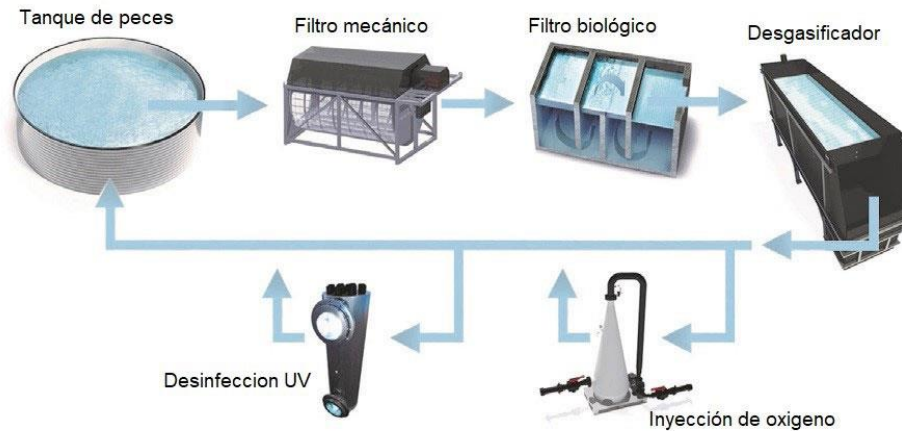


Figura 1.14: Sistema de recirculación en acuicultura. Fuente: Agrotendencia, 2020.

1.3.1.2 Desalinización

La desalinización o desalación del agua es el proceso mediante el cual se separan las sales de una disolución salobre (agua salobre o agua de mar) para convertirlas en agua adecuada para el consumo humano, uso industrial o agrícola, entre las técnicas de desalación existentes se encuentran, la desalación mediante membranas y la desalación mediante destilación o evaporación (Dévora *et al.*, 2013). Las técnicas empleadas en la desalación por membranas se encuentran, la ósmosis inversa, la nanofiltración y la electrodiálisis, mientras que en la desalación por destilación o evaporación se utilizan los procesos de evaporación Instantánea multietapa (MSF), la evaporación multiefecto en tubos horizontales y la compresión de vapor (Mecánica y Térmica). A modo general la desalación se utiliza para el abastecimiento de agua para industrias de distinta índole, que por motivo de escasez han debido impulsar proyectos de desalinización, además es la fuerza vital para países como Arabia Saudita que se emplaza en medio de un desierto árido y seco, en donde el agua desalinizada representa cerca de la mitad del suministro de agua dulce del país (Fountain, 2019). En Chile, según un catastro MOP, en la actualidad se encuentran operando 24 plantas desalinizadoras y sistemas de impulsión de agua de mar, mientras que hay otros 22 proyectos en diferentes etapas de desarrollo. En su mayoría las desalinizadoras son para la minería y en menor medida para el abastecimiento de agua potable en ciudades del norte. En la Figura 1.15 se observa la distribución de las plantas desalinizadoras presentes en el país.

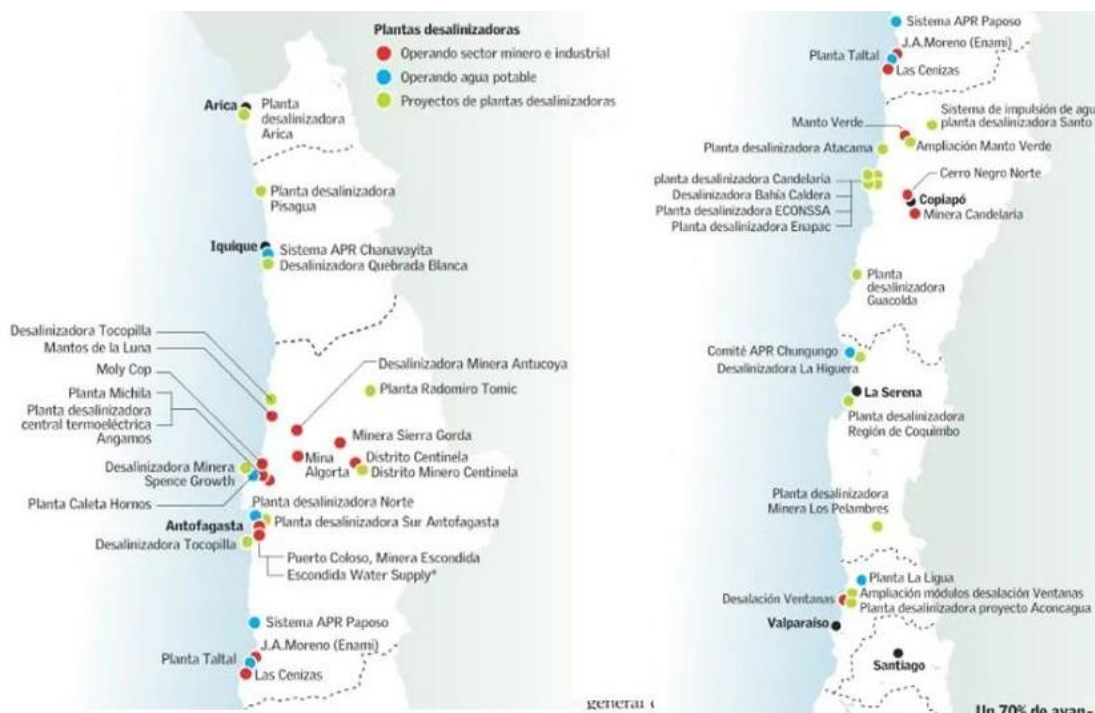


Figura 1.15: Distribución geográfica de las plantas desalinizadoras en Chile. Fuente: CPI, 2019.

1.3.2. Herramientas empleadas para lograr una mejor eficiencia de riego.

1.3.2.1 Riego por goteo.

El riego por goteo consiste en un sistema presurizado donde el agua se conduce y distribuye por medio de una red de tuberías, que permiten aplicar el agua a los cultivos a través de emisores cerrados que requieren presión, estos entregan pequeños volúmenes de agua de forma periódica (Liotta *et al.*, 2015).

El sistema consta de tres sectores diferentes (Figura 1.16):

1. Subunidad de riego: Área que se riega con una válvula o cabezal de campo.
2. Unidad de riego: Superficie que se riega simultáneamente tomando un conjunto de subunidades de riego.
3. Operación de riego: Superficie que se riega a la vez en el conjunto de unidades de riego.



Figura 1.16: Sectores que forman parte de un sistema de riego por goteo. Fuente: Liotta *et al.*, 2015.

Un sistema de riego por goteo en general se encuentra tecnificado, es decir, cuenta con las instalaciones necesarias para que la distribución de agua se haga de forma automática. Entre las instalaciones están:

- Equipo de bombeo
- Sistema de filtrado.
- Aparatos de control y medición.

La principal ventaja de este sistema radica en que la cantidad de agua que se aplica se ajusta en cantidad y oportunidad a la evapotranspiración de los cultivos, además se elimina la pérdida de conducción y se reducen las de infiltración profunda. La eficiencia de riego es muy alta (90 al 95%) lo cual permite incrementar la superficie de riego con la misma disponibilidad de agua en un 30 a 35% (Liotta *et al.*, 2015).

1.3.2.2 Riego hidropónico.

Es un sistema de regadío en el cual las raíces de los cultivos reciben una solución nutritiva equilibrada disuelta en agua con todos los elementos químicos necesarios para el desarrollo

de las plantas, las cuales pueden crecer directamente sobre la solución mineral, o bien en un sustrato inerte (NOVAGRIC, 2016). Existen diferentes tipos de sistemas hidropónicos, clasificados de la siguiente manera:

- En medio líquido: Sistemas que no poseen sustratos para el desarrollo de los cultivos, y estos se producen directamente sobre el agua mediante distintas técnicas como se ve en la Figura 1.17, donde: A) Lámina de agua (NFT); B) Flotantes y C) hidroponía de flujo profundo (NGS).



Figura 1.17: Sistemas hidropónicos: A) NFT; B) Flotantes y C) NGS.
Fuente: INTAGRI, 2017.

- En sustrato: Sistemas en donde se cultiva utilizando sustratos inertes irrigados mediante sistemas de riego por goteo, subirrigación, o exudación. Los sustratos más comunes son la perlita, la lana de roca, la fibra de coco y la turba.
- Aeropónicos: Sistemas donde la raíz permanece al aire libre, en un contenedor que la mantiene en la oscuridad, donde se aplica la solución nutritiva en forma de aerosol o de niebla. En la Figura 1.18 se observa un ejemplo de este tipo de sistema.



Figura 1.18: Cultivo aeropónico. Fuente: INTAGRI, 2017.

Las principales ventajas de los sistemas hidropónicos, es que mantienen el nivel de humedad constante en todo momento, independiente del clima o la etapa de crecimiento del cultivo, además reduce los riesgos de exceso de irrigación como la asfixia radicular, optimiza el uso de agua y fertilizante, y reduce los problemas de enfermedades producidas por patógenos del suelo, aumentando el rendimiento y la mejora en la calidad de producción.

1.3.1. Singapur como ejemplo de rendimiento eficiente del agua.

Singapur es un país insular de Asia, comprende un territorio pequeño y con recursos limitados, es por lo que sus autoridades han establecido distintos esquemas para evitar el despilfarro de agua a nivel productivo y doméstico, invirtiendo en infraestructuras, tecnologías, planificación y gestión eficaz del recurso hídrico. Como en este país no existen acuíferos que almacenen aguas subterráneas, todos los mecanismos empleados son estratégicamente planificados para poder asegurar la sostenibilidad del agua a largo plazo (BCN, 2013).

Las fuentes de abastecimiento sostenible de agua son las siguientes:

1. Cuencas hidrográficas locales.

El aprovechamiento de aguas de las cuencas hidrográficas locales se realiza mediante la recolección de aguas lluvias a través de los ríos, arroyos, canales y desagües, las cuales son transportadas y almacenadas en 17 depósitos conectados que permiten transferir las aguas entre ciudades. De esta manera Singapur es uno de los pocos países del mundo que recoge las aguas pluviales urbanas a gran escala para asegurar el suministro de agua y optimizar de esta manera el recurso (BCN, 2013).

2. Importación.

La importación de agua se realiza a través de tuberías desde Malasia, donde sus acuerdos bilaterales se mantienen hasta el año 2061.

3. Agua reciclada proveniente de la purificación de aguas residuales.

Este sistema recoge el agua a través de una red de alcantarillado, el cual transporta el agua colectada hacia plantas de recuperación, donde mediante procesos de purificación permite obtener agua reciclada de alta calidad. Esto, es gracias a la meticulosa red de membranas tecnológicas y desinfección ultravioleta (BCN, 2013).

4. Desalinización.

Hasta el año 2021 se encuentran operando cuatro desaladoras, pero se espera que para el año 2060 la capacidad de desalinización aumente en casi 10 veces, llegando a suplir más del 30% de la demanda futura (BCN, 2013).

La agencia encargada del suministro de agua potable llamada “Public Utilities Board” trabaja bajo dos grandes áreas de acción, la primera es la administración eficiente de sus sistemas de suministro, encargada del mantenimiento y actualización de las infraestructuras, lo cual le permite la detección de fugas, renovación de tuberías, entre otros. Mientras que la segunda área comprende medidas de conservación de agua, como programas educativos y publicidad, en este sentido, desde el año 2004 las autoridades han impulsado diversos programas de educación pública trayendo muy buenos resultados, ya que el consumo per cápita en los hogares disminuyó desde 165 litros diarios en el año 2003 a 157 litros al día en el 2009 (BCN, 2013).

Por último, la agencia trabaja en conjunto con instituciones de educación superior, investigación, sector privado y el Environment & Water Industry Programme Office. Por lo que todo esto le permite mantener el liderazgo en herramientas para el uso eficiente del agua.

2. Problema

La subcuenca del río Illapel ha sido significativamente afectada por la escasez hídrica que desde hace más de una década enfrenta la mayor parte del territorio nacional, en especial a la región de Coquimbo, donde las autoridades han debido implementar diversos planes de emergencia hídrica en apoyo a los sectores más afectados.

La disminución de los caudales producto de las bajas precipitaciones y una creciente demanda de acceso al recurso hídrico asociado principalmente a las actividades del sector agrícola, han provocado la disminución y el actual agotamiento de éste. Por lo que a través de este trabajo de título se pretende evaluar la aplicabilidad de tecnologías asociadas a esta actividad productiva, basado en la generación de capital tecnológico generando así un uso eficiente del recurso hídrico.

3. Objetivos

3.1. General

Determinar la viabilidad de la implementación de medidas tecnológicas que permitan la reducción del consumo de agua en las actividades agrícolas que se desarrollan en la subcuenca del río Illapel.

3.2. Específicos

- a) Cuantificar el caudal destinado a la actividad agrícola en la subcuenca del río Illapel.
- b) Seleccionar aquellas tecnologías que pueden ser aplicadas por los usuarios de agua en la subcuenca en estudio.
- c) Calcular el agua recuperada por la implementación de las tecnologías.
- d) Evaluar ambiental y económicamente la implementación de las tecnologías en la subcuenca.

4. Metodología

4.1. Cuantificar el caudal destinado a la actividad agrícola en la subcuenca del río Illapel.

4.1.1. Determinar la demanda del uso del agua, para los distintos sectores económicos de la subcuenca.

Se realizó una revisión de los registros oficiales disponibles en la página web de la DGA, para obtener información correspondiente al Catastro Público de Aguas de la subcuenca del Río Illapel, luego de descargado este catastro, se filtraron aquellas columnas relevantes para el desarrollo del trabajo, y se clasificaron los caudales autorizados por rubros económicos tal como se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Clasificación de los rubros económicos existentes en la subcuenca del río Illapel.

Rubro	N° de Usuarios	Caudal (l/s)	Tipo de derecho	Naturaleza del agua	Clasificación de la fuente	Ejercicio del derecho
-------	----------------	--------------	-----------------	---------------------	----------------------------	-----------------------

4.1.1.1. *Analizar y complementar los resultados.*

Una vez obtenidos los caudales destinados a cada sector productivo, se complementó la información con lo observado en el “Observatorio Georreferenciado en Línea” de la DGA, corroborando que en ambos catastros no existe información disponible de los usuarios de los canales de riego presentes en la subcuenca, debido a esto, se complementó esta información con el informe “Estudio Básico Diagnóstico para desarrollar Plan de Riego en Cuenca del Choapa y Quilimarí” asumiendo que todo el caudal autorizado del canal matriz, se destina exclusivamente para riego (rubro agrícola).

4.1.2. Clasificación de usuarios y determinación de grupos significativos.

Se clasificaron los usuarios según la fracción del caudal destinado a cada uno de los rubros, y se determinaron aquellos grupos que representan los mayores caudales autorizados, dejando fuera la fracción del caudal asociado a la generación de energía por ser de uso no

consuntivo. De esta manera se corroboró que el sector agrícola es el rubro predominante entre los usuarios de aguas de la subcuenca en estudio, y se establecieron dos escenarios de acuerdo con la información recabada.

4.2. Seleccionar aquellas tecnologías que pueden ser aplicadas por los usuarios de agua en la subcuenca en estudio.

4.2.1. Revisión bibliográfica de tecnologías orientadas a la eficiencia en el uso de agua del sector agrícola.

Mediante recopilación bibliográfica se seleccionaron aquellas tecnologías que pudiesen ser implementadas en la unidad de estudio, tanto por su factibilidad tecnológica a nivel nacional y local, como también por los costos de implementación de estas, ya que al considerar la información del VII Censo Nacional Agropecuario, la mayor cantidad de explotaciones agrícolas corresponden a menos de 5 hás, asociándose así a huertos o pequeñas plantaciones familiares. Debido a lo anterior, solo se consideraron aquellas tecnologías que por sus características y costos pudiesen ser realmente atractivas para los usuarios y que permitiesen además optimizar la eficiencia en el uso del agua para el sector agrícola. En la Tabla 4.2 se presentan aquellos factores considerados en la selección.

Tabla 4.2: Factores considerados para la selección de tecnologías.

Tecnología	Disminución en pérdidas por: Evaporación, evapotranspiración o infiltración	Factibilidad tecnológica			
		Venta y distribución	Despacho y servicios de post venta	Mano de obra capacitada	Liberación de impuestos y/o préstamos del estado

4.2.2. Presentación de las tecnologías.

Una vez seleccionadas las tecnologías, se presentaron en formato de fichas técnicas, como se observa a las Figuras 4.1 y 4.2.

Nombre de la tecnología

CARACTERÍSTICAS

características relevantes que permiten a cada tecnología optimizar el uso del agua, su método de acción y su vida útil.

Materiales

Los materiales, composiciones, y/o elementos que forman parte de las tecnologías, además en algunos casos se presentó la durabilidad de los mismos.

Imagen de referencia donde se observe el uso de la tecnología.

Aplicabilidad

Aplicabilidad dependiendo del tipo de tecnología y los principales beneficios que permiten diferenciar entre una y otra.

- ✓ Lista de beneficios

Figura 4.1: Ficha técnica (Hoja N°1).

Método de acción que permite el ahorro de agua y el porcentaje disminución de las perdidas por evaporación, infiltración o evapotranspiración.

FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA

Cantidad de empresas que venden y distribuyen las tecnologías a nivel nacional y local, la ubicación de estas y los servicios de post venta y despacho.

Además, se describe si es necesario contratar mano de obra calificada en el uso y/o mantenimiento de las tecnologías.

Costo en pesos chilenos (CLP)

Referencias

Referencias utilizadas en cada ficha técnica.

Figura 4.2: Ficha técnica (Hoja N°2).

4.2.3. Resumen de tecnologías

Como las tecnologías son variadas y actúan de forma diferentes unas de otras, se resumieron y agruparon de acuerdo con su modo de implementación, es decir, si son implementadas en tranques acumuladores de agua o en cultivos.

Posteriormente se resumieron de acuerdo con sus principales características, como se observa en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Resumen de las tecnologías según su aplicación

Nombre	Durabilidad	Costo (UF)	% de agua recuperada

4.2.4. Selección de tecnologías

Para seleccionar las tecnologías que fueron analizadas en los capítulos posteriores de este proyecto, se determinó realizar una encuesta dirigida a expertos en el área agrícola de la comuna, que pudiera priorizar las tecnologías presentadas en las fichas técnicas.

La pregunta presentada en la encuesta fue:

✓ ¿Qué tan probable es que usted haga uso y/o recomiende esta tecnología?

En la misma encuesta se presenta una tabla de puntuación que va desde una probabilidad muy baja con 1 punto, a muy alta con 5 puntos tal como se observa en la Tabla 4.4

Tabla 4.4: Puntuación de las encuestas

Nombre de la tecnología	Muy baja (1 pts)	Baja (2 pts)	Medio (3 pts)	Alto (4 pts)	Muy alto (5 pts)	Total

Finalmente, se sumaron los puntos de cada tecnología y se seleccionaron las de mayor puntuación.

4.3. Determinar el agua recuperada por la implementación de las tecnologías.

4.3.1. Estimación de pérdidas por infiltración y evaporación en tranques acumuladores.

4.3.1.1. *Pérdidas por infiltración y evaporación en un tranque acumulador modelo.*

Para estimar las pérdidas por infiltración y evaporación en los tranques acumuladores, en primer lugar, se modeló un tranque de 1.000 m² de área, que permitió desarrollar y comprender de mejor manera los resultados obtenidos, para luego extrapolarlos a los tranques acumuladores presentes en la subcuenca.

Pérdidas por infiltración

Las pérdidas por infiltración se obtuvieron del producto entre los valores tabulados de la velocidad de infiltración estabilizada según el tipo de textura de suelo y el área de la cota inferior del tranque modelo.

Pérdidas por evaporación

Las pérdidas por evaporación fueron obtenidas de acuerdo con el método de Priestley & Taylor (1972), el cual toma los valores de radiación neta sobre la superficie y la temperatura del aire como variables, la ecuación que representa este método se encuentra a continuación:

$$E = 1,26 * \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) * E_r$$

Donde **E= Evaporación** (mm/día), **Δ = Pendiente de la curva de presión de vapor** (kPa/°C),
 γ = Constante psicométrica (kPa/°C), **E_r = Evaporación por radiación** (mm/día).

El desglose de cada una de estas variables se encuentra a continuación (FAO, 2011):

Pendiente de la curva de presión de vapor (Δ): *Relaciona la presión de vapor con la temperatura.*

$$\Delta = \frac{4098 ea}{(T + 237,3)^2}$$

Donde ***ea=presión de vapor de saturación a la temperatura T*** (kPa).

T =Temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$)

Constante Psicrométrica (γ):

$$\gamma = \frac{c_p * P}{\epsilon * \lambda} * 10^{-3} = 0,00163 \frac{P}{\lambda}$$

Donde P =Presión atmosférica (kPa), λ =Calor latente (MJ/kg), c_p : Calor específico del aire húmedo = 1,013 [kJ/ (kg $^{\circ}\text{C}$)], ϵ : Relación peso molecular aire húmedo/aire seco = 0,622

Evaporación por radiación (E_r):

$$E_r = \frac{R_n}{L_v * P_w}$$

Donde R_n =Flujo neto de radiación (MJ/(m² *día), L_v =calor latente de vaporización,

P_w =Densidad del agua (kg/m³)

Los datos meteorológicos requeridos para la ecuación se obtuvieron desde la estación “Vivero CONAF, Illapel” (Figura 4.3), la cual forma parte de la Dirección Meteorológica de Chile, perteneciente a la Dirección General De Aeronáutica Civil (DGAC). Esta estación forma parte de una extensa red de estaciones meteorológicas y de indicadores climáticos que además de entregar información en línea, cuenta con un inventario de datos en línea disponible.

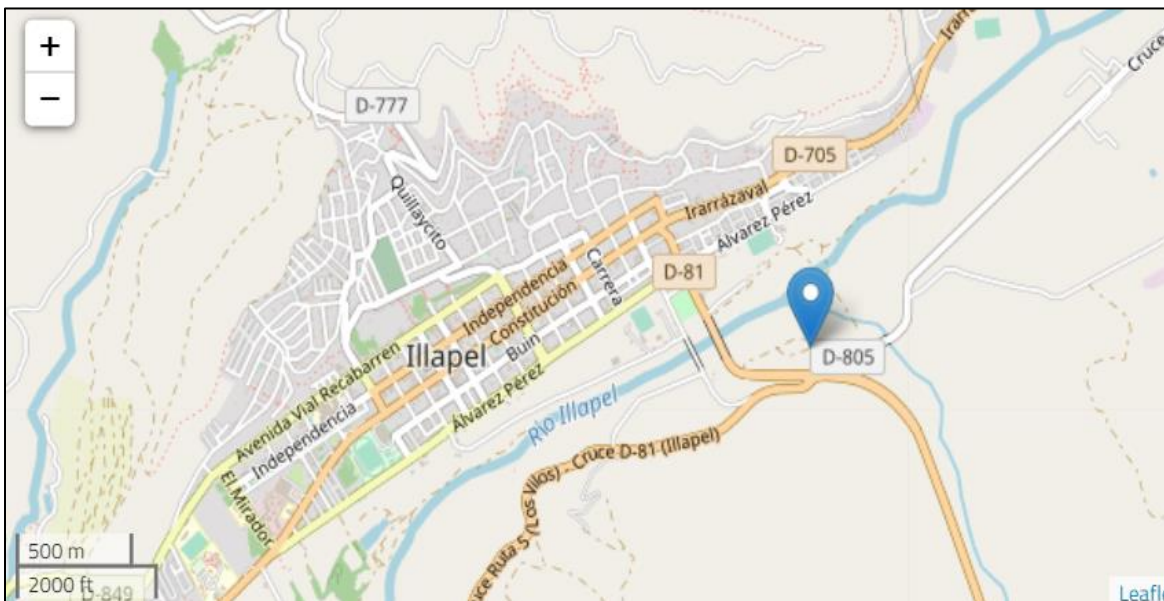


Figura 4.3: Ubicación de la estación “Vivero CONAF”.
Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, 2021.

4.3.1.2. Pérdidas por infiltración y evaporación en tranques acumuladores presentes en la subcuenca en estudio.

Mediante el programa Google Earth Pro se realizó un conteo pormenorizado de los tranque presentes en la unidad de estudio, y posteriormente mediante el programa Ggis3 se georreferenciaron según la subsubcuenca donde se encuentran, para finalmente estimar un área total, asumiendo una figura rectangular perfecta para cada uno de ellos y obtener las pérdidas totales por infiltración y evaporación de acuerdo con esta área.

4.3.2. Estimación de pérdidas por evapotranspiración en cultivos.

4.3.2.1. Pérdidas por evapotranspiración en un área modelo.

Para estimar las pérdidas por evapotranspiración, se modelo un área de cultivo de 10.000 m², que permitió desarrollar, analizar y comprender de mejor manera los resultados obtenidos, para luego extrapolarlos al área de cultivo real de la subcuenca. Se empleo el método "FAO Penman- Monteith", para calcular la evapotranspiración de referencia, en donde la ecuación que representa este método se encuentra a continuación:

$$ET_0 = \frac{0,408 * \Delta * (R_n - G) + \gamma * \frac{900}{T + 273} * U_2 * (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma * (1 + 0,34 * U_2)}$$

Donde ET_0 = Evapotranspiración de referencia (mm/día), Δ = Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C), R_n = Radiación neta (MJ/m²día), G = Flujo térmico del suelo (MJ/m²día), γ = Constante psicométrica (kPa/°C), T = Temperatura media (°C), U_2 = Velocidad del viento medida a 2 m de altura (m/s), $(e_a - e_d)$ =Déficit de presión de vapor (kPa), 900= Factor de conversión.

El desglose de cada una de estas variables se encuentra a continuación:

Pendiente de la curva de presión de vapor (Δ): Relaciona la presión de vapor con la temperatura.

$$\Delta = \frac{4098 ea}{(T + 237,3)^2}$$

Donde ea =presión de vapor de saturación a la temperatura T (kPa).

Flujo térmico del suelo (G): Generalmente ≈ 0

Constante Psicrométrica (γ):

$$\gamma = \frac{C_p * P}{\epsilon * \lambda} * 10^{-3} = 0,00163 \frac{P}{\lambda}$$

Donde P =Presión atmosférica (kPa), λ =Calor latente (MJ/kg), c_p : Calor específico del aire húmedo = 1,013 [kJ/ (kg °C)], ϵ : Relación peso molecular aire húmedo/aire seco = 0,622

Velocidad del viento medida a 2 m de altura (U_2): Este dato no se encuentra disponible en la estación meteorológica consultada, por lo que se asumió una velocidad constante de 2 m/s.

Déficit de presión de vapor ($e_a - e_d$):

$$e_a = 0,611 \exp\left(\frac{17,27 * T}{T + 237,3}\right)$$

$$e_d = \frac{1}{2}(e_a T \text{ min}) * \frac{RH \text{ max}}{100} + \frac{1}{2}(e_a T \text{ max}) * \frac{RH \text{ min}}{100}$$

Donde RH = Porcentaje de humedad relativa (%).

Los datos fueron obtenidos desde la misma estación meteorológica “Vivero CONAF, Illapel”, y una vez lista la evapotranspiración de referencia, se estimaron las pérdidas totales por evapotranspiración, entre producto de esta última y el área de cultivo modelo.

4.3.2.2. *Pérdidas por evapotranspiración en superficies de cultivo presentes en la subcuenca en estudio.*

La superficie de cultivo se extrajo desde el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), el cual entrega la información proveniente de estudios de Uso y Manejo Actual de suelos, el Catastro Frutícola, y el Catastro Hortícola realizados por el mismo centro en la comuna Illapel (CIREN, 2021). Las pérdidas totales por evapotranspiración en la unidad de estudio se obtuvieron extrapolando los datos de la superficie modelo a la superficie de cultivo real.

4.3.3. Implementación de las tecnologías.

4.3.3.1. *Determinar el porcentaje de pérdidas por evaporación, infiltración y evapotranspiración, respecto al caudal autorizado para riego.*

Una vez calculadas las pérdidas totales por infiltración, evaporación y evapotranspiración se determinó el porcentaje que representa cada una de estas variables, respecto al caudal total autorizado.

4.3.3.2. *Implementación de las tecnologías en los tranques acumuladores.*

Se consideraron los porcentajes de **agua recuperada**² (por evaporación e infiltración) que dictan los fabricantes, distribuidores, estudios y proyectos de las tecnologías aplicadas, para posteriormente determinar el porcentaje de agua recuperada por la implementación de estas respecto al caudal total autorizado.

4.3.3.3. *Implementación de la tecnología en cultivo.*

Se consideraron los porcentajes de agua recuperada (por evapotranspiración) de diferentes estudios que analizan la implementación de la tecnología, para luego determinar el porcentaje de agua recuperada respecto al caudal total autorizado.

4.3.3.4. *Porcentaje total de agua recuperada posterior a la implementación de las tecnologías en tranques acumuladores de riego y en cultivos.*

Para obtener el balance global de pérdidas de agua antes y después de la implementación de las tecnologías, se unieron los datos obtenidos en los puntos anteriores y se compararon con el caudal autorizado. Los resultados de este punto se entregaron en tablas y gráficos que sintetizan los resultados y priorizan aquellos datos requeridos para capítulos posteriores.

4.3.3.5. *Comparación de los resultados obtenidos con el caudal disponible.*

Se consultaron los datos disponibles de la información oficial hidrometeorológica de los caudales medios mensuales en la estación que se encuentra posterior al embalse El Bato denominada “Río Illapel en Huintil”, esta estación mide los caudales entregados por la Junta

2. Agua Recuperada: Agua que producto de la implementación de las tecnologías, ya no es parte de las pérdidas por evapotranspiración, infiltración o evaporación (Definición propia).

de Vigilancia a los regantes de la subcuenca, ya que se encuentra anterior a la bocatoma del canal Nueva Cocinera. Los caudales medios se compararon con el caudal total autorizado para riego y las pérdidas con y sin la implementación de las tecnologías.

4.3.4. Balance de las pérdidas y agua recuperada a lo largo del proyecto. Para obtener el balance de las pérdidas y el agua recuperada, se estableció una tasa de degradación de las tecnologías, y con esta se determinó los nuevos caudales y se promediaron anualmente hasta completar la duración establecida del proyecto.

4.4. Evaluar ambiental y económicamente la implementación de las tecnologías en la unidad de estudio.

Para evaluar ambientalmente la implementación de las tecnologías, se estimó el índice que escasez hídrica que relaciona la oferta y la demanda de agua, para ello se utilizó la revista “Radiografía del agua en Chile” que define conceptos y la metodología para el cálculo del índice, y la revista “Transición Hídrica: El futuro del agua en Chile” que calcula el índice y profundiza en el análisis en seis cuencas hidrográficas a lo largo de todo el territorio nacional (Escenarios Hídricos, 2019), ambas revista de la iniciativa Escenarios Hídricos 2030.

4.4.1. Cálculo de índice de escasez hídrica.

A partir de la recopilación del balance hídrico en la subcuenca del río Illapel, se estimó el índice de escasez hídrica según la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de escasez hídrica} = \frac{\text{Demanda hídrica}}{\text{Oferta hídrica neta}} \times 100$$

Donde:

Demanda de agua: Volumen total de agua dulce extraída de fuentes, superficiales y/o subterráneas, por parte de diferentes usuarios en un espacio y tiempo determinado para producir bienes y servicios, que no retorna al ambiente de donde se extrajo.

Oferta neta de agua: Cantidad de agua que ofrece la fuente del recurso superficial y subterránea, considerando el mínimo disponible para efectos de mantener el caudal en período de estiaje.

Considerando el alcance de este proyecto, solo se pudo calcular la huella hídrica azul (HH azul), como aquella que representa en su totalidad la demanda de agua.

Para obtener la HH azul, se determinó el porcentaje de retorno de agua dependiendo del sector productivo. Para ello se supuso que el rubro “Bebida/ Uso Doméstico/Saneamiento” retorna el 90% del agua utilizada, este porcentaje se obtuvo extrapolando datos de las cuencas analizadas en la revista “Transición Hídrica: El futuro del agua en Chile”, del rubro “Energía hidroeléctrica” retorna el 100% por ser un tipo de derecho no consuntivo, mientras que “Minería” retorna 0% por ser un tipo consuntivo. Para determinar el porcentaje de retorno del rubro “Agricultura” se utilizó el informe “Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca de Choapa” en él, se encuentra tabulado el balance hídrico subterráneo entre el período de 1989-2019 de las subcuencas de la cuenca del Choapa. Para la subcuenca del río Illapel el balance subterráneo (entradas = salidas) indica que existe un porcentaje de retorno de un 39,5% considerando exclusivamente la recarga superficial.

La oferta neta consideró el caudal promedio en la estación “Las Burras” en el año 2016 para una excedencia de un 50%, según el informe “Diagnóstico para desarrollar un plan de riego en las cuencas del Choapa y Quilimarí”, que promedia datos de caudales mensuales entre el período 2005-2014, sumado al caudal disponible en el acuífero de Illapel establecido en el informe “Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca de Choapa” período 1989-2019. Como en el río Illapel no se ha establecido un mínimo de agua que debe quedar disponible para efectos de mantener el caudal mínimo del periodo de estiaje, para efectos de este trabajo, se consideró como el 10% del caudal superficial disponible.

4.4.1.1. Índice de escasez hídrica posterior a la Implementación de las tecnologías.

Se evaluó el índice de escasez hídrica posterior a la implementación de las tecnologías, para esto, se consideró la disminución del caudal autorizado para riego por el uso de las tecnologías. Se consideraron los mismos porcentajes de retorno de agua según rubro

productivo y se analizaron los resultados obtenidos para justificar las secciones posteriores de este proyecto.

4.4.2. Estimación de costos económicos.

Para poder estimar los costos económicos, en primer lugar, se determinó el costo total del caudal autorizado para los usuarios del sector agrícola de la subcuenca, para ello, se tomó como referencia los costos asociados a la producción de agua por m^3 a partir del proceso de desalación, y posteriormente se evaluó económicamente la implementación de las tecnologías considerando el mismo costo de la producción de agua.

4.4.2.1. *Egresos en la implementación de las tecnologías*

- Inversión Inicial

Se consideró la realización de una Inversión Inicial, compuesta por todos los componentes que forman parte de la implementación de las tecnologías en la subcuenca, tanto para aquellas que se instalaran en los tranques acumuladores, como también las que se implementaran en los cultivos, para esto, se utilizó los precios unitarios sin IVA de cada uno de los componentes, para finalmente estimar el costo para este ítem multiplicando dicho precio por la cantidad total determinada a instalar.

- Costos de Mantenimiento

Se determinaron los costos asociados al mantenimiento de la instalación, pero como no existe un porcentaje estándar que indique el costo de la mantención de las tecnologías en Chile, se consultaron varios informes de análisis económicos de tecnologías de riego, principalmente el denominado “Análisis económico comparado de dos tecnologías de riego: por aspersión y por goteo”. En este se indica que, a modo general, los costos de mantenimiento de los equipos bordean el 2% del valor del equipo sumado a aproximadamente un 20% de la mano de obra inicial requerida en la instalación. Por lo tanto, el resultado final de los costos de mantenimiento considera la suma de estos dos porcentajes aplicando el factor de corrección de la mano de obra, para cada nivel de calificación, de esta manera, se utilizó los precios sociales de mercado para reflejar el verdadero costo para la sociedad.

- Valor residual

Se supuso que el retiro de la mayor parte de la instalación de las tecnologías será por medio del proveedor, puesto que actualmente existe la Ley de Responsabilidad Extendida al Productor, por lo tanto, esto se realizaría pasados los 20 años y se determinó un valor residual de la inversión inicial con una depreciación acelerada.

4.4.2.2. Proyección de agua Recuperada

La proyección de agua recuperada disminuirá producto de la degradación de las tecnologías con los años, y su costo se determinó tomando de base los costos por desalar y producir agua de mar para fines agrícolas, ya que si bien, en la unidad de estudio no existen desaladoras que abastezcan de agua, esta podría ser una realidad en un plazo no muy lejano.

4.4.2.3. Balance económico a lo largo del proyecto.

Mediante la realización de un flujo de caja se obtuvo la evaluación económica del proyecto, el cual incluyó todos los egresos proyectados en el período establecido. En los egresos se incluyeron los costos de la inversión inicial, el mantenimiento y la compra de agua para satisfacer la totalidad de los DAA otorgados a los usuarios.

- Valor Actual Neto Social (VANS)

Se estimó el VANS del proyecto para determinar el impacto que generaría su ejecución sobre la economía nacional, para esto, se utilizó la tasa de descuento para proyectos sociales que dicta el Ministerio de Desarrollo Social y Familia, además los costos de inversión consideran los precios del mercado sin IVA, para reflejar el verdadero costo de oportunidad de los bienes para la sociedad.

5. Resultados

5.1. Cuantificar el caudal destinado a la actividad agrícola en la subcuenca del río Illapel.

5.1.1. Determinar la demanda del uso del agua, para los distintos sectores económicos de la subcuenca.

Mediante la información disponible en la página web de la DGA se obtuvo el Catastro Público de Aguas en un inventario formato Excel de los DAA pertenecientes a la subcuenca del Río Illapel (Anexo N°1), este inventario cuenta con el número de usuarios y el caudal autorizado para cada uno de ellos, en conjunto con la resolución que lo autoriza e información complementaria.

La Tabla 5.1 resume aquellas columnas relevantes para el desarrollo de este proyecto.

Tabla 5.1: Número de usuarios, caudal autorizado, tipo de derecho, naturaleza del agua, clasificación de la fuente y ejercicio del derecho, de los rubros existentes en la subcuenca del río Illapel.

Rubro	N° de Usuarios	Caudal (l/s)	Tipo de derecho	Naturaleza del agua	Clasificación de la fuente	Ejercicio del derecho
Bebida/Uso Doméstico/ Saneamiento	18	125,28	Consuntivo	Superficial y subterránea	Rio/Estero, acuífero, Quebrada	Permanente y Continuo
Energía Hidroeléctrica	6	1.900,20	No consuntivo	Superficial	Rio/Estero	Eventual, permanente y continuo
Minería	6	3,86	Consuntivo	Superficial y subterránea	Quebrada y acuífero	Permanente y Continuo
Agricultura (riego)	44	1.770,11	Consuntivo	Superficial y subterránea	Rio/Estero y acuífero	Permanente y Continuo
Sin definir	232	1.142,38	Consuntivo y No Consuntivo	Superficial y subterránea	Rio/Estero, acuífero, Quebrada	Eventual, permanente y continuo

5.1.1.1. Analizar y complementar los resultados

Teniendo en cuenta los DAA presentes en el Catastro, un 81,8% pertenece a aguas subterráneas y 18,2% a aguas superficiales. Al explorar el “Observatorio Georreferenciado en Línea” de la DGA, se pueden encontrar la ubicación de estos derechos en la Subcuenca (Figura 5.1).

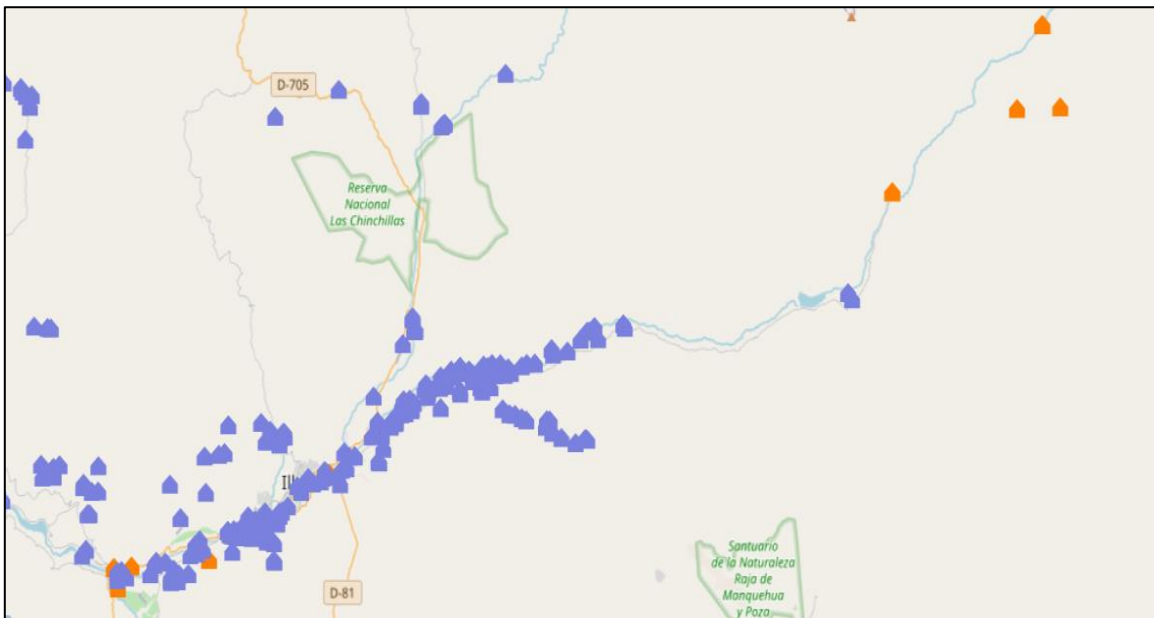


Figura 5.1: Localización de las extracciones autorizadas por la DGA, subterráneas (color azul), superficiales (color naranja). Fuente: (Observatorio Georreferenciado en Línea, DGA, 2021)

Al analizar el Catastro y el Observatorio, no se encontró información de los Usuarios pertenecientes a las Organizaciones de Usuarios de Aguas presentes en la subcuenca, por esta razón, se decidió complementar la información mediante recopilación bibliográfica de estas Organizaciones (CNR, 2004).

Al consultar el informe “Estudio Básico Diagnóstico para desarrollar Plan de Riego en Cuenca del Choapa y Quilimarí” de la CNR, se indica que el Canal Matriz “Nueva Cocinera” es el principal conductor de las aguas entregadas desde el embalse El Bato, y su caudal es regulado por la Junta de Vigilancia del Río Illapel y sus Afluentes. Este canal abastece de aguas a 26 canales de regadío que se desarrollan por ambas riberas del río Illapel (Figura 5.2) y beneficia a un total de 577 usuarios (CNR, 2004), tiene un desarrollo de 25,1 km, e

inicia aguas arriba de la actual toma del canal Cocinera (antiguo) y se desarrolla en forma paralela a éste, hasta aproximadamente la Quebrada Los lavaderos frente a la ciudad de Illapel. Sus aguas son captadas en una bocatoma rústica y beneficia una superficie total de riego de 3.452 hás (CNR, 2016), además cabe señalar que se encuentra revestido en hormigón y su caudal se detalla en la Tabla 5.2.

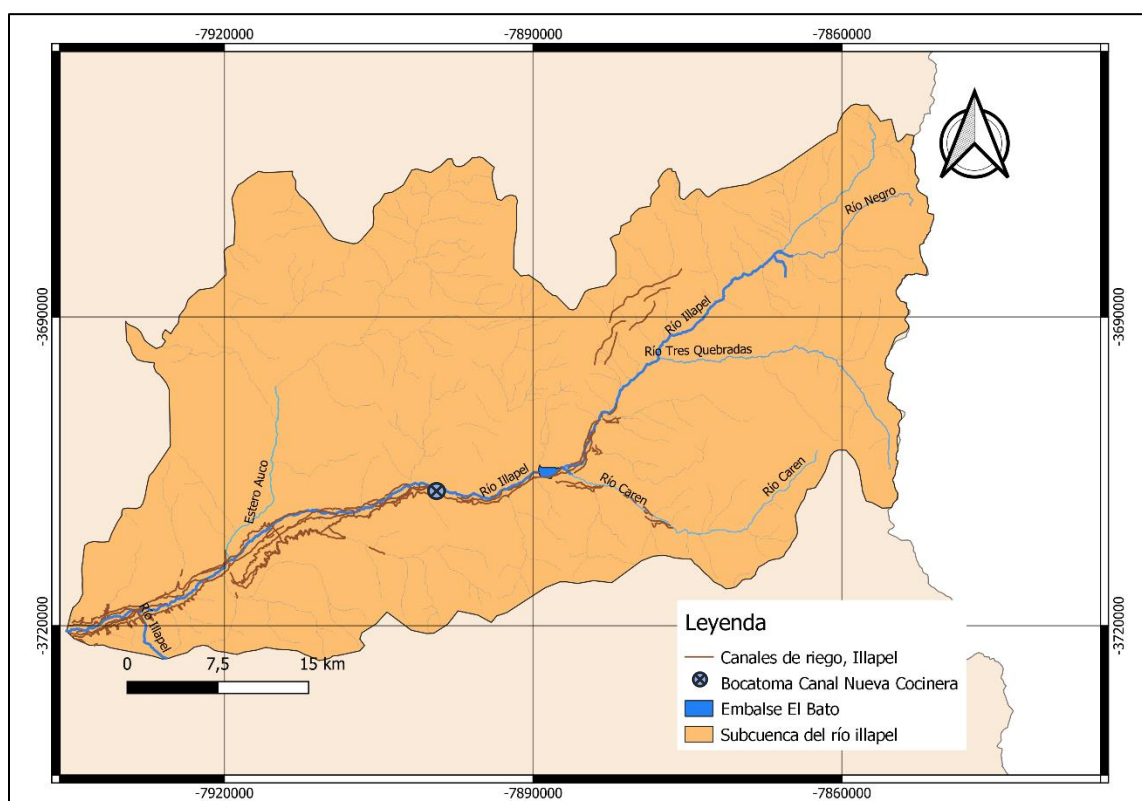


Figura 5.2: Canales de riego presentes en la subcuenca y punto de la actual bocatoma canal Nueva Cocinera.

Tabla 5.2: Caudal autorizado, tipo de derecho, naturaleza del agua, clasificación de la fuente y ejercicio del derecho, del canal matriz Nueva Cocinera.

Nombre	Nº de usuarios	Caudal total (l/s)	Tipo de derecho	Naturaleza del agua	Clasificación de la fuente	Ejercicio del derecho
Canal Matriz nueva cocinera	577	2.900	Consuntivo	Superficial	Río	Permanente y continuo

5.1.2. Clasificación de usuarios y determinación de grupos significativos.

Según la información presentada en el numeral anterior, se puede considerar que el total del caudal autorizado para el canal matriz Nueva Cocinera se destina exclusivamente para el riego (sector agrícola), de esta manera, la Tabla 5.3 resume los caudales asociados a distintos sectores económicos, mientras que la Figura 5.3 grafica los porcentajes para cada uno de ellos.

Tabla 5.3: Caudales totales de los distintos sectores económicos.

Rubro	Caudal (l/s)
Bebida/Usa Doméstico/Saneamiento	125,28
Energía hidroeléctrica	1.900,20
Minería	3,86
Agricultura (riego)	4.670,11
Sin definir	1.142,38

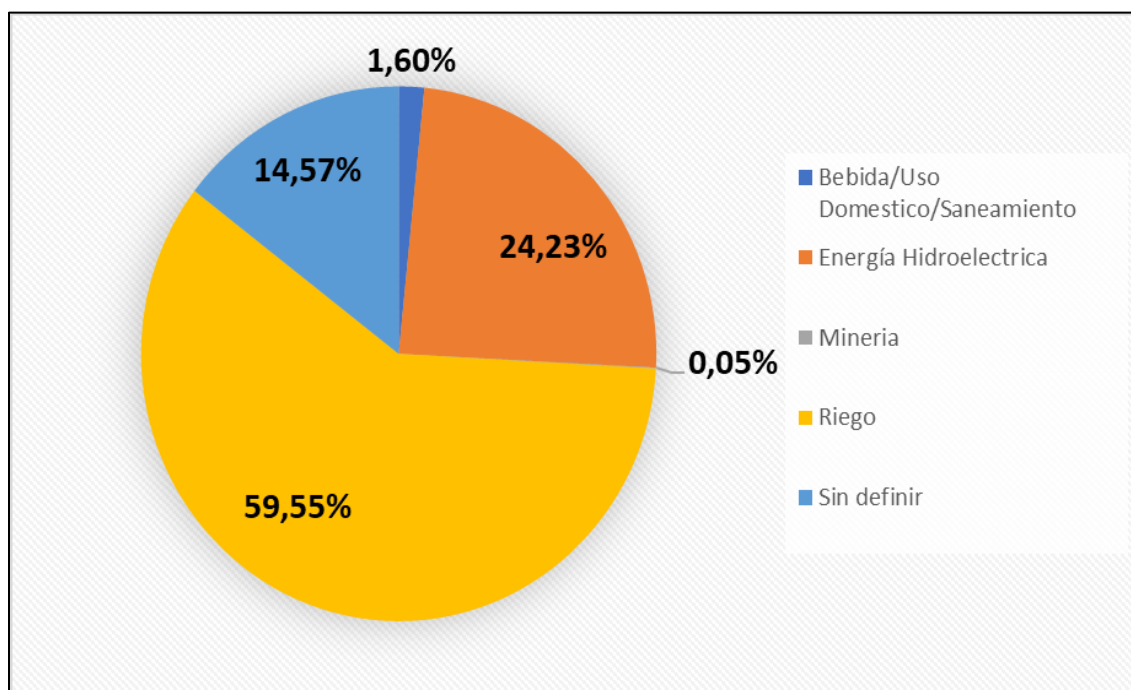


Figura 5.3: Porcentajes del caudal destinado a distintos sectores económicos.

Como se puede observar, existe un caudal de 1.142,38 l/s que no se encuentra asociado a ningún rubro en específico, por esta razón y para facilitar el análisis de este estudio, se analizaron dos formas distintas:

- Escenario N°1: Como un caudal sin rubro específico.
- Escenario N°2: Considerarlo como parte del sector agrícola.

Ambos escenarios serán parte de los siguientes objetivos, análisis y cuantificaciones.

De esta manera, la Tabla 5.4 y la Figura 5.4 resumen el Escenario N°2

Tabla 5.4: Caudales totales de los distintos rubros, asumiendo la fracción “sin definir” como parte del sector agrícola.

Rubro	Caudal (l/s)
Bebida/ Uso Doméstico/Saneamiento	125,28
Energía hidroeléctrica	1900,20
Minería	3,86
Agricultura (riego)	5812,49

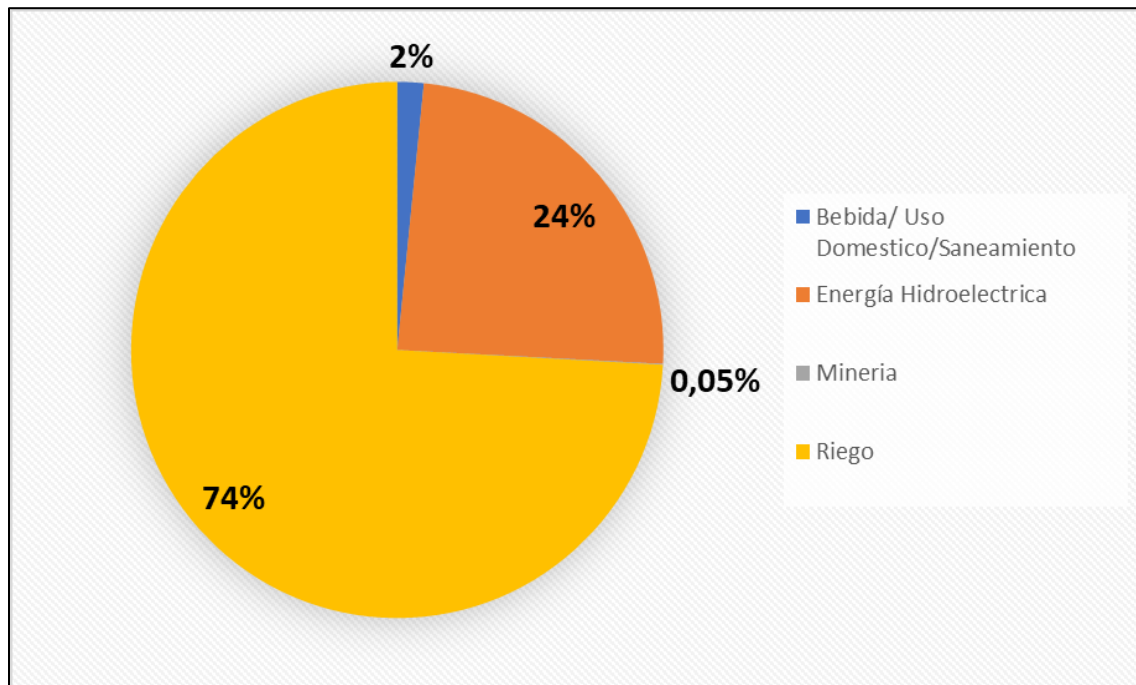


Figura 5.4: Porcentajes del caudal destinado a distintos rubros, asumiendo la fracción “sin definir” como parte del sector agrícola.

Según las tablas y gráficos anteriores, la agricultura (riego) es el mayor consumidor de agua de la subcuenca del Río Illapel con más del 50% del caudal total autorizado para su extracción y uso. La bebida, uso doméstico y saneamiento ocupa el tercer lugar con solo un

2%, mientras que la minería solo representa una fracción del 0,05% del total, por esta razón, es difícil observar su fracción en los gráficos presentados.

Si bien el rubo de hidroelectricidad es uno de los mayores usuarios con un porcentaje de un 24% aproximadamente, éste no forma parte de los análisis posteriores de este estudio, por ser un tipo de derecho “no consuntivo”, es decir, emplea el agua sin consumirla y la devuelve al cauce natural en la misma calidad, cantidad y oportunidad.

5.2. Seleccionar aquellas tecnologías que pueden ser aplicadas por los usuarios de agua en la subcuenca en estudio.

Existen diversas estrategias que permiten optimizar el consumo de agua del sector agrícola de una cuenca o subcuenca, principalmente a través de cambios e inversiones en diferentes tecnologías e innovación en los sistemas de riego, es por lo que se detallan a continuación estrategias que aportan a la reducción del consumo de agua del sector agrícola.

5.2.1.1. Revisión Bibliográfica

Las tecnologías descritas en el desarrollo de este proyecto tienen dos enfoques, por un lado, se encuentran aquellas que disminuyen las pérdidas por evaporación y evapotranspiración (asociadas a los sistemas de riego o de almacenamiento de agua) y, por otro lado, aquellas que reducen las pérdidas por infiltración. En la Tabla 5.5 se enlistan cada una de ellas, con los elementos que permitieron su selección.

Tabla 5.5: Tecnologías factibles de implementar.

Tecnología	Disminución en pérdidas por: Evaporación, evapotranspiración o infiltración	Factibilidad tecnológica			
		Venta y distribución	Despacho y servicios de post venta	Mano de obra capacitada	Liberación de impuestos y/o préstamos del estado
Esferas de Polietileno	Evaporación	✓	✓	X	X
Retenedores de agua biodegradable	Infiltración	✓	✓	X	X
Microirrigación subterránea	Evapotranspiración	✓	✓	✓	✓
Paneles solares flotantes	Evaporación	✓	✓	✓	X

Fertirrigación subterránea por microirrigación	Evapotranspiración	✓	✓	✓	-
Mulch plástico	Evaporación	✓	✓	X	✓
Mulch orgánico	Evaporación	✓	✓	X	X
Geomembrana en tranques acumuladores	Infiltración	✓	✓	✓	✓

Las tecnologías fueron seleccionadas luego de analizar su factibilidad nacional y local, ya que, si bien existe una amplia gama, no todas pueden implementarse en la unidad de estudio, tanto por la falta de elementos técnicos que permitan el funcionamiento y/o mantenimiento de la tecnología en el tiempo, como también, los elevados costos que significa la implementación de estas, considerando que el mayor número de usuarios del sector agrícola cuentan con explotaciones silvoagropecuarias inferiores a 5 hectáreas.

La presentación de las tecnologías se realizó por medio de fichas técnicas que sintetizaron los principales elementos de éstas, así como también, su factibilidad tecnológica nacional y local. De esta manera, se facilitó su comprensión y resultó visualmente más atractiva para su análisis.

5.2.2. Presentación de fichas técnicas

Esferas de polietileno de alta densidad (HDPE)

CARACTERISTICAS

Esferas de color negro diseñadas para flotar en superficies líquidas (como se observa en la Figura 5.5) cada una pesa 530 gramos y tienen un diámetro de 127 milímetros, están rellenas de agua potable, lo cual le impide que sean arrastradas por el viento.

Cuentan con una vida útil de alrededor de 20 años.

Materiales

Polietileno de alta densidad 100% recuperado, al cual se le añaden aditivos estabilizadores, y anticorrosivos para prevenir los efectos de la radiación UV y la formación de algas.



Figura 5.5: Esferas de polietileno flotando sobre tranque acumulador agrícola. Proyecto realizado en Viña Concha y Toro – Casablanca, por empresa Exma. (Fuente: https://www.barrierball.cl/proyectos_detalle28)

Su aplicación puede ser en tranques de riego, purines, tratamiento de RILES, estanques de agua potable y de productos químicos.

Mientras que sus principales beneficios son:

- ✓ Reduce la evaporación
- ✓ Elimina las algas
- ✓ Protege la fauna
- ✓ Reduce la emanación de olores
- ✓ Reduce la formación de hielo
- ✓ Ahorro productos químicos



Al ser un sistema de cubierta flotante y permeable para masas líquidas, actúa como un tapón que disminuye el intercambio de masa y calor entre el líquido y el ambiente, **reduciendo la pérdida de evaporación hasta en un 80%.**

FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA

Es una tecnología poco masificada a nivel nacional, por ende, son limitadas las empresas que venden y distribuyen las esferas de polietileno, estas en su mayoría se encuentran en la región Metropolitana y no cuentan con canales de distribución directos ni indirectos, así como tampoco prestan servicios de mantenimiento, capacitaciones o seguimiento, ya que no requiere mano de obra calificada.

Su costo bordea los \$10.500 por m² (120 unidades aproximadamente).

Referencias

- https://www.barrierball.cl/cubierta_flotante_barrierball
- <https://www.enqueinvertir.cl/desde-reducir-la-evaporacion-hasta-proteger-la-fauna-es-el-resultado-de-estas-esferas/>
- <http://impresa.elmercurio.com/mermobileiphone//Pages/NewsDetailMobile.aspx?dt=2017-02-15&PaginaID=7&SupplementId=0&BodyID=3&IsNPHR=0&Anchor>
- <https://www.lorenzini.cl/mineria/esferas-cobertoras/esferas-cobertoras/esferas-cobertoras.php>

Retenedores de agua biodegradable

CARACTERÍSTICAS

Polímero biodegradable en estado gel diseñado para retener agua, su uso mezclado con tierra o en un sustrato mejora las condiciones de aireación y almacenaje de agua, acrecentando la disponibilidad hídrica para las raíces de las plantas.

Su aplicación puede ser en seco o hidratado, ambas formas se pueden observar en la Figura 5.6 .

Cuentan con una vida útil de entre 5 a 7 años.

Materiales

Existen distintas composiciones, algunas son:

- Poliacrilato de Potasio.
- Poliacrilamida.
- Poliacrilato de sodio.



Figura 5.6: Aplicación de retenedor de agua en seco (superior) o hidratado (inferior). Fuente: <http://www.velezblanco.cl/>

Su aplicación puede ser en cultivos agrícolas, viveros y en plantaciones forestales.

Mientras que sus principales beneficios son:

- ✓ Reduce la necesidad de riego
- ✓ Optimiza la fertilización
- ✓ Mejora la tasa de germinación
- ✓ Mejora la aireación y calidad del suelo
- ✓ Mejora la calidad de las plantas



Esta sustancia gelatinosa llamada HIDROGEL, es capaz de almacenar hasta 400 veces su tamaño en agua, **reduciendo en un 60% las pérdidas por infiltración**, ya que la encapsula, retiene y entrega a la planta a medida que esta la requiera.

El rendimiento variará según la altura de la planta, yendo desde los 25 g para arbustos de 50 cm, hasta los 150 g para arboles mayores o iguales a 3 m, mientras que para hortalizas rinde entre 5 g a 10 g por m².

FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA

La mayor parte de las empresas que venden y distribuyen retenedores de agua biodegradable a nivel nacional, se encuentran en la región Metropolitana, pero cuentan con canales de distribución directa de despacho y envío a regiones.

Al ser una tecnología de fácil uso e instalación, no requiere mano de obra calificada, por lo que las empresas distribuidoras no ofrecen servicios de capacitación, seguimiento o mantenimiento.

Su costo es: \$12.000 por kg.

Referencias

- <https://www.projar.es/productos/productos-jardinaria-urbanismo/productos-plantaciones-forestales/retenedores-de-agua-productos-plantaciones-forestales/hidrogel-retenedor-de-agua-stockosorb/>
- http://www.velezblanco.cl/fichas/MODO_APLICACION_AQUAVIVA.pdf
- http://www.velezblanco.cl/fichas/FICHA_TECNICA_AQUAVIVA.pdf

Microirrigación subterránea

CARACTERÍSTICAS

Es una técnica de irrigación, que permite el aporte de agua y nutrientes al suelo de forma localizada y bajo la superficie (como se observa en la Figura 5.7), el cual optimiza y condiciona el crecimiento de las raíces y el patrón de desarrollo de la planta. Su vida útil es superior a 20 años.

Materiales

Los materiales utilizados en un sistema de riego por goteo subterráneo son los mismos que se emplean en un sistema tradicional de goteo (Tuberías de Polietileno de alta densidad (HDPE), con goteros autocompensante), por lo tanto, la venta de estos es de fácil obtención, sin embargo, su instalación es más compleja ya que requiere un movimiento de tierra importante y mano de obra especializada.



Figura 5.7: Instalación de un sistema de riego por goteo subterráneo. Fuente:

<https://www.universidadderiego.com/ventajas-del-riego-por-goteo-subterraneo-subterraneo/>

Su aplicación puede ser en cultivos leñosos, hortalizas y en plantaciones forestales.

Mientras que sus principales beneficios son:

- ✓ Ahorro y mejora de la irrigación
- ✓ Reducción del estrés hídrico del cultivo
- ✓ Menor presencia y desarrollo de malas hierbas
- ✓ Nula exposición a la radiación solar incidente
- ✓ Reducción de los daños ocasionados por animales



Al utilizar tuberías enterradas entre 10 y 50 cm de profundidad que aplican el agua mediante riegos pequeños y de alta frecuencia, se reduce en un **14 % las pérdidas por evapotranspiración**, al no recibir la radiación solar incidente de forma directa.

El rendimiento dependerá del caudal de los goteros autocompensante, los cuales van desde los 0,5 l/h a 8 l/h, dependiendo del tipo y edad del cultivo.

FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA

Como los materiales empleados son los mismo que se usan en un sistema de riego por goteo tradicional, la disponibilidad de éstos es habitual en la mayoría de las ferreterías o tiendas asociadas a la venta de productos agrícolas. A nivel comunal, existen 4 empresas (3 ferreterías y 1 tienda) que distribuyen los materiales necesarios. Sin embargo, para su instalación se requiere mano de obra capacitada, por lo que se recomienda contactar servicios adicionales de capacitación, seguimiento y mantenimiento.

Su costo bordea los \$3.450.00 por hectárea.

Referencias

- <https://www.iagua.es/blogs/iriego/riego-agricola-goteo-subterraneo>
- <https://www.incoriego.cl/proyectos/riego-subterraneo-chile.php>
- <https://www.solucioneshidraulicas.es/riego-por-goteo-subterraneo/>
- <https://www.universidadderiego.com/riego-por-goteo-subterraneo-rgs-i-descripcion-general-del-metodo-de-riego/>

Paneles solares flotantes

CARACTERISTICAS

Consiste en la instalación de paneles fotovoltaicos sobre tranques acumuladores de agua (Figura 5.8), de esta manera se genera energía limpia para sustentar el predio, y se reduce tanto la pérdida de agua por evaporación, como también la cantidad de algas y microorganismos.

La vida útil bordea los 25 años.

Materiales

- Pontón (Estructura metálica y un flotador que permite la instalación del módulo solar).
- Sistema de amarre.
- Módulos solares fotovoltaicos.
- Cable submarino (Permite transferir la energía generada a la subestación eléctrica).



Figura 5.8: Planta solar flotante desarrollado por la empresa Solarity en la comuna de Putaendo, Chile.

Fuente: <https://www.revistaei.cl/2020/09/11/se-inauguro-la-planta-solar-flotante-mas-grande-de-chile-con-456-paneles-fotovoltaicos/>

Su aplicación puede ser en tranques de riego, purines, estanques de agua potable y de productos químicos. Mientras que sus principales beneficios son:

- ✓ Genera energía limpia
- ✓ Reduce la evaporación
- ✓ Elimina las algas
- ✓ Protege la fauna
- ✓ Reduce la emanación de olores



Una vez instalados los paneles solares sobre los flotadores, son capaces de captar la luz solar que reciben de forma directa y la de rebote, para generar energía eléctrica.

Al instalarse sobre el agua se produce una sombra directa, la cual **reduce hasta en un 85% la evaporación.**

El rendimiento dependerá del área total que se desea cubrir y la incidencia solar del territorio.

FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA

Para la implementación de esta tecnología las empresas prestan servicios adicionales de estudios de factibilidad, instalación y seguimiento a los usuarios finales, ya que, al ser innovadora y compleja, su uso requiere de mano de obra calificada con conocimientos técnicos.

A nivel nacional la mayor parte de estas empresas se encuentran en la región Metropolitana, pero con alcance nacional a través de canales de distribución directa, de despacho e instalación.

Su costo bordea los \$23.500 por m².

Referencias

- <https://acera.cl/plantas-fotovoltaicas-flotantes-fpv-una-tecnologia-en-alza-que-iluminara-nuestro-futuro/>
- <https://www.cambioenergetico.com/blog/plantas-fotovoltaicas-flotantes/>
- <https://www.redagricola.com/cl/tecnologias-que-permiten-mitigar-las-mermas-de-agua/>
- <https://www.revistaei.cl/2020/09/11/se-inauguro-la-planta-solar-flotante-mas-grande-de-chile-con-456-paneles-fotovoltaicos/>

Fertirrigación subterránea por microirrigación

CARACTERÍSTICAS

Permite la aplicación simultánea de agua y fertilizantes a través del sistema de riego por goteo subterráneo (Figura 5.9), maximizando los rendimientos tanto hídricos como de fertilizantes (en especial aquellos minerales poco móviles en el suelo como el K y el P), además se reduce la contaminación ambiental.

El uso de esta técnica disminuye los costos de mano de obra y equipos (asociados a los métodos tradicionales). Su vida útil bordea los 20 años.

Materiales

- Sistema de riego subterráneo (Sección 5.2.3)
- Un filtro que prevenga el taponamiento de los emisores por partículas sólidas que puedan llegar al emisor.
- Válvulas de limpieza y retención.
- Fertilizante soluble en agua y no corrosivo.



Figura 5.9: Sistema de riego subterráneo con adaptaciones para su utilización en fertirrigación.

Fuente: <https://saleplas.com/riego-por-goteo-subterraneo-rgs>

Su aplicación puede ser en cultivos leñosos, extensivos y hortalizas, mientras que sus principales beneficios son:

- ✓ Mejora en el proceso de aplicación de fertilizantes
- ✓ Protege de los daños ocasionados por animales
- ✓ Aumento de la producción y de la calidad del cultivo
- ✓ Mayor aprovechamiento de suelos y agua de mala calidad.
- ✓ Reduce la humedad superficial



Al igual que lo visto en la sección 5.2.3. se instalan tuberías subterráneas entre 10 a 50 cm, que aplican el agua con nutrientes en riegos de alta frecuencia, **reduciendo en un 14% las pérdidas por evapotranspiración**, y mejorando la fertilización con eficiencias en torno al 80-85% para algunos nutrientes.

El rendimiento dependerá del caudal de los goteros autocompensante: 1,4 – 2,2 – 3,8 l/h, dependiendo del tipo y edad del cultivo.

FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA

Los materiales empleados son de fácil obtención y la mayoría puede encontrarse en tiendas asociadas a la venta de productos agrícolas o ferreterías. A nivel comunal, existen 4 empresas (3 ferreterías y 1 tienda) que distribuyen estos materiales, sin embargo, para su instalación y/o uso se requiere mano de obra capacitada, por lo que se recomienda contactar servicios adicionales de capacitación, seguimiento y mantenimiento.

Su costo bordea los \$4.200.00 por hectárea.

Referencias

- <https://azud.com/aplicacion/agricultura/cultivos/riego-por-goteo-subterraneo/>
- https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2012_ifa_fertigation_spanish.pdf
- <https://www.netafim.cl/riego-de-precision/precision-fertigation/f>
- https://nutricontrol.com/es/beneficios_fertirrigacion/

Mulch plástico

CARACTERISTICAS

Es una cubierta plástica que se extiende sobre el suelo (Figura 5.10) y que constituye una barrera efectiva en la transferencia de calor y de vapor de agua, afectando directamente al microclima alrededor de la planta, así como a otros parámetros como la humedad, la temperatura, la rugosidad, entre otros.

El acolchado plástico de color negro es el estándar de la industria, pero existe distintas composiciones y colores, con diferentes propiedades ópticas que afectan al modo en el que el acolchado plástico modifica el microclima alrededor del cultivo. Su durabilidad aproximada es de 10 años.

Materiales

Existen distintas composiciones de polietileno que le da un color característico.

-Negro, gris, café, transparente, etc.



Figura 5.10: Acolchado de polietileno instalado en una plantación de cítricos. Fuente: <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos>

Su aplicación puede ser en cultivos leñosos, extensivos, hortalizas e invernaderos. Mientras que sus principales beneficios son:

- ✓ Disminuye las fluctuaciones de temperatura del suelo
- ✓ Ahorro del uso de fertilizantes
- ✓ Anticipo de la fecha de siembra.
- ✓ Mejora los aspectos sanitarios del fruto
- ✓ Reduce la presencia de plantas adventicias y plagas
- ✓ Control de erosión



Los acolchados plásticos reducen la superficie de evaporación del suelo y conservan la humedad de este, lo que favorece el crecimiento de los cultivos, sin embargo, el mayor tiempo de retención de humedad ocurre con el acolchado de color negro. Aunque este último se recomienda en cultivos sensibles al frío (que requieren calor), ya que tiene la propiedad de absorber la mayor parte de la radiación UV. Los acolchados de plásticos claros absorben poca radiación solar, por lo tanto, se utilizan en cultivos sensibles al calor.

El análisis de variados estudios demuestra que estas cubiertas **disminuyen entre un 32 a un 55% las pérdidas por evaporación.**

FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA

La venta de estas cubiertas plásticas es habitual en ferreterías y tiendas de productos agrícolas. A nivel comunal, existen 4 empresas (3 ferreterías y 1 tienda agrícola) que venden y distribuyen este tipo de acolchados, con canales de distribución directa, sin embargo, no presentan servicios adicionales, de seguimiento ni mantenimiento, ya que por lo general su instalación no requiere mano de obra calificada.

Su costo bordea los \$20.500 para 40 m².

Referencias

- <https://agronomosudg.com/2020/05/02/los-acolchados-plasticos-agricolas/>
- <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/157298-Acolchado-o-mulching-en-citricos-ventajas-para-el-cultivo-instalacion-y-manejo.html>
- <https://www.novagric.com/es/blog/articulos/beneficios-cubiertas-plasticas-acolchado>
- <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/130924/Twz1de1.pdf?sequence=2>

Mulch orgánicos

CARACTERISTICAS

Consiste en una capa a base de materiales orgánicos que se coloca sobre la superficie del sustrato (Figura 5.11), y sirve como protectora para la actividad simbiótica y un excelente aislante térmico que regula la temperatura del suelo.

Como es generalmente una cubierta gruesa, aumenta la retención de agua, lo que resulta en una mayor disponibilidad de agua para el cultivo y una menor evaporación. Su duración es variable y dependerá del tipo de material, pudiendo ir desde 3-4 meses hasta alrededor de 4 años.

Materiales

Larga duración

-Astillas de madera, arbustos triturados, otros.

Corta duración

-Fibra vegetal, compost no maduro, cáñamo y lino, grama seca, otros.



Figura 5.11: Acolchado de grama seca (paja), en cultivo de hortalizas. Fuente: <http://hidroponia.mx/como-hacer-mulch-en-casa-de-manera-facil-y-rapida/>

Su aplicación puede ser en cultivos leñosos, extensivos, hortalizas e invernaderos. Mientras que sus principales beneficios son:

- ✓ Prevenir el crecimiento de malezas
- ✓ Conservar la humedad en el suelo
- ✓ Refrescar la superficie del suelo y estabilizar su temperatura
- ✓ Reducir el levantamiento de raíces.
- ✓ Agregar materia orgánica al suelo, siendo más fértil.
- ✓ Reduce el riesgo de enfermedades para la planta.



El acolchado debe aplicarse a finales de primavera, para conservar la humedad acumulada tras las lluvias invernales, y/o también es aconsejable en otoño, antes de la llegada de las heladas, para proteger las raíces y evitar que se congelen causando la muerte de la planta. Lo recomendable es que la capa no sea menor de 8 cm, ni exceda los 15 cm, dependiendo de las cercanía o lejanía de las lluvias.

El uso de este tipo de **acolchados reduce alrededor en un 35% las pérdidas por evaporación**, dependiendo de factores físicos y climáticos.

FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA

La mayor parte de los materiales de corta duración pueden encontrarse fácilmente, incluso algunos se pueden generar en los hogares como el compost no maduro. Para los de larga duración, existen empresas distribuidoras que ofrecen sus productos de forma online o en tiendas, principalmente en la región Metropolitana, pero con canales de distribución indirectos, sin embargo, estas empresas no ofrecen servicios de seguimiento ni mantenimiento, ya que al ser una herramienta de fácil instalación no requiere de mano de obra calificada.

Su precio bordea los \$10.000 por kg.

Referencias

- <https://blog.gardencenterejea.com/mulching-beneficios-espacios-verdes/>
- <https://estoesagricultura.com/acolchado-mulching/>
- <https://www.solabiol.com/es/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-el-mulching>
- <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/130924/Twz1de1.pdf?sequence=2>

Sensores de humedad para riegos programados

CARACTERISTICAS

Instrumento utilizado para medir la humedad, es decir, el contenido volumétrico de agua (Figura 5.12) en la zona radicular de las plantas, estas mediciones pueden realizarse a diferentes profundidades dependiendo la edad de la planta y el tipo de cultivo.

Cuando la sonda detecta que el suelo ha alcanzado el nivel de humedad deseado, se cerrará el riego programado, evitando el exceso de riego, mientras que en caso contrario, cuando exista falta de humedad, activará el riego.

Su vida útil es entre 5 a 7 años.

Materiales

-Sonda inserta en el suelo.

-Módulo electrónico que se comunica con la sonda y el programador de riego



Figura 5.12: Módulo electrónico de un sensor de humedad instalado en un cultivo de hortalizas. Fuente: <https://www.redagricola.com/cl/sondas-sensores-humedad-riego-precision-eficiente-sostenible/>

Su aplicación puede ser en cultivos leñosos, extensivos y hortalizas. Mientras que sus principales beneficios son:

- ✓ Ejecutar y modificar estrategias de riego de manera oportuna
- ✓ Reducción del estrés hídrico del cultivo.
- ✓ Menor presencia y desarrollo de malas hierbas.
- ✓ Optimización de tiempo y recursos.
- ✓ Previene desperdicios hídricos.



Para instalar la sonda se debe seleccionar un lugar representativo del terreno y a una profundidad adecuada de la raíz, posteriormente se realiza una calibración en cuanto al tipo de suelo, salinidad y temperatura. Para poder cerrar el riego programado se establece un valor objetivo de humedad, que debe encontrarse entre el **punto de marchitez**³ y la **capacidad máxima de campo**⁴. El uso de estos sensores de humedad **ahorra hasta un 40% de agua**, al evitar pérdidas por **infiltración y evaporación**.

FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA

Si bien es una tecnología que lleva varios años implementándose a nivel nacional, principalmente en regiones del centro-sur, a nivel subcuenca de Illapel no existen distribuidores, puesto que la mayor parte de estos se encuentran en la región Metropolitana. Estas empresas por lo general tienen canales de distribución indirecta y algunas efectúan seguimiento a los proyectos realizados por sus clientes, para obtener información y prestar asesorías en el uso de los recursos, calidad y producción, así como también, servicios de mantenimiento en caso de ser necesario, ya que requiere mano de obra calificada. Su precio bordea los \$200.000 por equipo.

Referencias

- <https://agroprecision.cl/productos/sensores-de-humedad>
- https://www.hunterindustries.com/sites/default/files/ss_soil-clik_es.pdf
- <https://www.maherelectronica.com/programacion-de-riegos-sensores-humedad/>
- <http://riograndewater.org/media/1080/e-618s-irrigation-monitoring-with-soil-water-sensors-spanish-version.pdf>

3. Punto de marchitez: Contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo (FAO, 2021).

4.Capacidad máxima de campo: Cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje (FAO, 2021).

Recubrimiento con geomembrana

CARACTERÍSTICAS

Las geomembranas son láminas formuladas para determinados usos, cuyas principales características son, su baja permeabilidad, flexibilidad y una alta resistencia. La principal aplicación es la impermeabilización y/o contención de líquidos evitando que no se filtren al subsuelo, como es el caso de la aplicación en tranques acumuladores (Figura 5.13) Su vida útil es de alrededor de 20 años.

Materiales

El HDPE es el material de uso más extendido por su alta resistencia, sin embargo, las geomembranas de LDPE son más flexibles y se acomodan de mejor forma a las irregulares del terreno. Es por esto que dependiendo de las características del proyecto, se determinará cual tipo de geomembrana es más conveniente.



Figura 5.13: Geomembrana instalada en tranque acumulador. Fuente:

<https://www.filmamerica.cl/productos/plasticos-agricolas/geomembrana.php>

Su aplicación puede ser en tranques de riego, revestimientos en canales de conducción de agua, lagos artificiales, lagunas de oxidación, entre otros. Mientras que sus principales beneficios son:

- ✓ Durabilidad y alta resistencia química.
- ✓ Resistencia a la rotura
- ✓ Costo menor en comparación con otros materiales.
- ✓ Alto grado de impermeabilización.



La instalación de la geomembrana es un proceso riguroso que debe cumplir con especificaciones técnicas, para evitar que las láminas pueden sufrir daños, ya que, en la mayoría de los casos, son producto de errores humanos. Debido a lo anterior, es aconsejable manipular y almacenar adecuadamente, además de una correcta preparación del subsuelo. Existen varios espesores comerciales desde 0.5mm hasta 3mm siendo los más comunes 0.75mm, 1.00mm y 1.5mm.

El uso de geomembranas permite disminuir en un **100% las pérdidas por infiltración**.

FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA

Por lo general la venta y distribución de geomembranas es frecuente, existiendo una amplia gama de empresas distribuidoras de esta tecnología. A nivel comunal, existen 4 empresas (3 ferreterías y 1 tienda agrícola) que las distribuyen, sin embargo, para su instalación se requiere mano de obra capacitada, siendo esta también accesible en la comuna.

Su costo bordea los \$2.250 por m² y la instalación alrededor de \$3.000 por m².

Referencias

- <http://geomembranasdelsur.com/blog/12-que-es-la-geomembrana-sus-usos-y-aplicaciones>
- <https://www.llaberiagroup.com/geomembranas-de-polietileno-usos-y-ventajas/>
- <https://grupogha.com/2020/12/09/instalacion-de-geomembranas-cual-es-la-forma-correcta-de-hacerlo/>
- <https://www.filmamerica.cl/productos/plasticos-agricolas/geomembrana.php>

5.2.3. Tabla resumen de tecnologías

5.2.3.1. Herramientas tecnológicas que pueden ser aplicadas en tranques acumuladores de agua.

Para facilitar la lectura de los datos, se asume la implementación de las tecnologías en:

- ✓ 1 tranque acumulador de agua de 1.000 m² (0,1 há)

Tabla 5.6: Resumen de tecnologías que pueden ser aplicadas en tranques acumuladores.

Nombre	Durabilidad	Costo (UF por 0,1 há)	% de ahorro de agua
Esferas de Polietileno	20 años	350	80% de evaporación
Paneles solares flotantes	25 años	750	85% de evaporación
Recubrimiento con geomembrana	20 años	75	100% de infiltración

5.2.3.2. Herramientas tecnológicas que pueden ser aplicadas en cultivos.

Para facilitar la lectura de los datos, se asume la implementación de las tecnologías en:

- ✓ 400 plantas sobre los 3 m de altura, que cubren un área de 1 há.

Tabla 5.7: Resumen de tecnologías que pueden ser aplicadas en cultivos.

Nombre	Durabilidad	Costo (UF por 1 há)	% de ahorro de agua
Retenedores de agua biodegradable	5-7 años	24	60% de infiltración
Microirrigación subterránea	20 años	115	14% de evapotranspiración
Fertiirrigación subterránea por microirrigación	20 años	140	14% de evapotranspiración
Mulch plástico	10 años	170	De 32 a 55% las pérdidas por evaporación.
Mulch orgánico	Corta duración 3 meses a 1 año, larga duración 4 años.	33	32% de evaporación
Sensores de humedad	5 a 7 años	7 c/u	40% de ahorro

5.2.4. Selección de tecnologías

Para seleccionar las tecnologías que se analizaron en los resultados de este estudio, se creó una encuesta dirigida a especialistas del área agrícola de la comuna, la cual finalmente fue realizada por un total de 10 personas (Anexo N°2). En las figuras 5.14 y 5.15 se grafica los resultados obtenidos en las encuestas para cada tecnología.

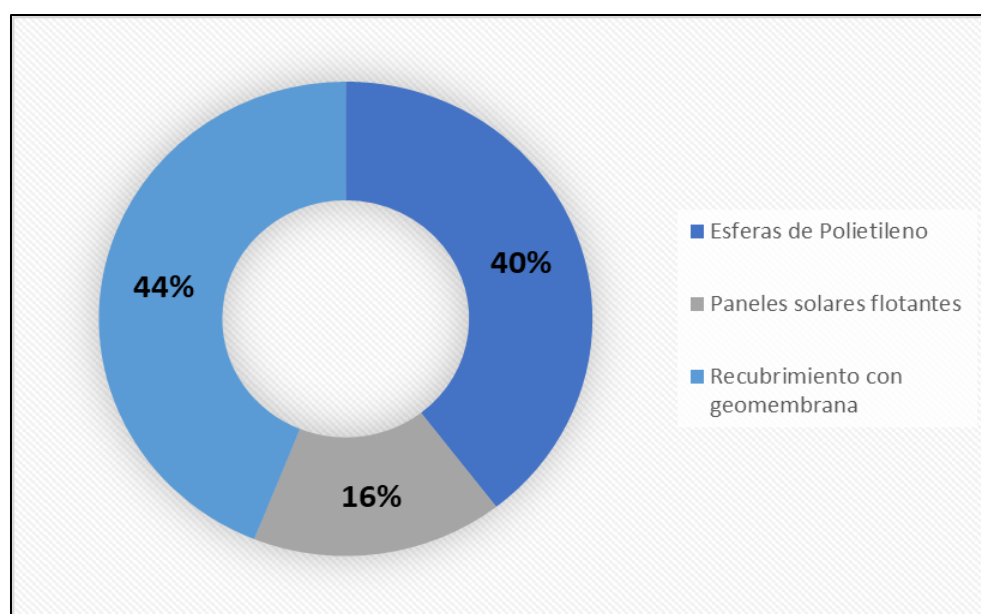


Figura 5.14: Evaluación de los resultados para herramientas tecnológicas que pueden ser aplicadas en tranques acumuladores de agua.

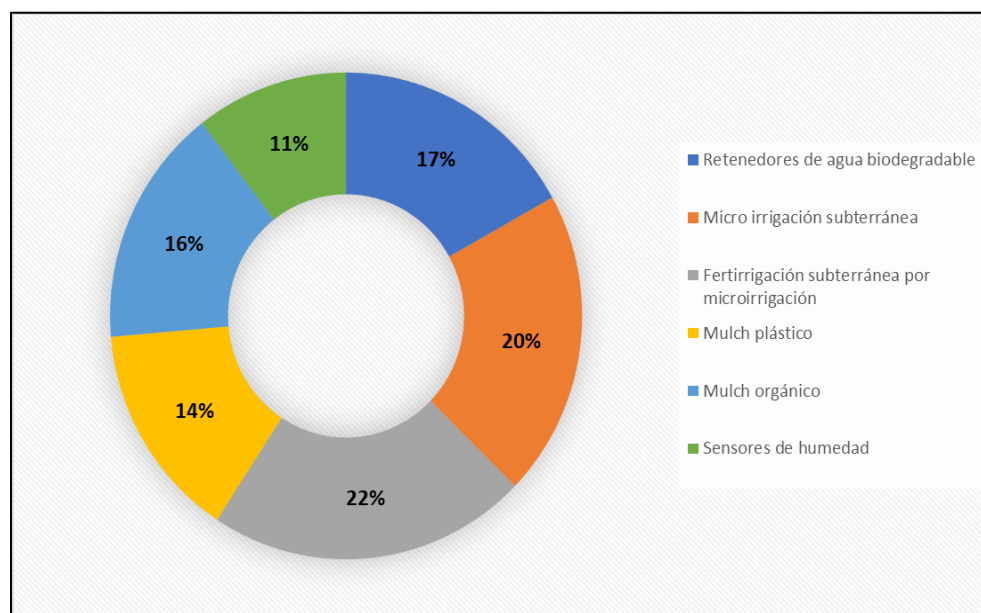


Figura 5.15: Evaluación de los resultado para herramientas tecnológicas que pueden ser aplicadas en cultivos.

Con los resultados obtenidos de las encuestas, se seleccionaron aquellas dos tecnologías que predominan en ambos gráficos, es decir, la instalación de geomembranas en tranques acumuladores y la fertirrigación subterránea por microirrigación. Sin embargo, al analizar los tranques presentes en la unidad de estudio a través del sistema de información geográfica “Google Earth Pro”, se puede considerar que la instalación de geomembranas como recubrimiento para tranques de riego, es una práctica bastante común en la unidad de estudio, por este motivo, en la siguiente sección se determinó el agua recuperada para tranques acumuladores, suponiendo la implementación de las 2 tecnologías con mayor puntuación, es decir, la instalación de geomembranas en el subsuelo y la implementación de esferas de HDPE.

5.3. Determinar el agua recuperada por implementación de tecnologías.

5.3.1. Estimación de pérdidas por infiltración y evaporación en tranques acumuladores.

5.3.1.1. Pérdidas por infiltración y evaporación en un tranque acumulador modelo.

Modelo de un tranque acumulador.

Para estimar las pérdidas por infiltración y evaporación, se modelo un tranque acumulador cuyas dimensiones se encuentran en la Tabla 5.8, y su presentación a escala se puede observar en las figuras 5.16 y 5.17.

Tabla 5.8: Dimensiones de tranque acumulador modelo.

Tranque	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)
Cota mayor	40	25	1.000
Cota menor	40	25	1.000

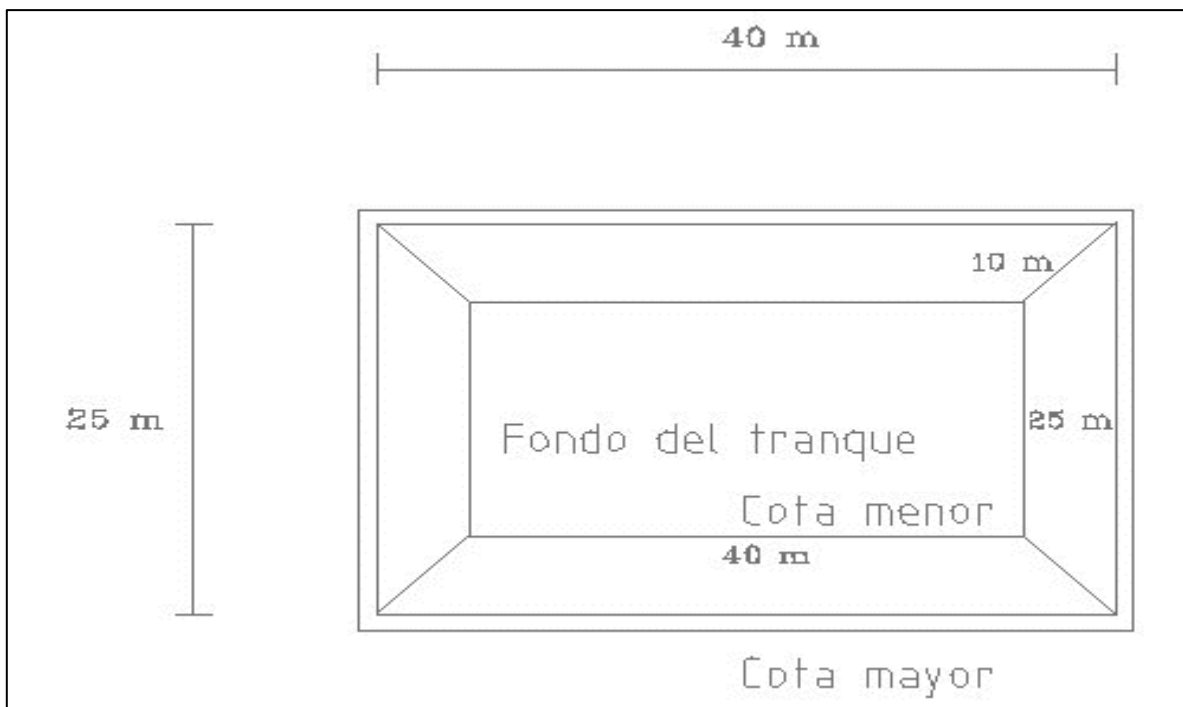


Figura 5.16: Vista superior de tranque acumulador.

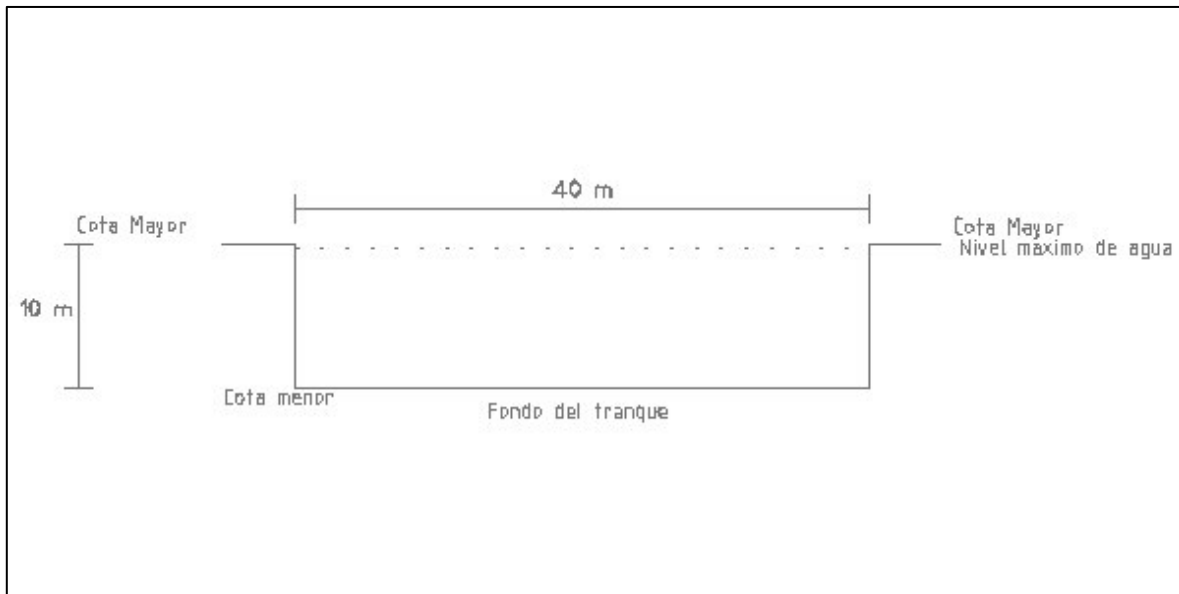


Figura 5.17: Vista lateral de tranque acumulador.

Como la cota menor de los tranques acumuladores es un área variable y de difícil obtención, se asume que el tranque acumulador modelo es un prisma rectangular perfecto.

Pérdidas por infiltración

La infiltración es el proceso a través del cual, el agua en escurrimiento o estancada, ingresa al suelo a través de la superficie, hacia sus capas inferiores, en forma vertical y horizontal. Se mide a través de la velocidad de infiltración (VI) que es la cantidad del agua que entra por unidad de superficie y de tiempo, su unidad de medida es mm/día o mm/h (CNR,2010).

Existen diversos factores que influyen en el comportamiento de la VI, como la compactación y textura del suelo, la materia orgánica presente, las sales del suelo y agua, entre otros. Pero para facilitar los resultados de este proyecto, solo se emplearán la VI básica según textura del suelo y dependiendo del diámetro de las partículas presentes en el suelo se clasificarán en, arenosos, francos, arcillosos o una mezcla de estos, siendo los suelos arenosos aquellos con el mayor diámetro de partículas y los arcillosos la de menor, de esta manera, la VI será directamente proporcional al diámetro de partículas, como se puede observar en la Figura 5.18.



Figura 5.18: Comportamiento de la Velocidad de infiltración según textura. Fuente: (CNR, 2010)

De acuerdo con el informe “Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad” realizado en la cuenca del Río Choapa, clasifica los suelos de la subcuenca del Río Illapel como arcillosos predominantes, de esta manera y según la Tabla 5.9 se puede considerar la VI para la unidad de estudio < 5 mm/h.

Tabla 5.9: Valores referenciales de velocidad de infiltración básica según textura del suelo. Fuente: (CNR, 2010)

Textura	Velocidad de infiltración (mm/h)
Arcillosos	< 5
Franco-arcillosos	5-10
Franco	10-20
Franco-arenoso	20-30
Arenosos	> 30

Como el área total de la cota menor del tranque modelo es de 1.000 m^2 , en la Tabla 5.10 se encuentra la pérdida por infiltración diaria.

Tabla 5.10: Pérdidas por infiltración diaria del tranque modelo.

Velocidad de infiltración (mm/h)	Velocidad de infiltración (mm/día)	velocidad de infiltración (m/día)	Área cota menor tranque (m^2)	Velocidad de infiltración por unidad de área para el tranque modelo ($\text{m}^3/\text{día}$)
< 5	< 120	$< 0,12$	1.000	< 120

Pérdidas por evaporación

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). La radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento son parámetros climatológicos que condicionan el proceso de la evaporación (FAO,2006).

Para calcular la evaporación diaria del tranque modelo, se empleó el método “Priestley and Taylor”, que es una versión reducida de la ecuación combinada original de Penman y adaptada para grandes áreas de evaporación (Priestley & Taylor, 1972).

Como la información requerida en la ecuación son datos meteorológicos de variaciones diarias, se utilizaron promedios de datos diarios correspondientes a las 4 estaciones del año para el cálculo de la evaporación diaria del tranque modelo, los que se encuentran en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11: Promedio de datos meteorológicos diarios para las estaciones del año.

Estación del año	Temperatura promedio (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Presión atmosférica (kPa)	Radiación neta (MJ/m ² día)
Verano	19,70	10,50	28,50	101,16	18,73
Otoño	15,30	8,60	27,70	101,83	10,12
Invierno	11,60	3,40	18,80	102,25	2,94
Primavera	15,80	5,60	21,50	102,01	12,80

Con los datos entregados en la Tabla 5.11 se obtuvo la pérdida por evaporación diaria para el tranque modelo (Tabla 5.12), la cual fue obtenida del producto entre la evaporación según la estación del año y el área de la cota mayor.

Tabla 5.12: Pérdida por evaporación diaria del tranque modelo.

Estación del año	Evaporación (mm/día)	Evaporación por unidad de área (m/día)	Área cota del mayor tranque (m ²)	Evaporación por unidad de área para el tranque modelo (m ³ /día)
Verano	6,56	0,00656	1.000	6,56
Otoño	3,25	0,00325	1.000	3,25
Invierno	0,87	0,00087	1.000	0,87
Primavera	4,15	0,00415	1.000	4,15

5.3.1.2. *Pérdidas por infiltración y evaporación en tranques acumuladores presentes en la subcuenca en estudio.*

Mediante el programa Google Earth Pro se realizó un conteo manual de los tranques acumuladores presentes en la subcuenca en estudio, los cuales se demarcaron y se estimó el área asumiendo una figura geométrica perfecta (Anexo N°3), de esta manera, se obtuvo un total de 192 tranques acumuladores (Tabla 5.13) que suman un área total de 207.883 m². La presentación de estos se encuentra desde la Figura 5.19 hasta la Figura 5.23, según su ubicación respecto a la subsubcuenca en la cual se emplazan.

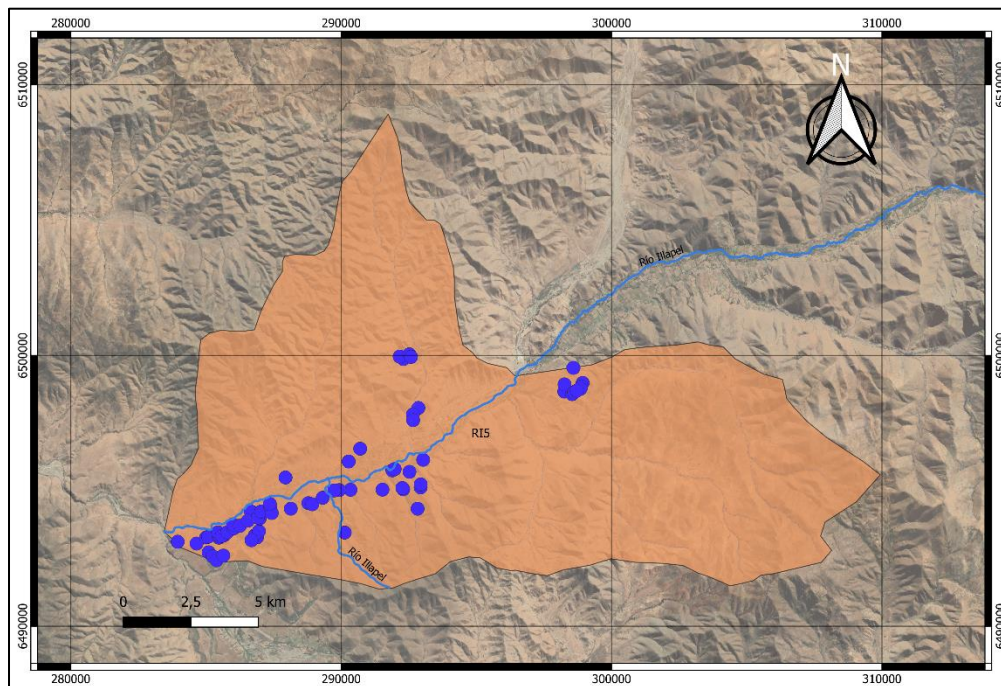


Figura 5.19: Tranques acumuladores presentes en la subsubcuenca “Río Illapel entre Estero Auco y Río Choapa”.

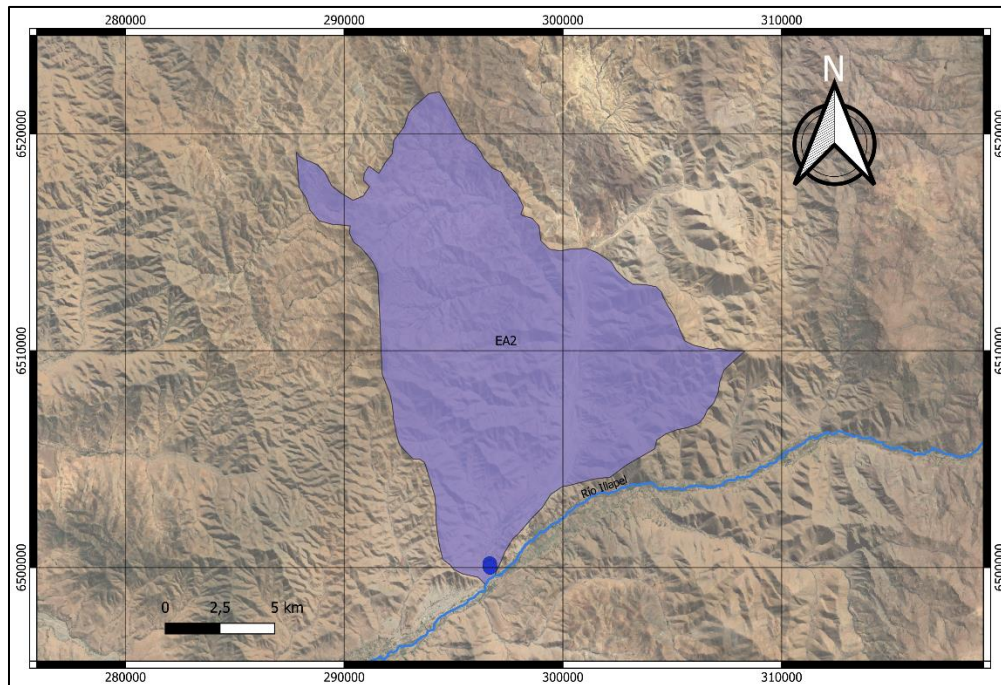


Figura 5.20: Tranques acumuladores presentes en la subsubcuenca “Estero Auco entre junta Quebrada Chillan y Río Illapel”.

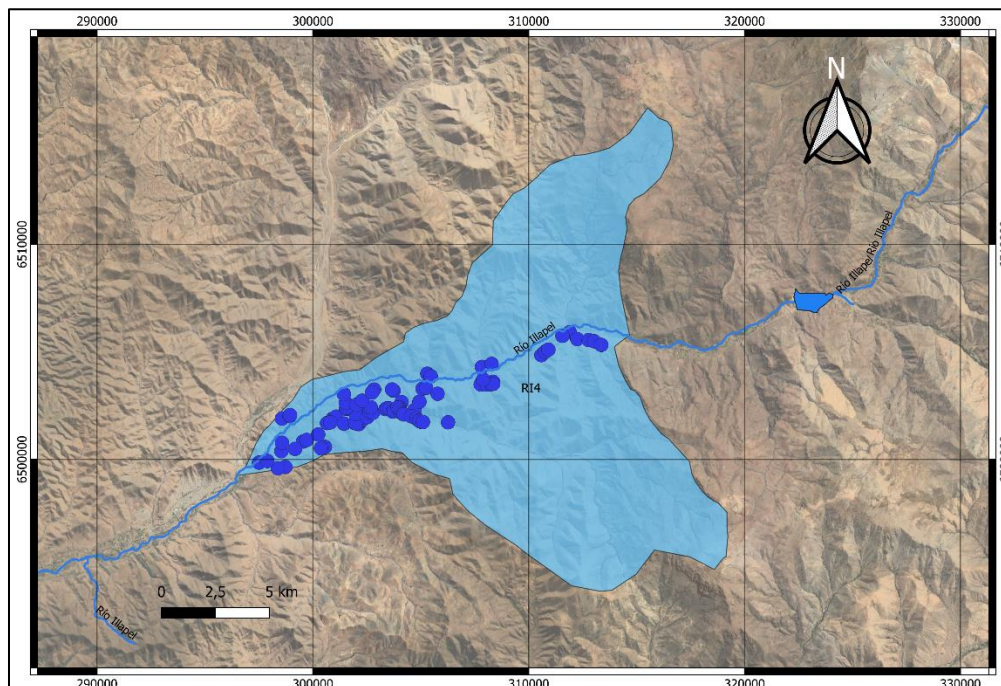


Figura 5.21: Tranques acumuladores presentes en la subsubcuenca “Río Illapel entre Quebrada el Chivato y Estero Auco”.

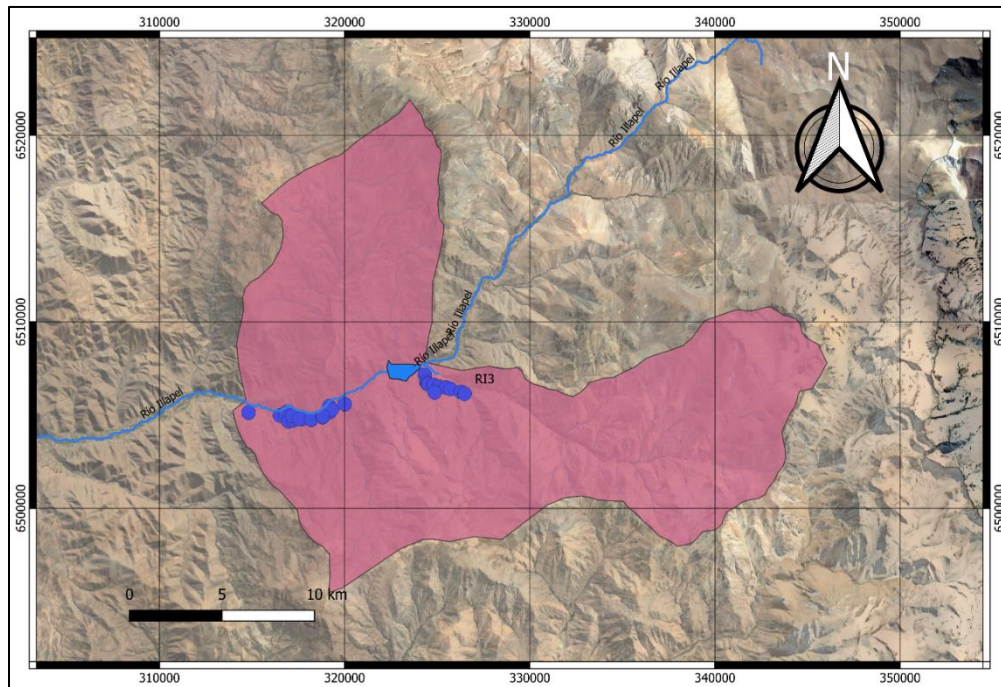


Figura 5.22: Tranques acumuladores presentes en la subsubcuenca “Río Illapel entre arriba Junta Río Caren y bajo Quebrada El Chivato”.

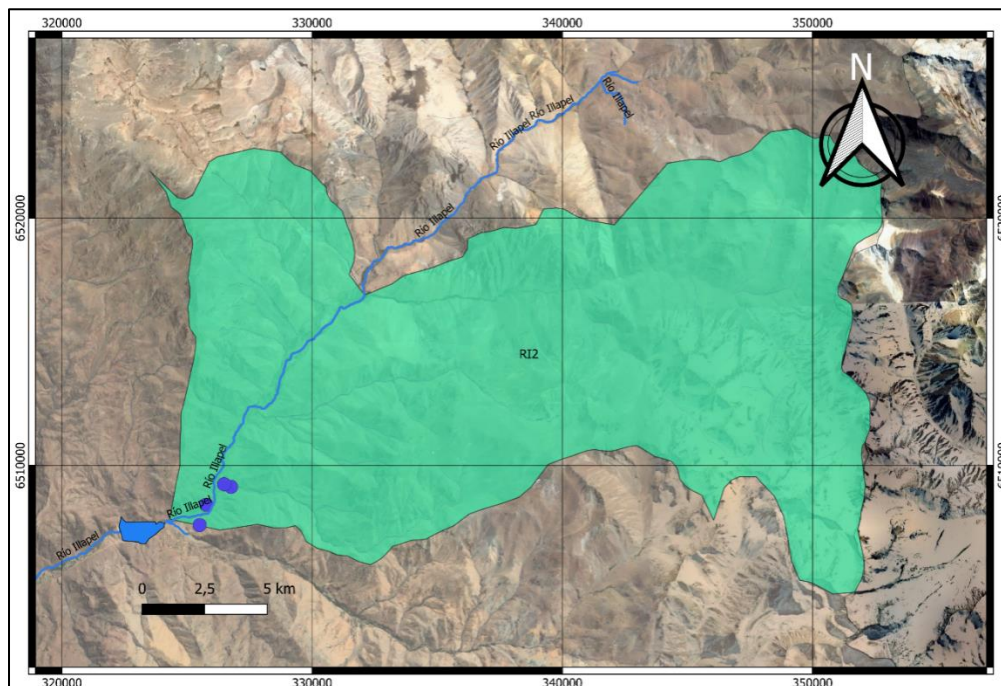


Figura 5.23: Tranques acumuladores presentes en la subsubcuenca “Río Illapel entre arriba Junta Río Tres Quebradas y arriba Junta Río Caren”.

Tabla 5.13: Número de tranque acumuladores según subsubcuenca en la cual se emplazan.

Nombre de la subsubcuenca	N° de tranques presentes
Río Illapel arriba junta Río Tres Quebradas	0
Río Illapel Entre Arriba Junta Río Tres Quebradas y Arriba Junta Río Caren	4
Río Illapel Entre Arriba Junta Río Caren y Bajo Quebrada el Chivato	13
Río Illapel Entre Quebrada El Chivato y Estero Auco	97
Esteros Auco abajo junta Quebrada Chillan	0
Esteros Auco Entre Junta Quebrada Chillan y Río Illapel	2
Río Illapel Entre Estero Auco y Río Choapa	76

Una vez obtenida el área total de los tranques acumuladores presentes en la unidad de estudio, se estimaron las pérdidas por infiltración y evaporación las cuales se encuentra en la Tabla 5.14, y las figuras 5.24 y 5.25 grafican los datos obtenidos.

Tabla 5.14: Pérdidas totales por evaporación e infiltración en los tranques presentes en la unidad de estudio.

Estación del año	Área total de los tranques acumuladores presentes en la subcuenca (m ²)	Pérdidas totales por infiltración (m ³ /día)	Pérdidas totales por evaporación (m ³ /día)
Verano	207.883	> 24.945,96	1.363,71
Otoño	207.883	> 24.945,96	675,62
Invierno	207.883	> 24.945,96	180,86
Primavera	207.883	> 24.945,96	862,71

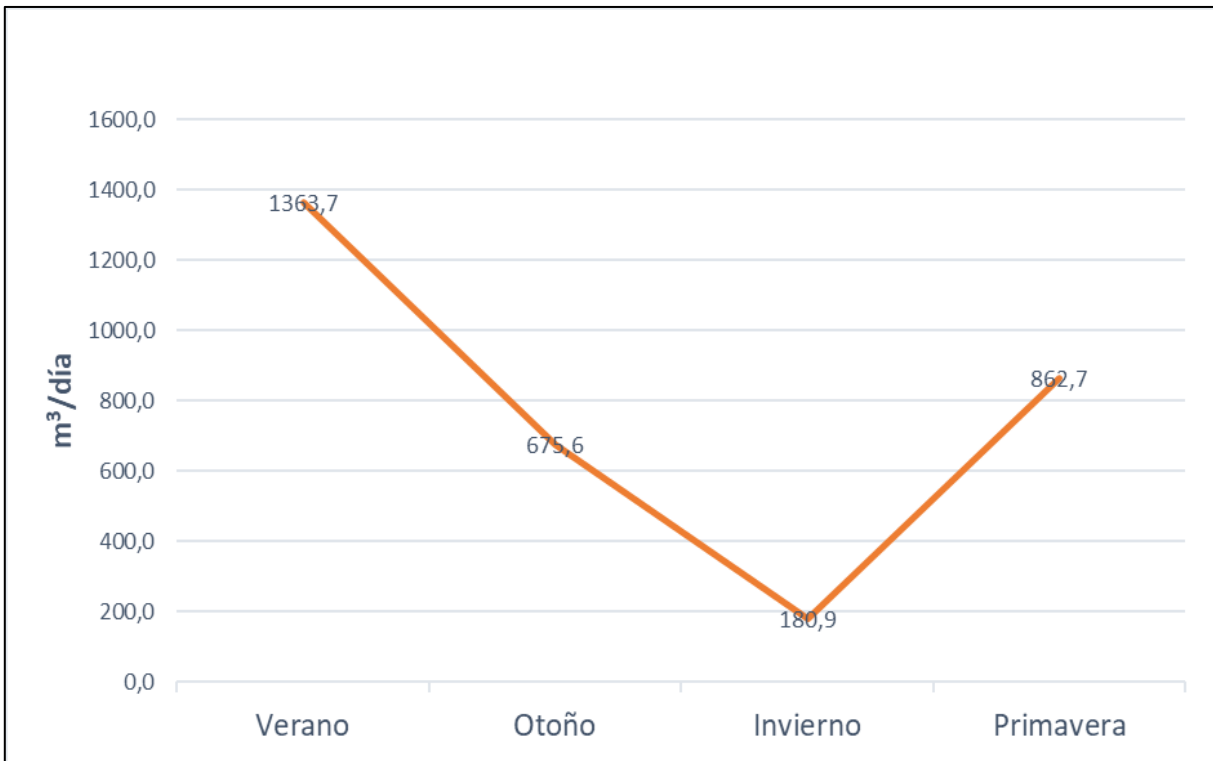


Figura 5.24: Pérdidas por evaporación en los traques presentes en la unidad de estudio.



Figura 5.25: Pérdidas por infiltración en los tranques presentes en la unidad de estudio.

5.3.2. Estimación de pérdidas por evapotranspiración en cultivos.

5.3.2.1. Pérdidas por evapotranspiración en un área modelo.

La evapotranspiración (ET) es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde, por un lado, por medio de la evaporación a través de la superficie del suelo y por otra parte mediante transpiración del cultivo, ambos procesos ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre ellos. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo de las plantas y finalmente cuando estas cubren totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. La Figura 5.26 grafica ambos procesos durante el crecimiento de un cultivo anual (FAO, 2006).

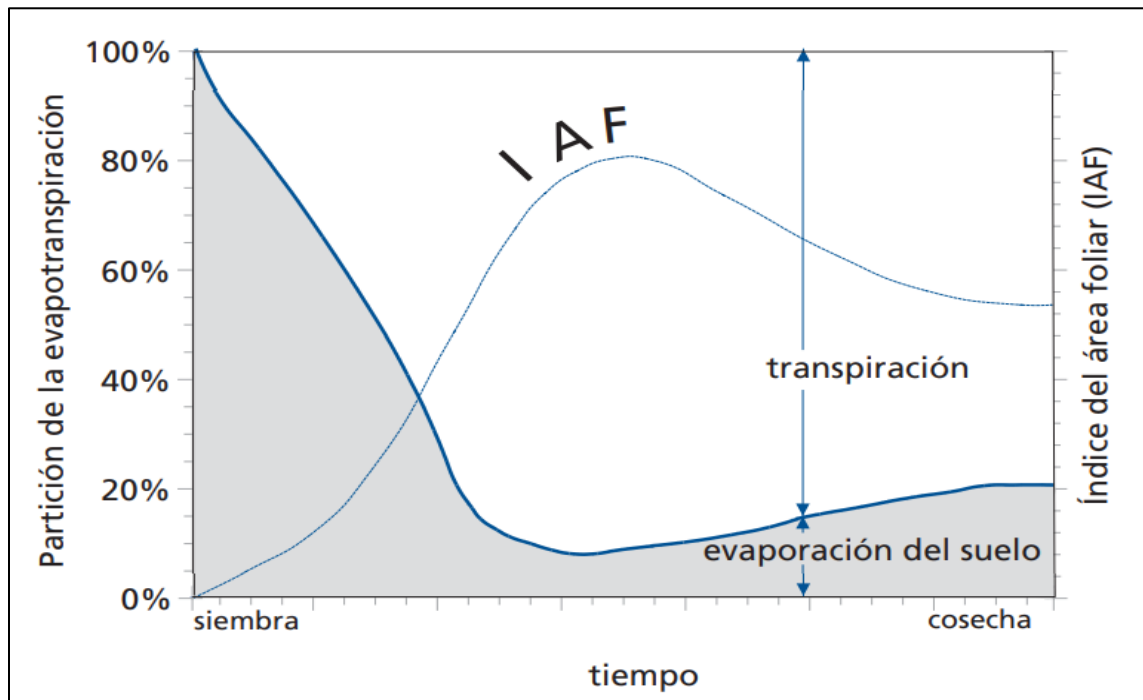


Figura 5.26: Repartición de la evapotranspiración en evaporación y transpiración durante el periodo de crecimiento de un cultivo anual. Fuente: FAO, 2006.

Para estimar las pérdidas por ET se modela un área de cultivo de 1 ha, que se puede observar en la Figura 5.27.

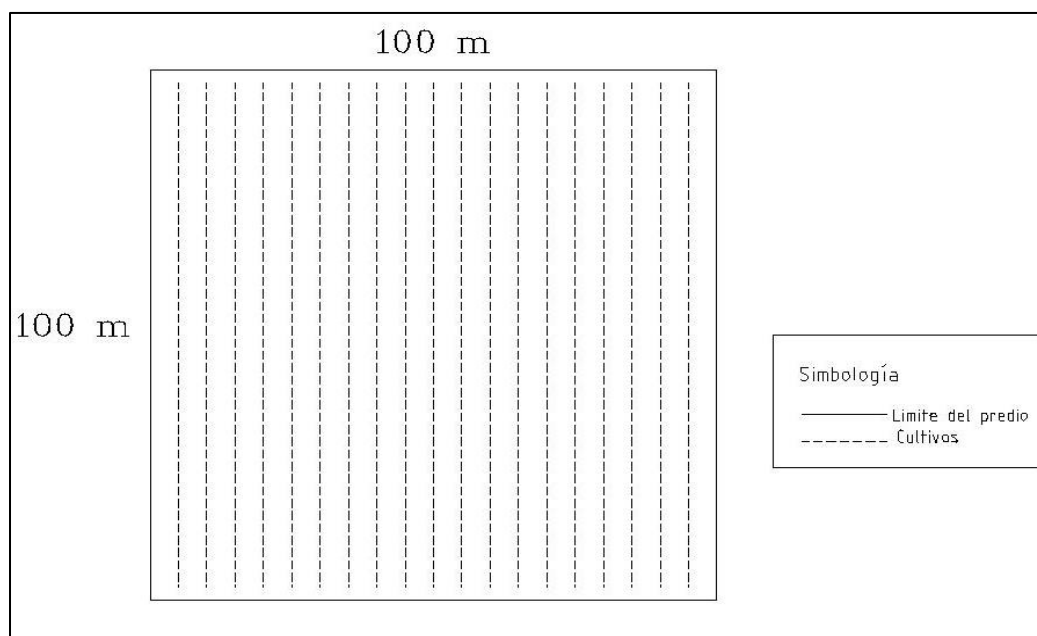


Figura 5.27: Área de cultivo de 1 hectárea.

El proceso de ET se ve afectado por múltiples factores, entre estos, el clima, las características del cultivo, las condiciones ambientales, entre otros. Sin embargo, para el desarrollo de este proyecto se considerarán únicamente las condiciones climáticas como variables que inciden en la ET. De esta manera se empleó la ecuación “FAO Penman-Monteith” recomendada actualmente como el método estándar en el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_0).

Los datos meteorológicos requeridos en la ecuación fueron obtenidos (al igual que las pérdidas por evaporación desde los tranques acumuladores) desde la estación “Vivero CONAF, Illapel”, los que se presentan en el Tabla 5.15.

Tabla 5.15: Promedio de datos meteorológicos diarios para las estaciones del año.

Estación del año	Temperatura promedio (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Humedad relativa máxima (%)	Humedad relativa mínima (%)	Presión atmosférica (kPa)	Radiación neta (MJ/m^2 día)
Verano	19,70	10,50	28,50	91,70	35,80	101,16	18,73
Otoño	15,30	8,60	27,70	92,10	37,90	101,83	10,12
Invierno	11,60	3,40	18,80	98,30	34,80	102,25	2,94
Primavera	15,80	5,60	21,50	92,50	31,80	102,01	12,80

Con los datos entregados en la Tabla 5.15 se obtuvo la pérdida por evapotranspiración diaria para el área de cultivo modelo.

Tabla 5.16: Pérdidas por evapotranspiración diaria en el área de cultivo modelo.

Estación del año	Evapotranspiración por unidad de área (mm/día)	Evapotranspiración por unidad de área (m/día)	Área superficie de cultivo de modelo (m ²)	Evapotranspiración por unidad de área (m ³ /día)
Verano	5,86	0,005858	10.000	58,58
Otoño	3,02	0,003024	10.000	30,24
Invierno	1,80	0,001799	10.000	17,99
Primavera	4,53	0,004526	10.000	45,26

5.3.2.2. Pérdidas por evapotranspiración en superficies de cultivo presentes en la subcuenca en estudio.

Según la información disponible en el observatorio institucional en línea del CIREN, del total de la superficie de la comuna de Illapel un 2,78% (correspondiente a 7.214,8 ha) se categoriza como terrenos agrícolas según la Clase y Uso actual de suelos, con esta información se obtuvo la evapotranspiración de referencia, la cual se presenta en la Tabla 5.17 y los resultados se grafican en la Figura 5.28.

Tabla 5.17: Pérdidas totales por evapotranspiración en cultivos presentes en la unidad de estudio.

Estación del año	Área cultivada en la comuna de Illapel (m ²)	Pérdidas totales por evapotranspiración (m ³ /día)
Verano	72.148.255,80	422.644,48
Otoño	72.148.255,80	218.176,33
Invierno	72.148.255,80	129.794,71
Primavera	72.148.255,80	326.543,01



Figura 5.28: Pérdidas totales por evapotranspiración en cultivos presentes en la unidad de estudio.

5.3.3. Implementación de las tecnologías

5.3.3.1. *Determinar el porcentaje de pérdidas por evaporación, infiltración y evapotranspiración, respecto al caudal autorizado para riego.*

Una vez obtenidas las pérdidas por evaporación, infiltración y evapotranspiración en la subcuenca del Río Illapel, se determinó el porcentaje equivalente a cada una de estas variables, respecto al caudal total autorizado para riego en los dos escenarios establecidos en los resultados del objetivo específico N°1.

Escenario N°1

El primer escenario incluye solo los datos oficiales los DAA destinados para el rubro agrícola, dejando fuera aquellos derechos que no se encuentran asociados a ningún rubro en específico y que para efectos de este proyecto se denominaron “Sin definir”.

Los resultados se encuentran en la Tabla 5.18

Tabla 5.18: porcentaje de pérdidas por evaporación, infiltración y evapotranspiración, respecto al caudal autorizado para riego, excluyendo la fracción “sin definir”.

Estación del año	Caudal autorizado para riego (m ³ /día)	Pérdidas por evaporación en tranques		Pérdidas por infiltración en tranques		Pérdidas por evapotranspiración	
		Caudal (m ³ /día)	% del total	Caudal (m ³ /día)	% del total	Caudal (m ³ /día)	% del total
Verano	403.497,50	1363,71	0,34	> 24.945,96	> 6,18	422.644,48	104,75
Otoño	403.497,50	675,62	0,17	> 24.945,96	> 6,18	218.176,33	54,07
Invierno	403.497,50	180,86	0,05	> 24.945,96	> 6,18	129.794,71	32,17
Primavera	403.497,50	862,71	0,21	> 24.945,96	> 6,18	326.543,01	80,93

Escenario N°2

El segundo escenario incluye todos los DAA destinados al rubro agrícola, incluyendo la fracción que se encuentra “Sin definir”.

Los resultados se encuentran en la Tabla 5.19

Tabla 5.19: porcentaje de pérdidas por evaporación, infiltración y evapotranspiración, respecto al caudal autorizado para riego, incluyendo la fracción “sin definir”.

Estación del año	Caudal autorizado para riego (m ³ /día)	Pérdidas por evaporación en tranques		Pérdidas por infiltración en tranques		Pérdidas por evapotranspiración	
		Caudal (m ³ /día)	% del total	Caudal (m ³ /día)	% del total	Caudal (m ³ /día)	% del total
Verano	502.199,14	1363,71	0,27	> 24.945,96	> 4,97	422.644,48	84,16
Otoño	502.199,14	675,62	0,13	> 24.945,96	> 4,97	218.176,33	43,45
Invierno	502.199,14	180,86	0,036	> 24.945,96	> 4,97	129.794,71	25,85
Primavera	502.199,14	862,71	0,17	> 24.945,96	> 4,97	326.543,01	65,02

Con las estimaciones obtenidas para ambos escenarios, se puede decir que a nivel de subcuenca las pérdidas totales producto de la evaporación, infiltración y evapotranspiración son superiores al 80% en meses estivales y en meses invernales superiores al 25%, al ser comparadas con el caudal total autorizado. De esta manera, se

puede decir que la implementación de herramientas tecnológicas que disminuyan estas pérdidas son una necesidad para los usuarios.

5.3.3.2. Implementación de las tecnologías en los tranques acumuladores.

Como se determinó en el objetivo específico N°2, en los tranques acumuladores se implementarán dos tecnologías, por un lado las esferas de HDPE que reducen en un 80% las pérdidas por evaporación (Barrierball, 2021) y por otro lado, el recubrimiento con geomembrana que impermeabiliza el tranque evitando las pérdidas por infiltración (INDAP, 2010), de esta manera en la Tabla 5.20 y Tabla 5.21 se encuentran los porcentajes de agua recuperada² respecto al caudal total por pérdidas de evaporación e infiltración respectivamente, ambas considerando los dos escenarios planteados. En el caso de las pérdidas por infiltración, la tabla solo considera el valor mínimo de agua recuperada.

Tabla 5.20: Porcentaje de agua recuperada, posterior a la implementación de las esferas de HDPE.

Estación del año	Pérdidas por evaporación			
	Caudal (m ³ /día)	Agua recuperada por la implementación de esferas de HDPE (m ³ /día)	% de agua recuperada por esferas de HDPE, respecto al caudal total	
			Escenario N°1	Escenario N°2
Verano	1363,71	1090,97	0,27	0,22
Otoño	675,62	540,50	0,13	0,11
Invierno	180,86	144,69	0,04	0,03
Primavera	862,71	690,17	0,17	0,14

Tabla 5.21: Porcentaje mínimo de agua recuperada, posterior a la implementación del recubrimiento por geomembrana.

Estación del año	Pérdidas por infiltración			
	Caudal (m ³ /día)	Agua recuperada por la implementación de geomembrana (m ³ /día)	% de agua recuperada por geomembrana, respecto al caudal total	
			Escenario N°1	Escenario N°2
Verano	24.945,96	24.945,96	6,18	4,97
Otoño	24.945,96	24.945,96	6,18	4,97
Invierno	24.945,96	24.945,96	6,18	4,97
Primavera	24.945,96	24.945,96	6,18	4,97

5.3.3.3. Implementación de la tecnología en cultivo.

Para los cultivos y tal como se determinó en el objetivo específico N°2, se implementaría la fertirrigación subterránea por microirrigación, la cual reduce en un 14 % las pérdidas por evapotranspiración (Andreau et al., 2012). En la Tabla 5.22 se encuentran los porcentajes de agua recuperada respecto al caudal total, por pérdidas de evapotranspiración considerando los dos escenarios planteados.

Tabla 5.22: Porcentaje de agua recuperada, posterior a la implementación de fertirrigación subterránea por microirrigación.

Estación del año	Pérdidas por evapotranspiración			
	Caudal (m ³ /día)	Agua recuperada por la implementación de fertirrigación subterránea por microirrigación (m ³ /día)	% de agua recuperada por fertirrigación subterránea por microirrigación, respecto al caudal total	
			Escenario N°1	Escenario N°2
Verano	422.644,48	59.170,23	14,66	11,78
Otoño	218.176,33	30.544,69	7,57	6,08
Invierno	129.794,71	18.171,26	4,50	3,62
Primavera	326.543,01	45.716,02	11,33	9,10

5.3.3.4. Porcentaje total de agua recuperada producto de la implementación de las tecnologías en tranques acumuladores de riego y en cultivos.

La Tabla 5.23 incluye el porcentaje de agua recuperada respecto a las pérdidas totales sin la implementación de las tecnologías, y la Tabla 5.24 los porcentajes de agua recuperada respecto a los caudales autorizados en los 2 escenarios establecidos posterior a la implementación de las 3 tecnologías, mientras que la Figura 5.29 grafica los resultados obtenidos para el Escenario N°1 y la Figura 5.30 para el Escenario N°2.

Tabla 5.23: Agua recuperada según estación del año.

Estación del año	Pérdidas totales sin tecnologías (m ³ /día)	Pérdidas totales con tecnologías (m ³ /día)	Agua recuperada total (m ³ /día)
Verano	448.954,15	363.746,99	85.207,16
Otoño	243.797,91	187.766,77	56.031,14
Invierno	154.921,53	111.659,62	43.261,91
Primavera	352.351,68	280.999,53	71.352,15

Tabla 5.24: porcentajes de agua recuperada respecto a los caudales autorizados en los 2 escenarios establecidos.

Estación del año	Agua recuperada total (m ³ /día)	% de agua recuperada respecto al caudal total autorizado	
		Escenario N°1	Escenario N°2
Verano	85.207,16	21,12	16,97
Otoño	56.031,14	13,89	11,16
Invierno	43.261,91	10,72	8,61
Primavera	71.352,15	17,68	14,21

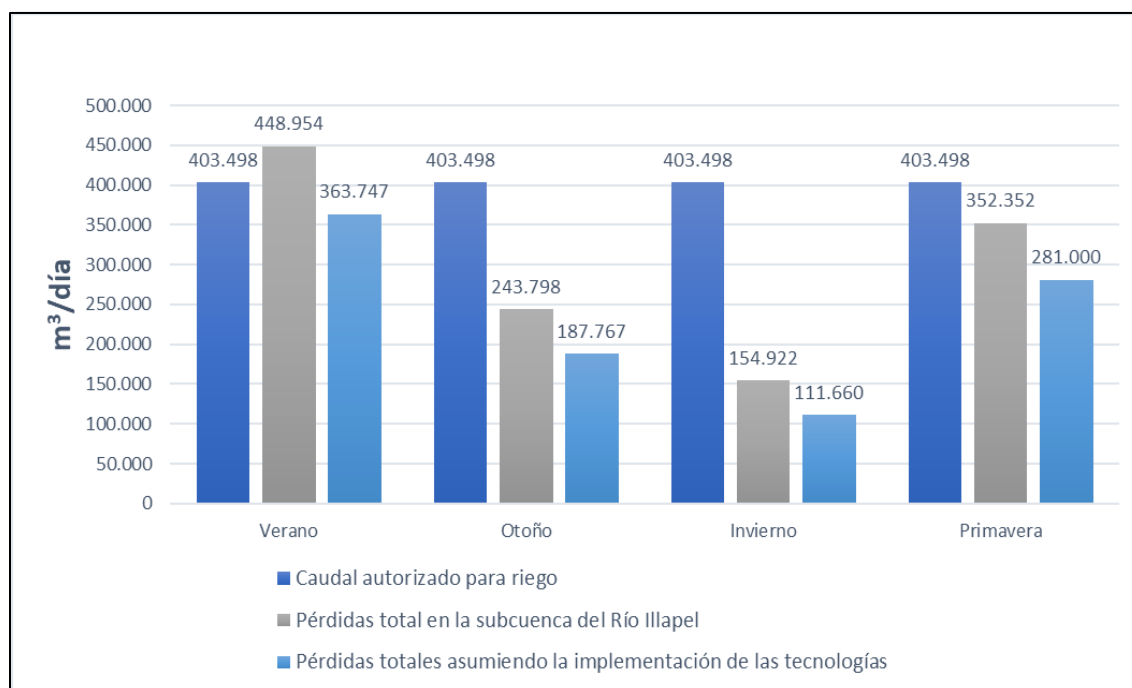


Figura 5.29: Caudal autorizado, caudal de pérdidas totales y caudal de pérdidas posterior a la implementación de las tecnologías, para el Escenario N°1.

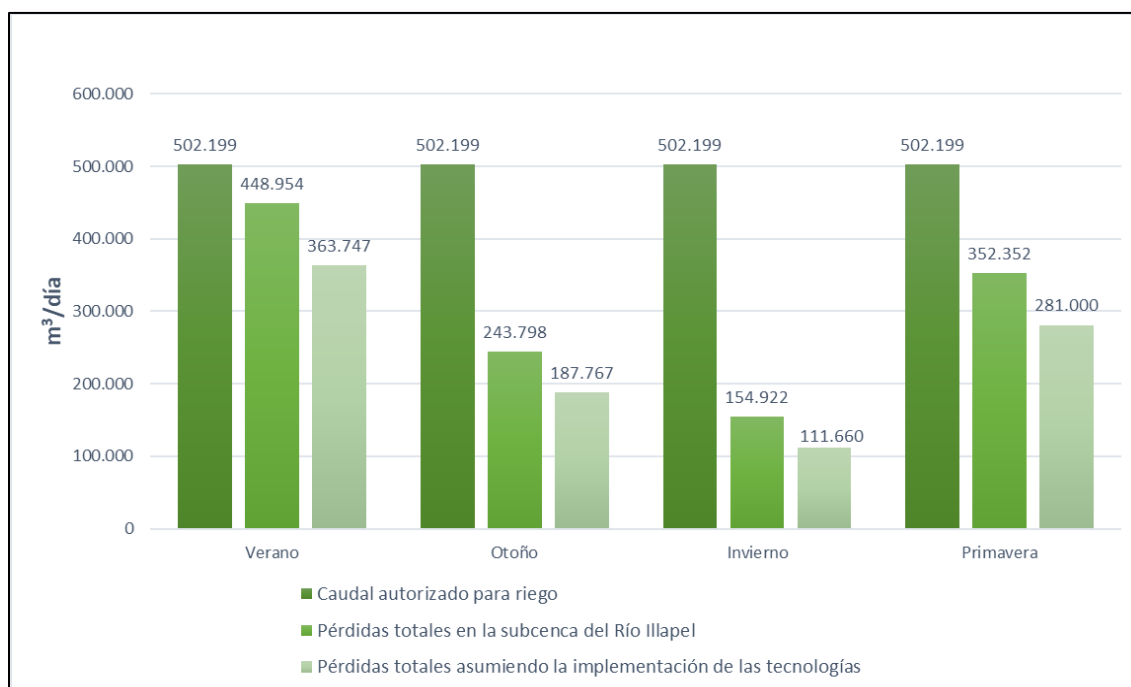


Figura 5.30: Caudal autorizado, caudal de pérdidas totales y caudal de pérdidas posterior a la implementación de las tecnologías, para el Escenario N°2.

5.3.3.5. Comparación de los resultados obtenidos con el caudal disponible.

Al consultar la información oficial hidrometeorológica y de calidad de aguas en línea, de la página web oficial de la DGA, se obtuvieron los datos de los caudales medios mensuales en el año 2020 de la estación Fluviométrica “Río Illapel en Huintil”, la cual como se observa en la Figura 1.11 se localiza río abajo posterior al embalse El Bato. Los datos obtenidos fueron comparados con los resultados en las secciones anteriores de este proyecto y se grafican en la Figura 5.31 para el Escenario N°1 y la Figura 5.32 para el Escenario N°2.

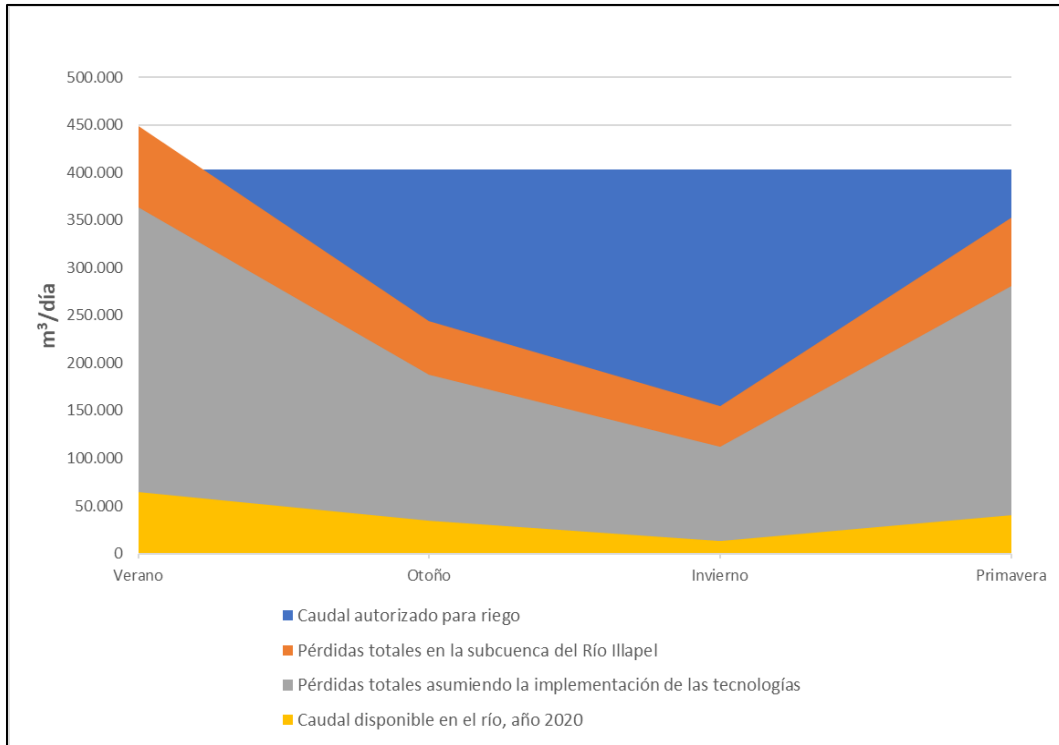


Figura 5.31: Comparación de los resultados obtenidos con respecto al caudal disponible en el río, en el año 2020. Dejando fuera la fracción "sin definir" del caudal total autorizado (Escenario N°1).

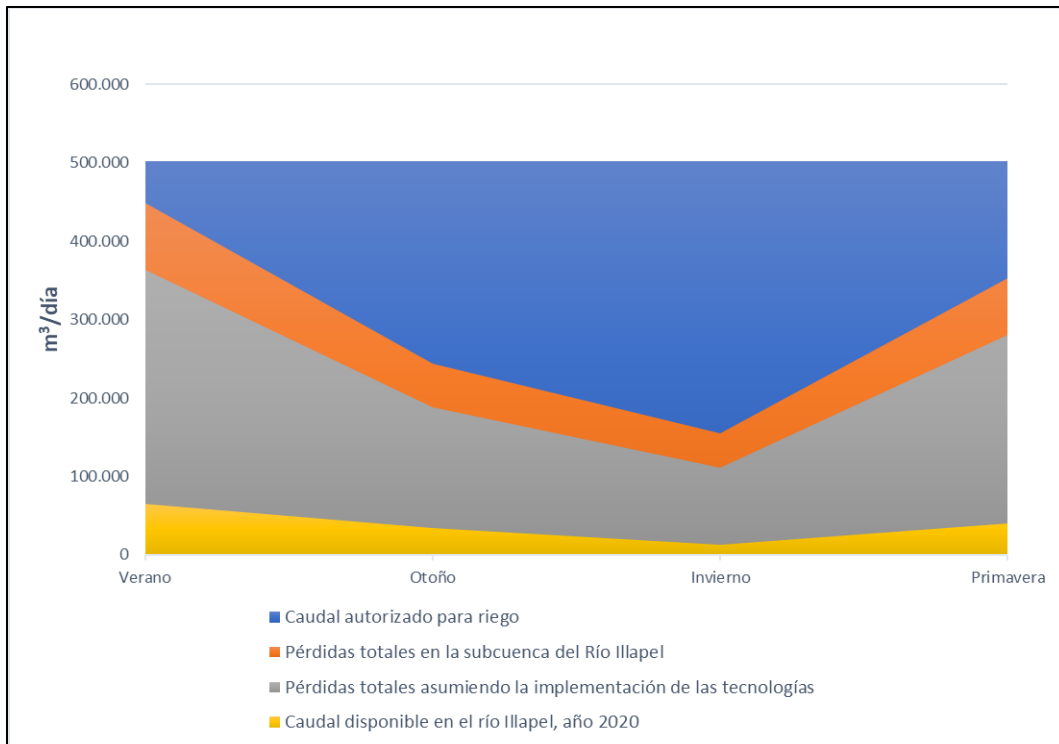


Figura 5.32: Comparación de los resultados obtenidos con respecto al caudal disponible en el río, en el año 2020. Considerando al Fracción "Sin definir" como parte del caudal total autorizado (Escenario N°2).

5.3.3.6. Tabla resumen de las estimaciones realizadas.

Las pérdidas totales fueron obtenidas según:

- ✓ Información recabada del conteo de los tranques acumuladores.
- ✓ Superficie cultivada según el CIREN.

Por esta razón son independientes del Caudal autorizado según los DAA y ambos escenarios tienen las mismas pérdidas totales estimadas.

En la Tabla 5.25 se resumen las estimaciones obtenidas de forma anual.

Tabla 5.25: Resumen del caudal disponible en el río, autorizado y de pérdidas.

Caudal autorizado para los usuarios (m ³ /año)		Caudal promedio disponible en el río Illapel (m ³ /año)	Promedio de pérdidas totales sin tecnología para ambos escenarios (m ³ /año)	Promedio de pérdidas totales con tecnología para ambos escenarios (m ³ /año)
Escenario N°1	Escenario N°2			
147.276.588	183.302.686	13.954.680	109.502.306	86.155.779

La diferencia del promedio de pérdidas producto de la implementación de las tecnologías es lo que se llamará agua recuperada, y corresponde a 23.346.527 m³/año.

Como se puede observar, el total de los DAA para riego supera con creces el caudal disponible el año 2020 en el río Illapel, por esta razón, la autoridad ha tomado medidas de restricción del consumo para los usuarios, entre estas, la Junta de Vigilancia del Río Choapa y sus Afluentes ajusta constantemente las prorrata de los canales de riego, donde el año 2020, incluso alcanzó una prorrata del 6%, es decir, del total de los DAA de los canales, solo se entrega el 6% a los usuarios (JVRCH, 2021).

5.3.4. Balance de las pérdidas y el agua recuperada a lo largo del proyecto.

Se estableció una vida útil de las tecnologías de 20 años, de acuerdo con lo garantizado por los proveedores (Exma y Netafim), además los emisores de riego en la fertirrigación subterránea sufren una degradación anual que afecta su rendimiento, la cual se puede considerar como lineal en la duración del proyecto. De acuerdo con lo reportado por el

fabricante, los emisores sufren una pequeña degradación con el tiempo de alrededor del 1,2% de degradación anual (Boisier, 2018), y al no contar con esta información por parte de los proveedores de las esferas de HDPE, se consideró este porcentaje para determinar la cantidad de agua recuperada con el paso de los años para ambas tecnologías.

Como el porcentaje de rendimiento de las tecnologías disminuye con los años, el agua recuperada disminuirá al mismo tiempo que las pérdidas proyectadas aumentarán. En la Tabla 5.26 se encuentran las estimaciones proyectadas para los 20 años del proyecto.

Tabla 5.26: Pérdidas proyectadas y agua recuperada considerando el rendimiento de las tecnologías.

Año	Pérdidas anuales sin tecnología (m ³ /año)	Factor de reducción por tecnologías (%)	Pérdidas anuales con tecnología (m ³ /año)	Rendimiento de las tecnologías (%)	Pérdidas proyectadas considerando el rendimiento de las tecnologías (m ³ /año)	Agua recuperada considerando el rendimiento de las tecnologías (m ³ /año)
1	109.502.306	21	86.155.779	100	86.155.779	23.346.527
2	109.502.306	21	86.155.779	98,8	86.435.937	23.066.369
3	109.502.306	21	86.155.779	97,6	86.716.095	22.786.211
4	109.502.306	21	86.155.779	96,4	86.996.254	22.506.052
5	109.502.306	21	86.155.779	95,2	87.276.412	22.225.894
6	109.502.306	21	86.155.779	94	87.556.570	21.945.736
7	109.502.306	21	86.155.779	92,8	87.836.729	21.665.577
8	109.502.306	21	86.155.779	91,6	88.116.887	21.385.419
9	109.502.306	21	86.155.779	90,4	88.397.045	21.105.261
10	109.502.306	21	86.155.779	89,2	88.677.204	20.825.102
11	109.502.306	21	86.155.779	88	88.957.362	20.544.944
12	109.502.306	21	86.155.779	86,8	89.237.520	20.264.786
13	109.502.306	21	86.155.779	85,6	89.517.679	19.984.627
14	109.502.306	21	86.155.779	84,4	89.797.837	19.704.469
15	109.502.306	21	86.155.779	83,2	90.077.995	19.424.311
16	109.502.306	21	86.155.779	82	90.358.153	19.144.152
17	109.502.306	21	86.155.779	80,8	90.638.312	18.863.994
18	109.502.306	21	86.155.779	79,6	90.918.470	18.583.836
19	109.502.306	21	86.155.779	78,4	91.198.628	18.303.677
20	109.502.306	21	86.155.779	77,2	91.478.787	18.023.519

Como las pérdidas son independientes del caudal autorizado, ambos escenarios presentan las mismas estimaciones de agua recuperada considerando el rendimiento de las tecnologías para los 20 años, esto se puede observar en la Figura 5.33.

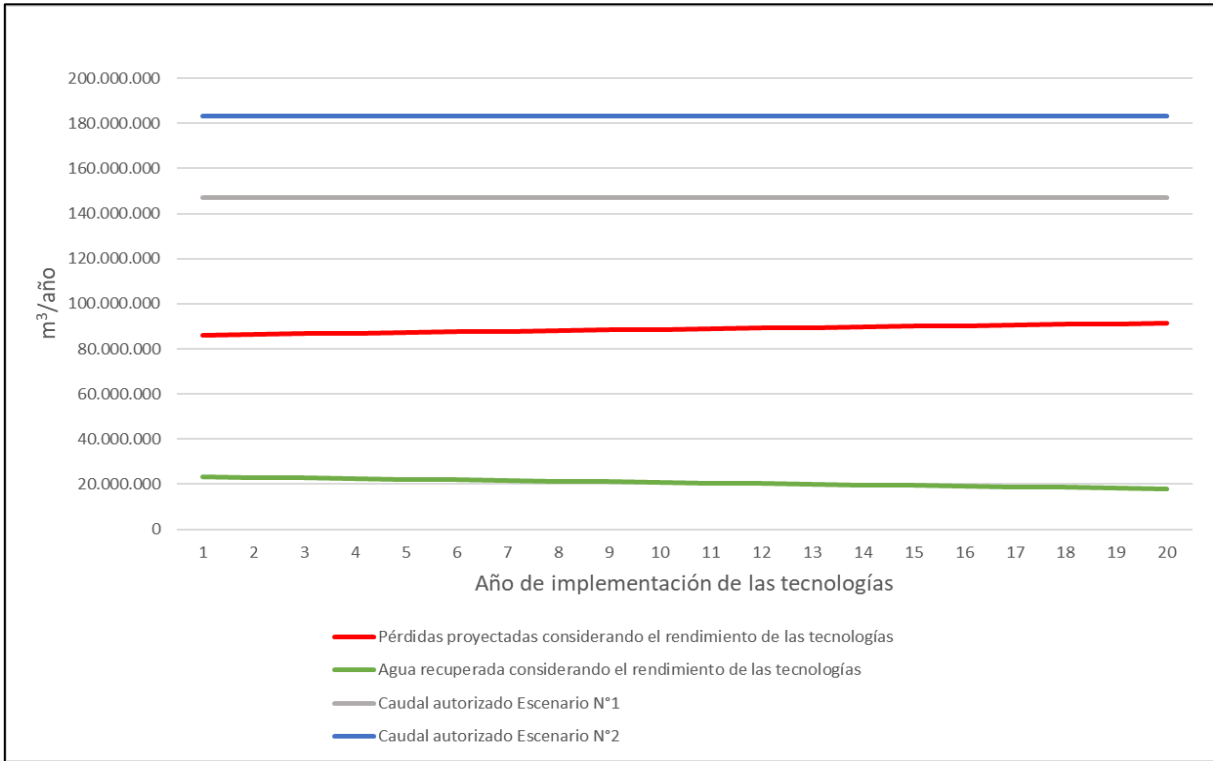


Figura 5.33: Pérdidas proyectadas y agua recuperada considerando el rendimiento de las tecnologías, en comparación con ambos escenarios planteados.

5.4. Evaluar ambiental y económicamente la implementación de las tecnologías en la unidad de estudio.

5.4.1. Cálculo de índice de escasez hídrica

Con los resultados del objetivo específico N°3, se obtiene una clara diferencia entre el caudal disponible en el río y la demanda de los consumidores a través de los DAA otorgados. El Escenario N°1 presenta pérdidas totales superiores a los DAA para los meses estivales, mientras que el Escenario N°2 pareciera ser más realista.

El índice de escasez hídrica relaciona la demanda de agua del conjunto de actividades socioeconómicas, y la oferta hídrica disponible en las fuentes abastecedoras, y puede ser aplicado desde a un simple tramo del río hasta una cuenca o región hidrológica (Escenarios hídricos, 2018). El alcance de este proyecto solo evalúa la huella hídrica azul (HH azul), la cual se refiere al volumen de agua fresca extraída de fuentes superficiales y/o subterráneas por parte de los diferentes usuarios y que no retorna al ambiente de donde se extrajo.

Para obtener la HH azul del Escenario N°1 se consideraron los valores entregados en la Tabla 5.27.

Tabla 5.27: Captación, retorno y consumo por sector productivo en la subcuenca del río Illapel, para el Escenario N°1.

Rubro	Caudal (m ³ /s)	% Retorno	Retorno (m ³ /s)	HH azul (m ³ /s)
Bebida/ Uso Doméstico/Saneamiento	0,125	90,0	0,113	0,0125
Energía hidroeléctrica	1,900	100	1,900	0
Minería	0,004	0	0	0,004
Riego	4,670	39,5	1,847	2,824
Total =				2,840

Mientras que para obtener la HH azul del Escenario N°2 se consideraron los valores entregados en la Tabla 5.28.

Tabla 5.28: Captación, retorno y consumo por sector productivo en la subcuenca del río Illapel, para el Escenario N°2

Rubro	Caudal (m ³ /s)	% Retorno	Retorno (m ³ /s)	HH azul (m ³ /s)
Bebida/ Uso Doméstico/Saneamiento	0,125	90,0	0,113	0,0125
Energía hidroeléctrica	1,900	100	1,900	0
Minería	0,004	0	0	0,004
Riego	5,812	39,5	2,298	3,514
Total =				3,531

El análisis de los caudales indica que existe una oferta de agua superficial promedio de 1,511 (m³/s) para un 50% de excedencia (CNR, 2016), si se considera que el 10% debe quedar disponible para efectos de mantener el caudal mínimo del período de estiaje, solo 1,360 m³/s se encuentran disponible como oferta superficial, sumado a una oferta de agua subterránea promedio de 1,138 m³/s (MOP, 2020b). Con estos datos, la oferta total de agua estimada para la subcuenca es de 2,498 m³/s, obteniendo los siguientes índices de escasez:

$$\text{Índice de escasez hídrica Escenario N°1} = \frac{2,840}{2,498} \times 100 = 113,7\%$$

$$\text{Índice de escasez hídrica Escenario N°2} = \frac{3,531}{2,498} \times 100 = 141,3\%$$

Con los resultados obtenidos, se puede decir que la subcuenca del Río Illapel tiene una **Brecha Hídrica**⁵ alta, de un 113% y un 141% para el Escenario N°1 y N°2 respectivamente, lo que significa que existe una fuerte presión sobre el recurso hídrico, lo que denota una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y demanda, por lo tanto, la escasez de agua es un factor limitador del desarrollo económico, principalmente de la actividad agrícola por ser el mayor consumidor.

5. **Brecha Hídrica:** Es la visualización de zonas con potencial falta de agua al evaluar la oferta referencial de agua y la demanda hídrica productiva (Radiografía del Agua, 2018).

5.4.1.1. *Índice de escasez hídrica posterior a la implementación de las tecnologías para ambos escenarios.*

La HH azul para el rubro agrícola disminuyó una vez sean implementadas de las tecnologías, donde el porcentaje de agua recuperada en el primer año bordaría los 21%. Si se consideran los mismos caudales de oferta de agua superficial y subterránea en la subcuenca, y la misma HH azul para los sectores productivos distintos al agrícola, se obtienen los resultados de índice de escasez hídrica presentes en la Tabla 5.29 para el Escenario N°1 y la

Tabla 5.30 para el Escenario N°2.

Tabla 5.29: Índice de escasez una vez sean implementadas las tecnologías para el Escenario N°1.

Año	Sin tecnología	Con tecnologías		
	Índice de escasez hídrica (%)	HH azul Agrícola	HH Azul Total	Índice de escasez hídrica (%)
1	113,7	2,38	2,39	95,8
2	113,7	2,38	2,40	96,1
3	113,7	2,39	2,40	96,3
4	113,7	2,39	2,41	96,5
5	113,7	2,40	2,42	96,7
6	113,7	2,40	2,42	96,9
7	113,7	2,41	2,43	97,1
8	113,7	2,42	2,43	97,3
9	113,7	2,42	2,44	97,6
10	113,7	2,43	2,44	97,8
11	113,7	2,43	2,45	98,0
12	113,7	2,44	2,45	98,2
13	113,7	2,44	2,46	98,4
14	113,7	2,45	2,46	98,6
15	113,7	2,45	2,47	98,9
16	113,7	2,46	2,47	99,1
17	113,7	2,46	2,48	99,3
18	113,7	2,47	2,49	99,5
19	113,7	2,47	2,49	99,7
20	113,7	2,48	2,5	99,9

Tabla 5.30: Índice de escasez una vez sean implementadas las tecnologías para el Escenario N°2.

Año	Sin tecnología	Con tecnologías		
	Índice de escasez hídrica (%)	HH azul Agrícola	HH Azul Total	Índice de escasez hídrica (%)
1	141,3	3,07	3,09	123,5
2	141,3	3,07	3,09	123,7
3	141,3	3,08	3,10	123,9
4	141,3	3,08	3,10	124,2
5	141,3	3,09	3,11	124,4
6	141,3	3,10	3,11	124,6
7	141,3	3,10	3,12	124,8
8	141,3	3,11	3,12	125,0
9	141,3	3,11	3,13	125,2
10	141,3	3,12	3,13	125,4
11	141,3	3,12	3,14	125,7
12	141,3	3,13	3,14	125,9
13	141,3	3,13	3,15	126,1
14	141,3	3,14	3,15	126,3
15	141,3	3,14	3,16	126,5
16	141,3	3,15	3,17	126,7
17	141,3	3,15	3,17	126,9
18	141,3	3,16	3,18	127,2
19	141,3	3,17	3,18	127,4
20	141,3	3,17	3,19	127,6

Con este resultado, si bien la Brecha Hídrica disminuye alrededor de un 18% en el primer año para ambos escenarios, aún se mantendría un índice alto (>40%).

5.4.2. Estimación de costos económicos.

Los DAA se constituyen originariamente por la DGA, mediante una resolución fundada, dentro de un procedimiento administrativo en el que se debe comprobar que existe disponibilidad del recurso hídrico y que el nuevo DAA no afectará derechos de terceros ya existentes (Carey, 2014). Mediante la Resolución DGA Exenta N°1432 de fecha 8 de octubre del 2004, se declara el agotamiento del río Choapa y sus Afluentes, al no existir los recursos

hídricos que permitan constituir nuevos DAA consuntivos permanentes. Mientras que la Resolución MOP N°18 del año 2019 declara Zonas de Prohibición para nuevas explotaciones de aguas subterráneas en los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento en Illapel y otros sectores de la provincia. Bajo este escenario y considerando el resultado del índice de escasez hídrica en la subcuenca, se puede decir que existe un claro incumplimiento por parte del Estado al no entregar en su totalidad los DAA que ya han sido otorgados a los usuarios, por lo tanto, debería ser éste el responsable de la implementación de las tecnologías en la unidad de estudio.

Para poder tener una estimación de los costos asociados a la distribución y uso del agua, se tomó como referencia los costos asociados a la producción de agua a partir del proceso de desalación, el cual bordea los \$680 pesos chilenos por m³, según una investigación realizada por la Universidad de Santiago de Chile, la cual sugiere que, para enfrentar la escasez hídrica, se propone impulsar la desalinización a bajo costo para el riego agrícola a partir de energía solar (USACH, 2019).

En la Tabla 5.31 se encuentra los costos en UF del caudal autorizado para los usuarios de la subcuenca. Valor UF al 1/01/2021: \$30.052,59 pesos chilenos.

Tabla 5.31: Costo asociado a la compra de agua para alcanzar los caudales de agua actualmente autorizados.

Escenario	Caudal total autorizado	
	m ³ /año	Costo [UF]
		Año
N°1	147.276.588	3.332.428
N°2	183.302.686	4.147.590

Se puede decir entonces, que el Estado Chileno debiera subsidiar anualmente más de 3 millones de UF para abastecer la totalidad de los DAA concedidos en la subcuenca del Río Illapel, y asegurar su uso de forma íntegra y completa.

5.4.2.1. Egresos en la implementación de las tecnologías.

Tal como se describió al finalizar los resultados del objetivo específico N°2, el recubrimiento de tranques acumuladores con geomembranas es una tecnología ya implementada por una

gran parte de los usuarios de la subcuenca, por lo tanto, no será parte de los análisis de este capítulo. De esta manera solo se contemplará la implementación de esferas de HDPE en los tranques acumuladores y la fertirrigación subterránea por microirrigación.

A. Inversión inicial

Esferas de HDPE.

Para estimar los costos asociados a la implementación de esta tecnología, se consideraron los valores cotizados en la empresa Exma Lta (la cual se encuentra en el Anexo N°4), sin embargo, a esta cotización se descontó el Impuesto al Valor Agregado (IVA), por tratarse de un proyecto de inversión social que debiese asumir el Estado.

Tabla 5.32: Costos en la implementación de esferas de HDPE en la unidad de estudio.

Material	Costo unitario (m ²) [CLP]	Área total de tranques acumuladores en la subcuenca (m ²)	Costo total [CLP]	Costo total [UF]
BARRIER BALL	\$8.497	207.883	\$1.766.361.063	58.776

Fertirrigación subterránea por microirrigación

Para estimar los costos de implementación, se consideraron los componentes que se encuentran en la Figura 5.34 y se supuso que el esquema corresponde a un cultivo de 5 has por ser aquellos que predominan en la subcuenca, de esta manera en la Tabla 5.33 se encuentra el costo total de la implementación (el cual al igual que el caso de las esferas de HDPE no considera el IVA).

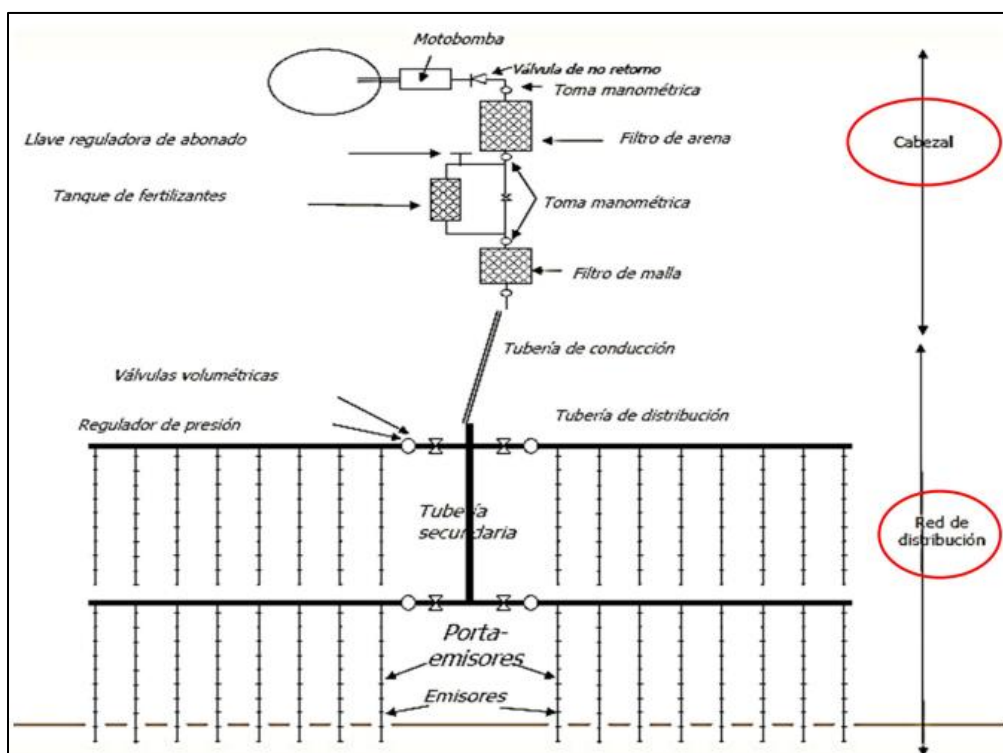


Figura 5.34: Componentes del sistema de fertirrigación. Fuente: Hayashi, 2014.

Tabla 5.33: Costos en la implementación de equipos y materiales utilizados en la fertirrigación subterránea por microirrigación en la unidad de estudio.

Material y equipos	Costo CLP	Unidades en 5 hás	Nº de cultivos de 5 hás	Costo totales CLP	Costo total [UF]
Bomba centrífuga 5,5 hp	\$654.796	1	1443	944.847.055	31.440
Válvula de paso 2"	\$21.700	1	1443	31.312.319	1.042
Filtro de arena 60m ³ /h	\$1.255.419	1	1443	1.811.524.422	60.278
Válvula de paso 2" (Reguladora de fertilizante)	\$27.532	1	1443	39.727.685	1.322
Adaptador de manómetro de bronce 1/2 hi 1/4.	\$1.831	3	1443	7.926.201	264
Estanque vertical estándar 2,4 m ³	\$204.676	1	1443	295.340.100	9.827
Filtro de malla 2"	\$30.688	1	1443	44.281.679	1.473
Tubo PVC presión clase 10 50mm 6m (Conducción)	\$10.481	1	1443	15.123.706	503

Cañería polietileno de alta presión 1" (Distribución)	\$54.111	10	1443	780.802.250	25.981
Cañería 1" x 50 m Hoffens (Secundaria)	\$24.292	5	1443	175.262.407	5.832
Válvula con control de flujo plástico 1" (Volumétrica)	\$22.672	4	1443	130.859.519	4.354
Gotero Integrado NETAFIM Aries 2 l/hora - Rollo 500 m	\$82.482	20	1443	2.380.371.133	79.207
Mano de obra, movimiento de tierra	\$544.000	5	1443	3.924.862.080	130.600
Total	-	-	-	10.582.240.556	352.124

B. Costos Fijos

Mantenimiento

Las medidas de mantenimiento se considerarán solo para la implementación en la fertirrigación subterránea por microirrigación, y éstas contemplarán el correcto funcionamiento de los equipos, principalmente los de filtrado y la red de distribución, para evitar la obstrucción de los emisores, además de un estricto control de los caudales y de la presión de la red. Según la guía de “Mantenimiento de los equipos de riego” (PROSAP, 2015), se recomienda hacer mantenimiento a los equipos de forma anual.

Se determinó un costo de mantenimiento del 2 % del valor del equipo, más el 20% de la mano de obra (Marengo, 2018), pero este último porcentaje se ve modificado por el Factor de Corrección por mano de obra semi-calificada, la cual según los precios sociales del año 2021 publicado por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia corresponde a 0,68, de esta manera, el costo total de mantenimiento será 22.192 UF cada año.

C. Valor residual

Se consideró una vida útil de 20 años para el proyecto por ser la duración establecida por los fabricantes de las tecnologías seleccionadas, y se depreció la inversión inicial de acuerdo con la nueva tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado del Servicio de Impuestos Internos (SII), la categoría en la cual entraría las tecnologías seleccionadas sería

“Actividad de la agricultura” (SII, 2021) y poseen una vida útil normal de 10 años, con una depreciación acelerada de 3 años. Tomando en cuenta lo anterior, se estimó la depreciación de la inversión al 80%, considerando que los componentes de la inversión al finalizar los 10 años tendrían un valor residual del 20%.

5.4.2.2. *Proyección de agua Recuperada*

En la Tabla 5.34 se encuentra la proyección de agua recuperada producto de la implementación de las tecnologías. El valor unitario por m³ se estimó según los costos asociados a la producción de agua a partir del proceso de desalación, el cual bordea los \$680 pesos chilenos por m³ para el riego agrícola.

Tabla 5.34: Ahorro monetario proyectado en ahorro anual promedio de agua.

Año	Agua recuperada considerando el rendimiento de las tecnologías (m ³ /año)	
	Caudal (m ³ /año)	Costos UF
1	23.346.527	528.262
2	23.066.369	521.923
3	22.786.211	515.584
4	22.506.052	509.244
5	22.225.894	502.905
6	21.945.736	496.566
7	21.665.577	490.227
8	21.385.419	483.888
9	21.105.261	477.549
10	20.825.102	471.210
11	20.544.944	464.870
12	20.264.786	458.531
13	19.984.627	452.192
14	19.704.469	445.853
15	19.424.311	439.514
16	19.144.152	433.175
17	18.863.994	426.836
18	18.583.836	420.496
19	18.303.677	414.157
20	18.023.519	407.818

5.4.2.3. Balance económico a lo largo del proyecto

El balance económico solo considera egresos estimados, ya que el alcance de este proyecto no considera ingresos, pero esto no significa que no existan, puesto que la implementación de tecnologías reducirá las pérdidas de agua, aumentando la cantidad de frutos y cultivos, también la fertirrigación subterránea mejorará la calidad y cantidad de producción entorno a un 40%.

En los egresos estimados se encuentra: La inversión inicial y el mantenimiento de las tecnologías en el tiempo, y por otro lado los gastos asociados a la compra de agua para satisfacer la demanda total de los DAA otorgados, la cual se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Egresos por la compra de agua} = \text{DAA otorgados} - \text{Agua recuperada}$$

Se estimó el Valor Actual Neto Social (VANS) para ambos escenarios considerando la implementación de las tecnologías, y se comparó con el VANS obtenido sin instalación de las tecnologías.

El VANS estimado utiliza una Tasa de Descuento del 6%, correspondiente a la tasa empleada en proyectos sociales sin fines de lucro.

Escenario N°1

Tabla 5.35: Flujo de caja para el Escenario N°1

Año	Inversión inicial y mantenimiento (UF)	Egresos por la compra de agua (UF)	Flujo Acumulado (UF)	Saldo actualizado al 6% (UF)
0	410.900	0	-410.900	-410.900
1	22.192	2.804.166	-3.270.130	-3.108.287
2	22.192	2.810.505	-6.135.699	-5.658.633
3	22.192	2.816.844	-9.007.607	-8.069.943
4	22.192	2.823.184	-11.885.855	-10.349.785
5	22.192	2.829.523	-14.770.442	-12.505.316
6	22.192	2.835.862	-17.661.368	-14.543.305
7	22.192	2.842.201	-20.558.634	-16.470.151
8	22.192	2.848.540	-23.462.238	-18.291.909
9	22.192	2.854.879	-26.372.181	-20.014.299

10	22.192	2.861.218	-29.288.463	-21.642.736
11	22.192	2.867.558	-32.178.213	-23.165.020
12	22.192	2.873.897	-35.074.302	-24.604.288
13	22.192	2.880.236	-37.976.730	-25.965.059
14	22.192	2.886.575	-40.885.497	-27.251.610
15	22.192	2.892.914	-43.800.603	-28.467.982
16	22.192	2.899.253	-46.722.048	-29.617.998
17	22.192	2.905.592	-49.649.832	-30.705.273
18	22.192	2.911.932	-52.583.956	-31.733.225
19	22.192	2.918.271	-55.524.419	-32.705.086
20	22.192	2.924.610	-58.471.221	-33.623.913

Al considerar la implementación de las tecnologías se obtiene un VANS de -33.623.913 UF al final del proyecto, pero al estimar el VANS sin tecnologías se obtiene un valor de -38.222.687 UF. Por lo tanto, las tecnologías permiten un ahorro monetario de más de 4,5 millones de UF para el Escenario N°1.

Escenario N°2

Tabla 5.36: Flujo de caja para el Escenario N°2.

Año	Inversión inicial y mantenimiento (UF)	Egresos por la compra de agua (UF)	Flujo Acumulado (UF)	Saldo actualizado al 6% (UF)
0	410.900	0	-410.900	-410.900
1	22.192	3.619.328	-4.085.292	-3.877.308
2	22.192	3.625.667	-7.766.023	-7.153.145
3	22.192	3.632.006	-11.453.093	-10.248.880
4	22.192	3.638.346	-15.146.503	-13.174.407
5	22.192	3.644.685	-18.846.252	-15.939.075
6	22.192	3.651.024	-22.552.340	-18.551.720
7	22.192	3.657.363	-26.264.767	-21.020.696
8	22.192	3.663.702	-29.983.533	-23.353.896
9	22.192	3.670.041	-33.708.638	-25.558.780
10	22.192	3.676.380	-37.440.082	-27.642.399
11	22.192	3.682.720	-41.144.994	-29.594.100
12	22.192	3.689.059	-44.856.245	-31.438.478
13	22.192	3.695.398	-48.573.835	-33.181.430
14	22.192	3.701.737	-52.297.764	-34.828.527

15	22.192	3.708.076	-56.028.032	-36.385.038
16	22.192	3.714.415	-59.764.639	-37.855.939
17	22.192	3.720.754	-63.507.585	-39.245.936
18	22.192	3.727.094	-67.256.871	-40.559.475
19	22.192	3.733.433	-71.012.496	-41.800.758
20	22.192	3.739.772	-74.774.460	-42.973.756

Al considerar la implementación de las tecnologías se obtiene un VANS de -42.973.756 UF al final del proyecto, pero sin tecnologías se obtiene un VANS de -47.572.531 UF, por lo que, las tecnologías permiten un ahorro monetario (al igual que el Escenario N°1) de más de 4,5 millones de UF para el Escenario N°2. Los Flujos de Caja del proyecto se encuentran en el Anexo N°5, en el cuales se detallan los ingresos y egresos de caja correspondientes a los 2 escenarios planteados, mientras que, para ninguno de estos es posible obtener la Tasa Interna de Retorno ni el Período de Recuperación.

6. Discusión

El propósito de este trabajo de título fue combinar y complementar tecnologías de riego que permitan recuperar la mayor cantidad de agua desaprovechada producto de la evapotranspiración, infiltración y evaporación en el sector agrícola de la subcuenca del río Illapel. La priorización de las tecnologías se realizó mediante el juicio de experto con personal local, y el análisis de las tecnologías seleccionadas permitió observar que independiente de cuales sean, la cantidad de agua consignada en los DDA otorgados es considerablemente superior a la oferta hídrica efectiva, por lo que se requiere más agua disponible que la que se podría recuperar.

Existe una incertidumbre de los caudales autorizados para cada sector productivo, ya que, al considerar solo la información oficial presente en el Catastro Público de Aguas de la DGA, se percató que estos datos no se condicen con los observados en terreno sobre las Organizaciones de Usuarios de Aguas, además tampoco incluye aquellos Derechos no inscritos debidamente, según lo establecido en la Ley, como lo son las captaciones no regularizadas, los pozos no registrados o la apropiación indebida de aguas, pudiéndose decir entonces, que los datos oficiales son menores a lo que efectivamente se está consumiendo. Un ejemplo de esto es la fracción del caudal autorizado para el rubro Minero, el cual solo representa al 0,05% del total, ya que por siglos la comuna de Illapel ha sido denominada la “Tierra de Oro y Sol” por la gran cantidad de pequeña y mediana Minería en la zona, debiendo representar entonces, un porcentaje de consumo de agua considerablemente mayor. Por otro lado, existen algunos DAA otorgados en unidades de valor variable (acciones), inscritos generalmente en el conservador de Bienes Raíces, que al no disponer de información fidedigna de la equivalencia de éstas a unidades de magnitud física (l/s o equivalente), tampoco fueron parte del análisis de este estudio. A su vez, una proporción importante de los DAA inscritos en el Catastro Público, no especifican el uso particular, lo cual en este proyecto se les denominó “Sin definir” y representan alrededor del 15% del total, que, si bien se trabajaron desde dos escenarios distintos, de igual manera existe la duda del vínculo efectivo a un rubro productivo.

En virtud de lo anterior, a pesar de ser el agua un recurso escaso y estratégico en el desarrollo económico, social y ambiental, y ser parte de la opinión pública como un tema recurrente en foros, desde técnicos hasta políticos, actualmente no existe certidumbre sobre quién y cuánta agua se ocupa.

Por lo demás, las tecnologías analizadas son distintas y actúan de forma muy diferente unas con otras, esto significó la necesidad de uniformarlas, usando descriptores y compilándolas en formato de fichas técnicas, como una herramienta que permitiera compararlas entre ellas. Este proceso de compilación y uniformización pudo dejar algunas variables y condiciones sin evaluar, por ejemplo, el análisis de la huella de carbono para cada una de las tecnologías, por considerar elementos que escapan del alcance de este trabajo.

Según el estudio “Comportamiento del Cliente Agrícola 2016” realizado por PMG, un 34% de los agricultores nacionales no invierte en equipamientos tecnológicos, y un alto porcentaje de ellos declara realizar sus compras de tecnología en distribuidores tradicionales del sector agrícola (PMG, 2016). Considerando estos antecedentes, sumados a que en nuestro país el nivel de inversión en nuevas tecnologías para el sector es bajo, se decidió optar por tecnologías presentes en el territorio nacional y en algunos casos a nivel local, que pudiesen estar acorde al comportamiento del cliente agrícola. Por otro lado, según el VII Censo Nacional Agropecuario del año 2007, el mayor número de explotaciones agropecuarias son inferiores a 5 hás y generalmente de carácter familiar, resultando complejo el acceso al financiamiento para tecnologías que requieren elevados montos de inversión y que por lo general, cuentan con periodos de recuperación más extensos, ya que si bien, el Estado debiese incentivar el uso de tecnologías agrícolas a través de fomentos monetarios para los agricultores, en muchas ocasiones esta situación no se da, debiendo ser estos últimos quienes financian los costos de éstas, por ende también se optó por tecnologías accesibles para ellos.

Sin embargo, a nivel mundial la industria de las tecnologías agrícolas es una de las más innovadoras, con una alta gama de tecnologías emergentes que van acorde a los tiempos actuales de conectividad a las redes de información y navegación. Entre estas destacan

herramientas como, sensores, Big data y software de gestión, los cuales monitorean variables que influyen en el ciclo agrícola como: humedad, conductividad, temperatura, concentración de clorofila, turgencia foliar, entre otros; a través de sensores y software que procesan grandes volúmenes de información y que pueden ser entregadas al agricultor a través de aplicaciones instaladas en los smartphone. Sin embargo, para el caso en estudio, este tipo de beneficios y economías de escala no sería posible, debido a la falta de elementos técnicos que faciliten la implementación de estas, por ejemplo, empresas distribuidoras locales, mano de obra, servicio al cliente, mantenimiento, entre otros.

La selección de las tecnologías fue mediante una encuesta dirigida a especialistas del área, sin embargo, debido al tiempo y a las medidas implementadas por protocolo Covid-19, no fue posible masificarla entre los usuarios, por lo que fue respondida por un total de 10 personas, entre los cuales se encontraban agricultores pertenecientes a las Organizaciones de Usuarios de Aguas y un profesional en Ciencias Agronómicas. Estos resultados demuestran una clara tendencia por cierto tipo de tecnología, principalmente en los tranques acumuladores, donde la mayoría opina que en primer lugar se debe evitar las pérdidas por infiltración y posteriormente invertir en tecnologías que eviten la evaporación. En cuanto a las tecnologías que pueden implementarse en los cultivos, la fertirrigación subterránea sería una mejor forma de optimizar el agua y los nutrientes, por lo tanto, significaría mayores ahorros monetarios. Al tratarse de expertos en el área, su opinión fue bastante similar y podría representar de mejor manera una solución concreta para el territorio, en comparación a si las encuestas hubieran sido respondidas por un grupo de personas al azar, donde sería probable que no contasen con conocimientos previos, lo cual generaría opiniones divergentes y menos representativas.

El uso de un tranque y un área de cultivo modelo cuentan con muchas variables que son simplificaciones, por lo tanto, las estimaciones realizadas pueden ser distintas a las pérdidas reales, existiendo una incertidumbre importante en los valores obtenidos. Por otro lado, la velocidad de infiltración básica según textura de suelo puede resultar sobreestimada, principalmente por asumir que toda la subcuenca cuenta con suelos arcillosos predominantes, ya que, al ser un área de estudio bastante extensa, es complejo poder

analizar la textura de suelo en espacios más reducidos, además, el uso de geomembranas que impermeabiliza el subsuelo es una técnica bastante común entre los usuarios, por lo tanto, las estimaciones realizadas podrían resultar considerablemente mayores.

La utilización del método Priestley and Taylor (Priestley & Taylor, 1972) en el cálculo de las pérdidas por evaporación desde los tranques acumuladores, se justifica por ser un método que estima la evaporación en grandes áreas, donde se reconoce que la tasa de evaporación es dominada por componentes derivados de la radiación. Los datos meteorológicos requeridos se obtuvieron desde la misma estación meteorológica y para facilitar la lectura de éstos, se seleccionaron días calendario que pudiesen representar a las estaciones del año y los datos fueron extrapolados a éstas, lo cual puede significar sobreestimaciones de por sí. El uso de otros métodos, principalmente empíricos, entregaría datos más certeros, pero bajo el actual escenario pandémico no pudo plantarse esta posibilidad. De igual manera, el uso de un “método combinado” tampoco fue posible por requerir variables complejas de obtener para un área de estudio extensa. Lo mismo ocurre al estimar las pérdidas por evapotranspiración, donde solo puede emplearse la evapotranspiración de referencia a través del método “FAO Penman- Monteith” al tener bases físicas sólidas e incorporar explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos. Sin embargo, este método también crea escenarios supuestos, como que no existiese restricciones de agua y utilizando un cultivo hipotético que, de igual manera, el uso de métodos empíricos entregaría valores calibrados para cada tipo de cultivo presente.

Conocer y disponer de información actualizada de la superficie que ocupan los tranques acumuladores en la subcuenca es de suma importancia para poder estimar las pérdidas que ocurren en estos por infiltración y evaporación, pero no existe un catastro disponible con esta información. Debido a esto, se realizó un levantamiento manual mediante la herramienta “Google Earth” de los tranques acumuladores, para posteriormente estimar su área, suponiendo una figura rectangular perfecta. Por último, se realizó una “calibración” acudiendo a uno de estos tranques y midiendo empíricamente su área, constatando que el dato obtenido desde Google Earth es cercano al valor real.

En relación con las pérdidas estimadas desde los tranques acumuladores, se puede mencionar que, si bien la evaporación en los meses de verano es baja (tomando la estimación desde el tranque modelo ≈ 6 mm/día), existe una diferencia de más de 5 mm/día en comparación a los meses invernales, situación que puede considerarse razonable debido a las variables meteorológicas, no obstante, como en las estimaciones existen muchas variables que son extrapolaciones, el valor real puede resultar incierto. Por otro lado, las pérdidas por infiltración son 18 veces mayores que las de evaporación, por este motivo, es extremadamente importante que entre los Usuarios de Aguas se continúe masificando la implementación de tecnologías de impermeabilización de tranques, tal como se observa en la Figura 6.1.



Figura 6.1: Tranques impermeabilizados con geomembrana en la subcuenca en estudio.

La superficie de cultivo para la comuna de Illapel fue extraída desde el Observatorio del CIREN, el cual contempla la información proveniente de Estudios de Uso y Manejo Actual de Suelos, sumado al Catastro Frutícola, y el Catastro Hortícola que fueron realizados por el mismo Centro. Sin embargo, estos datos no necesariamente representan la superficie de cultivo real, debido a que el uso efectivo sea distinto al declarado o por errores en la obtención de los datos, tal como ocurre con los datos oficiales de los DAA. Por lo tanto, sería

bueno para un futuro trabajo, contrastar esta información con datos extraídos desde imágenes satelitales y de reconocimiento de cultivos, como, por ejemplo, el uso de los satélites Landsat o Sentinel, aunque esto último también requeriría actividades de calibración en terreno.

Al analizar las pérdidas totales estimadas para cada escenario planteado, resulta que para los meses de verano en el Escenario N°1, las pérdidas son mayores que el caudal autorizado, por lo que este escenario es complejo de analizar y se podría justificar de dos formas, en primer lugar, que existiese una gran cantidad de DAA del sector agrícola que no se encuentran regularizados, por lo que no están disponibles en el Catastro Público, o en segundo lugar, que efectivamente la fracción que se encuentra sin definir en el Catastro sea parte del sector agrícola, tomando así mayor fuerza el Escenario N°2.

El mayor porcentaje de disminución de las pérdidas se estaría asociando a la tecnología de cultivo, es decir, la fertirrigación subterránea por microirrigación, la cual ahorra cerca del 15% en los meses de verano para el Escenario N°1 y un 12% para el Escenario N°2, respecto al caudal total autorizado. Pero este porcentaje puede variar dependiendo de la etapa en la cual se encuentre el ciclo de cultivo, ya que como se mencionó antes, la evaporación y transpiración son variables a lo largo del ciclo.

En conjunto, el empleo de las 3 tecnologías permitiría optimizar cerca del 21% del caudal autorizado en meses estivales y un 11% para los meses invernales en el Escenario N°1; mientras que para el Escenario N°2 optimizaría cerca de un 17% y un 9% respectivamente. Estas estimaciones son inferiores a las esperadas, por lo que se debiese incentivar la implementación de otras tecnologías complementarias que permitan recuperar un caudal aún mayor. Entre las descritas en las fichas técnicas, se puede mencionar el uso de mulch (tanto plástico como orgánico), hidrogeles y sensores, los cuales podrían complementar e incrementar la eficiencia hídrica en los cultivos.

Ahora bien, si el caudal disponible superficial es considerablemente menor que hace 20 años, ¿cómo se justificaría que el sector agrícola siga en aumento? Basándose en los resultados del primer objetivo específico, una teoría podría ser que se estén tramitando un

mayor número de solicitudes de Cambios del Ejercicio del Derecho o cambios en los Puntos de Captación, realizándose así, pozos cada vez más profundos, los que ocasionaron el agotamiento del acuífero (Resolución MOP N°18 del año 2019), y otra teoría sería que parte de las aguas utilizadas por los usuarios es producto del transvase que ocurre inter-cuenca, donde la misma pendiente del terreno, la infiltración, el almacenamiento en depresiones, el escurrimiento superficial de los predios y la percolación de las aguas subterráneas, permiten la “reutilización” de parte del caudal entre los usuarios.

Calcular el índice de escasez hídrica considerando solo la HH azul, permite obtener una aproximación cercana al índice real, ya que según indica el informe “Radiografía del Agua”, el norte de Chile muestra una clara dependencia a las fuentes superficiales y/o subterráneas (HH azul), mientras que para el sur del país existe una mayor dependencia a las aguas lluvia (HH verde). Por este motivo, si bien el alcance de este trabajo no permite determinar la HH verde de la subcuenca, su cálculo no resulta significativo en la determinación del índice. De igual manera, la evaluación ambiental del proyecto por medio de este índice podría entregar valores sobreestimados, tanto por la información disponible de los DAA empleados en la demanda, como también los caudales de oferta, ya que al evaluarse en un período de 20 años se consideró los caudales con un 50% de excedencia, que pudiese representar aquellas crecidas exponenciales que se observan en la subcuenca en períodos de aproximadamente 10 años.

El porcentaje de retorno de agua para el sector agrícola fue obtenido del balance hídrico del acuífero, y su valor (39,5%) converge con los resultados del informe “Transición hídrica” de Escenarios Hídricos, donde el porcentaje de retorno para este sector en la cuenca de Copiapó es de un 19%, mientras que para la cuenca del Aconcagua es un 47%. De esta manera, al encontrarse la subcuenca entre ambas cuencas y además por situarse en la parte alta, se puede decir que el porcentaje estimado puede ser cercano al valor real, sin embargo, esto requiere un análisis más detallado y actualizado de los caudales de recarga del acuífero.

Al analizar las estimaciones del índice de escasez hídrica, se puede decir que la subcuenca en estudio es un territorio que presenta un elevado déficit hídrico, producto de la gran brecha entre la oferta de agua en la zona y su demanda, que, si bien se ve reducida por la implementación de las 3 tecnologías evaluadas en este estudio (entorno a un 18% para el primer año), no es suficiente para disminuir al índice a un nivel medio. Sin embargo, al comparar estas estimaciones con los resultados obtenidos para la cuenca del Choapa en el informe “Radiografía del Agua” del 2018, ésta resulta ser un índice de solo un 40%; En este mismo informe se expresa textualmente “La información presente en el Catastro Público de Aguas de la Dirección General de Aguas posee algunos vacíos de información que limitaron el análisis desarrollado en esta Radiografía del Agua. Dichas carencias se relacionan con los siguientes aspectos: 1) El Catastro Público de Aguas contiene los Derechos de Aprovechamiento de Aguas debidamente registrados e inscritos, aunque no se acredita la vigencia del dominio de estos. 2) Este Catastro Público de Aguas no incluye aquellos derechos no inscritos debidamente según lo establecido en la ley, por lo que impide el total análisis de los derechos de aprovechamiento de aguas existentes en el mercado. 3) Una proporción importante de los derechos de aprovechamiento de aguas inscritos en el Catastro Público de Aguas, no especifican el uso particular o se asignan bajo la clasificación de “otros usos”, lo que impide vincularlo a su uso productivo respectivo.”

Considerando lo anteriormente expuesto, se estimó nuevamente el índice de escasez hídrica en la subcuenca, pero ahora dejando fuera de la demanda: La fracción del canal matriz y los DAA que se encuentran “sin definir”. Teniendo el siguiente resultado:

$$\text{Índice de escasez hídrica} = \frac{1,087}{2,498} \times 100$$

$$\text{Índice de escasez hídrica} = 43,5\%$$

En la Figura 6.2 se grafica el nuevo índice estimado, y para poder compararlo se grafica también los índices ya obtenidos en los resultados del objetivo específico N°4 para cada escenario y el índice de la cuenca del Choapa.

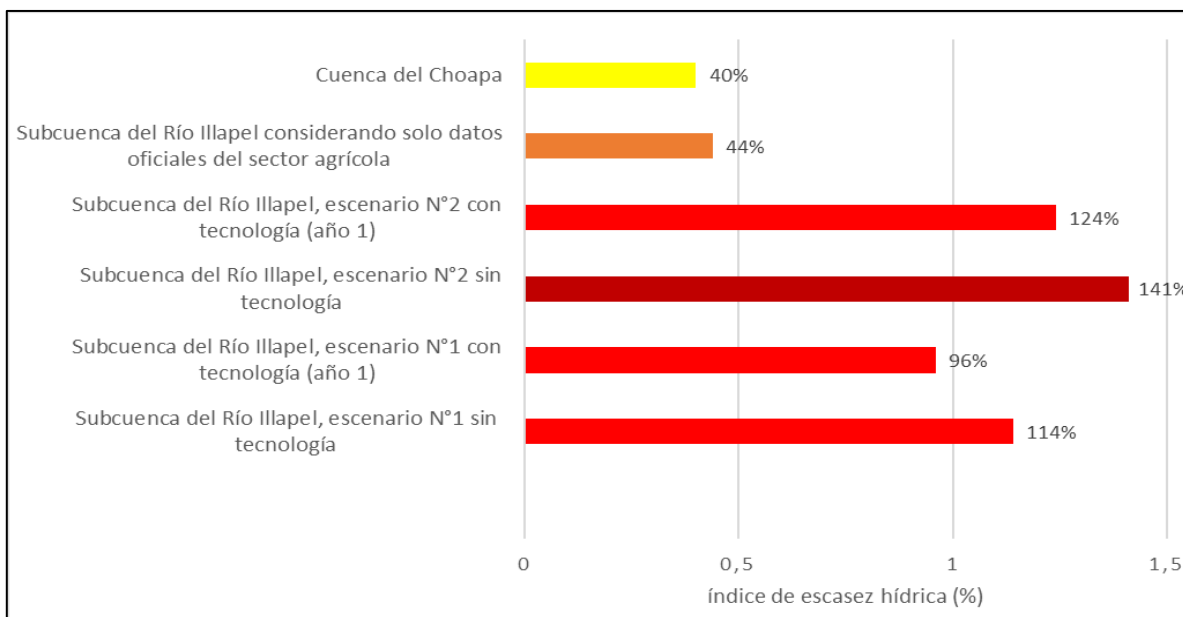


Figura 6.2: Nuevo índice en comparación a los escenarios planteados y la cuenca del Choapa.

Con este resultado se puede decir que, considerando solo la información oficial del Catastro Público, el índice continúa en un nivel alto, pero disminuye alrededor de un 97% en comparación con el Escenario N°2 y un 70% con el Escenario N°1, ambos sin tecnologías, bordeando así el nivel medio. Por ende, la falta de integración, actualización y transparencia de la información existente sobre el recurso hídrico limita el manejo y procesamiento de éstas para la realización de proyectos o estudios en beneficio de la misma gestión hídrica del territorio, como es el caso del presente estudio.

En cuanto al balance económico, se consideraron los costos por producción de agua desalinizada para evaluar económicamente el proyecto, debido a la escasez que enfrenta en territorio no permite solventar los DAA otorgados mediante el uso de aguas subterráneas ni superficiales, por este motivo, aunque estos costos representan un escenario ficticio de producción de agua, éste pudiese ser parte de futuras inversiones del Estado para asegurar el abastecimiento de aguas en zonas declaradas agotadas como la subcuenca en estudio. Por este motivo, es importante plantear un cargo por concepto de extracción de las aguas para los sectores productivos, es decir, un precio al

aprovechamiento que permita incorporar los costos de escasez y el funcionamiento de las fuentes de abastecimiento alternativas.

En relación con los egresos estimados, el alcance de este trabajo no permitió evaluar los costos de transporte ni almacenamiento, pero éstos elevarían el VANS estimado para ambos escenarios. También existe una incertidumbre en el valor estimado de la inversión inicial, debido a que se consideró que cada material y equipo asociado a la implementación de la fertirrigación subterránea se instalará en predios de 5 has por ser un tamaño que represente la mayor cantidad de explotaciones que existen en la subcuenca, sin embargo, al ser un tamaño estándar no necesariamente ocurre en la realidad, donde existen explotaciones de tamaños mayores y menores.

La evaluación económica del proyecto considera la depreciación de la inversión, porque al ser bienes de empleo constante y prologado, sufren desgastes por el uso y pierde su valor con el paso del tiempo. Por este motivo, se utilizó la depreciación acelerada según la nueva tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado del Servicio de Impuestos Internos (SII), la cual considera que la vida útil de la mayor parte de los materiales empleados es la mitad de los años de duración del proyecto (10 años), por ese motivo no se considera la venta de los activos al finalizar su vida útil.

Si bien el flujo de caja solo considera egresos estimados, existe un aumento de la capacidad productiva de la subcuenca que no formó parte del alcance de este proyecto y que conlleva a mayores ingresos monetarios para los usuarios debido al aumento de la disponibilidad de agua, que al ser empleada para el sector agrícola se transformará en biomasa para los cultivos producidos (frutos y hortalizas), generando así, una mayor cantidad de dinero disponible. De igual manera, la implementación de las tecnologías produciría un aumento en las empresas de servicio asociadas, es decir, empresas de venta y distribución, mano de obra, mantenimiento, servicios al cliente, mejoramiento de las tecnologías, entre otros, todo esto traduciéndose en un retorno incierto de la inversión.

Con las estimaciones realizadas, se puede decir que el uso de las tecnologías para ambos escenarios disminuiría en más de 4 millones de UF al año el adeudo que existiría por parte

del Estado Chileno para asegurar la cantidad de DAA otorgados a los usuarios; De acuerdo con esto y entendiendo que los montos estimados son extremadamente altos, se puede decir entonces, que el uso de tecnologías agrícolas permite ahorrar una cantidad importante de dinero.

Tal como se demostró en este trabajo, el empleo de tecnologías de riego permite el uso más eficiente del recurso hídrico, disminuyendo la pérdidas por evaporación, infiltración y evapotranspiración, sin embargo, el actual escenario del territorio demanda de mayores esfuerzos para enfrentar la escasez hídrica. La sobreexplotación del agua en la subcuenca del Río Illapel, que se presenta debido al constante aumento de la diferencia entre oferta y demanda de este recurso, requiere generar instancias de análisis y conocimiento de los problemas de agua en el territorio, que involucre a los usuarios de todos los sectores productivos, logrando coordinar iniciativas orientadas a la materialización de posibles soluciones a dichos problemas. Para esto, es importante el acceso a la información sobre los desafíos que presenta el tema del agua y el papel que les corresponde a los ciudadanos en su solución, mediante iniciativas de educación formal e informal hacia los usuarios.

Por otro lado, el rol que debe tomar el Estado Chileno es predominante, si se habla del sector agrícola, se debe fomentar el desarrollo de infraestructuras hidráulicas y de sistemas de tecnologías modernas para la aplicación de agua a los cultivos, que beneficie a la mayor cantidad de usuarios posibles, facilitando a estos mismos herramientas o capacitaciones para el mantenimiento de las tecnologías. Además, optimizar la conducción, almacenamiento y distribución de las aguas a través del mejoramiento y reconstrucción de canales de regadío para evitar pérdidas por infiltración y evaporación, porque si bien, el canal matriz Nueva Cocinera se encuentra revestido en hormigón (Figura 6.3), éste no evita las pérdidas por infiltración (a través de las grietas) ni menos por evaporación que se pueden presentar en los más de 25 km que recorre, así mismo, los canales secundarios en su mayoría tampoco presentan herramientas que impidan estas pérdidas. Por otro lado, también fomentar la reconversión agrícola a cultivos de menor requerimiento hídrico, que permita mantener rentabilidades con una menor cantidad de agua, por nombrar un ejemplo.

El VIII Censo Agropecuario y Forestal (año 2020-2021) que está próximo a ser publicado por el INE, entregará cifras actualizadas de las explotaciones que se están realizando en la subcuenca, y es una herramienta valiosa para fomentar los estudios y análisis de la distribución de las aguas destinadas al sector agrícola.



Figura 6.3: Canal matriz Nueva Cocinera.

Por último, se hace necesario desarrollar un programa de investigación sobre tecnologías, herramientas y cultivos, que puedan ser empleados en la unidad de estudio y establecer criterios de priorización de estos, para comprender así, las reales carencias de los usuarios e investigar in situ los porcentajes reales de eficiencia para cada uno, brindando de esta manera, un apoyo que realmente sea un aporte para los usuarios de la subcuenca. Esto puede ser llevado por organismos como INDAP, PRODESAL en conjunto con Universidades Públicas o Privadas, que impartan carreras en relación con las ciencias agronómicas.

7. Conclusiones

Se cuantificó el caudal autorizado para las actividades agrícolas, confirmando que este rubro representa el mayor consumidor de agua en la subcuenca del río Illapel con más del 60% del caudal autorizado equivalente a 4.670 l/s, existiendo una fracción correspondiente al 15% cuyo destino se desconoce, siendo necesario analizarlo bajo dos escenarios posibles, uno de estos, fue trabajarlo como un caudal sin rubro específico y en segundo lugar considerarlo como parte del sector agrícola.

Se identificaron 10 tecnologías factibles de implementar, las que fueron descritas y seleccionadas a través del análisis de expertos en el área agrícola con presencia local. Las tecnologías seleccionadas corresponden a la implementación de esferas de HDPE y el recubrimiento con geomembrana en tranques acumuladores de agua, mientras que para los cultivos predominó la fertirrigación subterránea por microirrigación.

Se determinó el porcentaje de agua recuperada de cada una de estas tecnologías suponiendo que fueran implementadas por todos los usuarios de la subcuenca, obteniendo un porcentaje total de recuperación que bordea el 13% respecto del caudal total autorizado para riego.

De acuerdo con el índice de escasez hídrica, este disminuiría alrededor de un 18% por la implementación de las tecnologías, sin embargo, no sería suficiente para obtener un índice en nivel medio, ya que según lo evaluado existe una alta presión sobre el recurso hídrico y un sobre otorgamiento de los DAA en la subcuenca, requiriéndose mayores esfuerzos para la gestión hídrica del territorio. En cuanto a la evaluación económica realizada, el Escenario N°1 es aquel más rentable si se considera la implementación de las tecnologías, generando una diferencia de un VANS de más de 9 millones de UF al año en comparación con el Escenario N°2, mientras que, para ambos escenarios las tecnologías reducirían el VANS en alrededor 4,5 millones de UF al año si se compara con un escenario sin tecnologías. Todos estos valores considerando el costo de producción y desalación de agua de mar para fines agrícolas.

8. Referencias

- Andreau, R., Etchevers, P., Chale, W. & L. Génova. (2012). Riego por goteo superficial y subterráneo de tomate cultivado bajo cubierta: distribución de la humedad edáfica y rendimiento cuali-cuantitativo. Recuperado de: <https://www.ina.gob.ar/cra/riego/fertiriego/pdf/Andreau.pdf>
- Ávila, E., Ríos, A., Morejón, Y., & Campos, B. (2020). *Evolución histórica de las fuentes energéticas empleadas en el abasto de agua y riego agrícolas*. Revista Ingeniería Agrícola, Vol. 11, núm. 1, pp. 48-50.
- Ballén, J., Galarza, M., & Ortiz, R. (2006). *Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia*. Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua João Pessoa, Brasil. Recuperado de: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoH.pdf>
- Banco Mundial. (2019). *Agua, Como la principal entidad multilateral de financiamiento para proyectos relacionados con el agua en los países en desarrollo, el Banco Mundial trabaja estrechamente con asociados para lograr la visión de “Un mundo con seguridad hídrica para todos”*. Recuperado de: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>
- Banco Mundial. (2021). *El Agua en la Agricultura*. Recuperado de: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture#1>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). (2013). *Singapur: la vanguardia en el sistema de agua potable*. Noticia, Observatorio Parlamentario. Recuperado de: <https://www.bcn.cl/observatorio/asiapacifico/noticias/sistema-de-agua-potable-en-singapur>
- Boisier, A. (2018). *Soluciones de Riego para las Nuevas Tendencias*. Recuperado de: https://fruittrade.cl/convencion2018/assets/la_sequia_boisier.pdf
- Bowen, S., Fábrega, F., Guiskin, M., Perasso, P. & Sakamoto, C. (2010). *Transformaciones sociales en el Valle del Choapa: globalización, agroindustria y gran minería*, pp 4-8.

- Recuperado de <https://www.aacademica.org/vii.congreso.chileno.de.antropologia/18.pdf>
- Campanini, O. (2020). *Mercantilización del agua: El agua cotiza en bolsa ¿Qué significa esto? y cuáles son sus implicaciones*. Centro de documentación e información Bolivia, pp 1-3. Recuperado de: <https://cedib.org/wp-content/uploads/2020/12/Mercantiliacio%CC%81n-del-Agua-articulo.pdf>
 - Carey. (2014). *Generalidades sobre los Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Chile*. Recuperado de: <http://www.reguemoschile.cl/pdf/sistema-de-derechos-de-aprovechamiento-de-aguas-Estudios-Carey.pdf>
 - Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA). (2015). *Boletín Climático*. CEAZAMET, núm. 19. Recuperado de: <http://boletin.ceazamet.cl/images/boletin/boletin.ceazamet.2015.06.pdf>
 - Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA). (2021). *Boletín Climático*. CEAZAMET. Recuperado de: <http://boletin.ceazamet.cl/images/boletin/boletin.ceazamet.2021.03.pdf>
 - Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). (2017). *Región de coquimbo, Provincia de Choapa Comuna de Salamanca Recursos Naturales y Proyectos*. Recuperado de: https://www.sitrural.cl/wp-content/uploads/2020/03/Salamanca_rec_nat_proy.pdf
 - Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). (2021). *Illapel*. Recuperado desde: <https://observatorio.ciren.cl/profile/geo/illapel>
 - Comisión Nacional de Riego (CNR). (2004). *Diagnostico Base de los Embalses El Bato y Corrales, IV Región*.
 - Comisión Nacional de Riego (CNR). (2010). *Infiltración del agua en el suelo*. Pp 1-2. Recuperado de: http://www.sepor.cl/informacion_cartillas/S106_Cartilla_Infiltracion_del_agua_en_el_suelo.pdf
 - Comisión Nacional de Riego (CNR). (2016). *Estudio Básico Diagnóstico para Desarrollar Plan de Riego en Cuenca del Choapa y Quilimarí*.

- Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID). (2016). *Estrategia Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos*. Recuperado de: <https://www.cnid.cl/wp-content/uploads/2017/04/Ciencia-e-innovacio%CC%81n-para-los-desafi%CC%81os-del-Agua-en-Chile-VF.pdf>
- Dévora, G., González, R., & Ruiz, S. (2013). *Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México*. Instituto Tecnológico de Sonora, México. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000300002
- Díaz, F. (1985). *Balnearios y dioses de las aguas termales en Galicia romana*. Archivo español de arqueología. Vol. 58. núm.151-152, pp 69-73. Madrid. Recuperado de: <https://fradive.webs.ull.es/artic/balngalicia.pdf>
- Dirección General de Aguas (DGA). (2004). *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad*. Cuenca del río Choapa, pp. 1-31. Recuperado de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Choapa.pdf>
- Dirección General de Aguas (DGA). (2017a). *Actualización del Balance Hídrico Nacional. SIT N° 417*. Recuperado de: <https://snia.mop.gob.cl/sad/REH5796v1.pdf>
- Dirección General de Aguas (DGA). (2017b). *Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile. S.I.T. N° 419*. Recuperado de: <https://snia.mop.gob.cl/sad/USO5795v1.pdf>
- Domínguez, E., Rivera, H., Vanegas, R., Moreno, P. (2008). *Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano*. Recuperado de: https://www.accefyn.com/revista/Vol_32/123/195-212.pdf
- Douas, M., Serena, P., Marqués, M. (2013). *La conexión Nanotecnología – Agua*. Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid. Recuperado de: <https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/conexion-nanotecnologia-agua>
- Empresa Metropolitana de Aguas de Sevilla (EMASESA). (2020). *El agua comienza a cotizar en el mercado de futuros de materias primas de wall Street*. Recuperado de:

- <https://catedra.us.es/catedraemasesa/el-agua-comienza-a-cotizar-en-el-mercado-de-futuros-de-materias-primas-de-wall-street/>
- Escenarios Hídricos 2030 Chile. (2018). Radiografía Del Agua Brecha y Riesgo Hídrico En Chile. Recuperado de: <https://escenarioshidricos.cl/>
 - Escenarios Hídricos 2030 Chile. (2019). *Transición Hídrica El Futuro Del Agua En Chile*. Recuperado de: <https://escenarioshidricos.cl/>
 - Exma. (2021). *Cubierta Flotante Barrier Ball*. Recuperado de: https://www.barrierball.cl/cubierta_flotante_barrierball
 - Fernández, A. (2012). *El agua: un recurso esencial*. Química Viva, vol. 11, núm. 3, pp. 151-159. Universidad de Buenos Aires Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
 - Fountain, H. (2019). *¿Cuánto cuesta desalinizar el agua que necesita el mundo?* Revista, The New York Times. Recuperado de: <https://www.nytimes.com/es/2019/10/23/espanol/mundo/agua-desalinizada.html>
 - Gobierno Regional de Coquimbo (GORE Coquimbo). (2015). *Illapel*. Recuperado de <https://www.gorecoquimbo.cl/illapel/gorecoquimbo/2015-05-08/162245.html>
 - Granados, W., Hualpa, A., Llumpo, I., & Valle, J. (2016). *Sistema de reciclaje de agua para inodoros*. trabajo de Investigación para optar el Grado Académico, Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú. Recuperado de: http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/3154/3/2016_Granados-Aguilar.pdf
 - Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP). (2010). *Manual de pequeñas Obras de Riego en la Agricultura Familiar Campesina*. Recuperado de: <https://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/manual-peque%C3%B1as-obras-de-riego-afc.pdf>
 - Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura (INTAGRI). (2017). *La Hidroponía: Cultivos sin suelo*. Recuperado de: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>

- Israel - Novel Efficient Water Technologies. (2014). *Agua. La experiencia Israelí*. Recuperado de: <https://www.hidrojing.com/wp-content/uploads/2014/01/NEWTechbrochureSPANISH.pdf>
- Junta de Vigilancia del Río Choapa y sus Afluentes (JVRCH). (2021). *Prorratas*. Recuperado de: <https://riochoapajv.cl/2021/05/18/junta-de-vigilancia-mantiene-dotacion-de-agua-al-15-de-sus-derechos/>
- Liota, M., Carrión, R., Ciancagnili, N., Olguín, A. (2015). *Manual de Capacitación: Riego por Goteo*. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf
- Marengo, A. (2018). Análisis económico comparado de dos tecnologías de riego: Por aspersión y por goteo. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_analisis_economico_comparado_de_dos_tecnologias_de_riego.pdf
- Martínez, C., Rebolledo, S., Espinoza, C. & Parraguez, C. (2003). *Caracterización del relleno de la cuenca del río Illapel, Entre Huintil y El Peral*. Recuperado de https://biblioteca.sernageomin.cl/opac/datafiles/martinezc_et_al.pdf
- Mendieta, A. (2013). *Formulación de estrategias para ahorro y uso eficiente de agua en el proceso de fosfatizado de una empresa manufacturera*. Trabajo de posgrado, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3597/628168M538.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2015). *Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015*. Delegación Presidencial para los Recursos Hídricos, pp 12-26. Recuperado de: https://www.interior.gob.cl/media/2014/04/recursos_hidricos.pdf
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2013). *Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025*. Recuperado de: https://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2020a). *Mesa Nacional del Agua. Primer Informe*. Pp 11-19. Recuperado de: https://www.mop.cl/Prensa/Documents/Mesa_Nacional_del_Agua_2020_Primer_Info_rme_Enero.pdf

- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2020b). *Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca de Choapa S.I.T. N° 463*. Recuperado de: <https://snia.mop.gob.cl/sad/ADM5898v2.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2021). *Decretos declaración zona de escasez vigentes*. Recuperado de: <https://dqa.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx>
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). (2017). *Agricultura Chilena Reflexiones y Desafíos al 2030*. Recuperado de: https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/ReflexDesaf_2030-1.pdf
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). (2019). *Panorama de la Agricultura Chilena*. Pp 20-32. Recuperado de: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/09/panorama2019Final.pdf>
- Olivero, H. (1961). *Antecedentes históricos de los sistemas urbanos de abastecimiento de agua y consideraciones generales sobre estos en América Latina*. Ministerio de Salud Pública, Guatemala. Recuperado de: <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/12453/v51n3p195.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA). (2021). *Gestión del agua con fines agrícolas*. Recuperado de: <https://www.iaea.org/es/temas/gestion-del-agua-con-fines-agricolas>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2006). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2011). *Cálculo de ET_0 : Método de Penman-Monteith*. Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/C%C3%A1lculo%20ET0dic12_tcm30-82979.pdf

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). *Tecnologías para el Uso Sostenible del Agua*. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i3442s/i3442s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). *Agricultura Mundial: Hacia los años 2015/2030. Informe resumido*. Recuperado de: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Agricultura-mundial-hacia-los-a%C3%B1os-20152030-Informe-resumido.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. No dejar a Nadie Atrás*. Recuperado de: <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020. Agua y Cambio Climático*, pp 8-18. Recuperado de: <https://es.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2020>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (1997). *Evaluación general de los recursos de agua dulce del mundo*. Nueva York.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2016). *Manual de indicadores e índices de sequía*. Pp 17-18. Recuperado de: https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP_Manual-de-indicadores_2016
- Paredes, J. (2013). *Importancia del agua*. Artículo, Universidad San Martín de Porres. Recuperado de: <https://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info86/articulos/importanciaAgua.html>
- PMG, Business Improvement. (2016). *Radiografía Agrícola 2016 Comportamiento del Agricultor*. Recuperado de: <https://www.pmgchile.com/wp-content/uploads/2016/12/Estudio-Agricola-PMG.pdf>

- Priestley, C., & Taylor, R. (1972). *On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. Atmospheric Physics.*
- Programa de Servicios Agrícolas (PROSAP). (2015). *Mantenimiento de los Equipo de Riego.* Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_mantenimiento_de_los Equipos_de_Riego.pdf
- Servicio de Impuestos Internos (SII). (2003). *Nueva tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado.* Recuperado de: https://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla_vida_enero.htm
- Timmons, M., Ebeling, J., Wheaton, F., Summerfelt, S., & Vinvi, J. (2002). *Recirculating aquaculture systems. Cayuga Aqua Ventures.* pp. 631-672.
- Troncoso, A. (2021). *Características demográficas y socioeconómicas, comuna de Illapel.* Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). Recuperado de: https://www.sitrural.cl/wp-content/uploads/2021/05/Illapel_demograficas.pdf
- Universidad de Santiago de Chile (USACH). (2019). *Para enfrentar escasez hídrica: Investigador impulsa la desalinización a bajo costo para el riego agrícola a partir de energía solar.* Recuperado de: <https://www.usach.cl/news/investigador-impulsa-la-desalinizacion-bajo-costo-para-riego-agricola-partir-energia-solar>
- Zegarra, E. (2014). *Economía del agua: conceptos y aplicaciones para una mejor gestión.* Grade. Agua; Análisis económico; Gestión del agua; Lima, Perú, pp 10-15. Recuperado de: <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Peru/grade/20141215055610/Economiadelagua.pdf>

9. Anexos

9.1. Anexo N°1

Derechos de Aprovechamiento de aguas, Subcuenca del río Illapel

Nombre Solicitante	Tipo Derecho	Naturaleza del Agua	Ejercicio del Derecho	Caudal Anual Prom	Unidad de Caudal
COMITE PRO-AGUA RURAL DE PINTACURA SUR	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	5	Lt/s
COMITE DE AGUA POTABLE RURAL LOS CRISTALES PERALILLO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	3	Lt/s
CLAUDIO ANTONIO AVEGGIO PEIRANO	Consuntivo	Superficial	Permanente y Continuo	2	Acciones
SOCIEDAD PUNTA DEL COBRE S.A.	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	6	Lt/s
SOCIEDAD PUNTA DEL COBRE S.A.	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	6	Lt/s
CLAUDIO ANTONIO AVEGGIO PEIRANO	Consuntivo	Superficial	Permanente y Continuo	5	Acciones
CLAUDIO ANTONIO AVEGGIO PEIRANO	Consuntivo	Superficial	Permanente y Continuo	6	Acciones
CLAUDIO ANTONIO AVEGGIO PEIRANO	Consuntivo	Superficial	Permanente y Continuo	3	Acciones
SEBASTIÁN IGNACIO ROSA SOTO	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	-18	Lt/s
EXEQUIEL UBILLO CASTRO	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	7,957	Lt/s
JESSICA JACQUELINE LOBO TAPIA	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	0,654	Lt/s
GERARDO JAIME TORO ARAYA	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	8,07	Acciones
SOCIEDAD AGRICOLA GIPAL LIMITADA.	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
SOCIEDAD AGRICOLA GIPAL LIMITADA.	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
SOCIEDAD AGRICOLA GIPAL LIMITADA.	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
SOCIEDAD AGRICOLA GIPAL LIMITADA.	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
CLAUDIO ANTONIO AVEGGIO PEIRANO	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	5	Acciones
COMITE DE AGUA POTABLE RURAL DE LIMAHUIDA	Consuntivo	subterránea	Permanente y Continuo	3,5	Lt/s
GREGORIO BARRERA FLORES	Consuntivo	subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
GREGORIO BARRERA FLORES	Consuntivo	subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s

Anexos

COMITE DE AGUA POTABLE QUEBRADA DE CARCAMO SUR	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	3	Lt/s
RODOLFO RODRIGO BRIONES ORREGO	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	3,06	Lt/s
RODOLFO RODRIGO BRIONES ORREGO	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	1,275	Lt/s
COMITE DE AGUA POTABLE RURAL DE CARCAMO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2,5	Lt/s
COMITE AGUA POTABLE RURAL HUINTIL SUR	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	5	Lt/s
PESQUERA PEJERREY LIMITADA	No Consuntivo	Superficial y Corriente	Eventual y Continuo	91,7	Lt/s
PESQUERA PEJERREY LIMITADA	No Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	408,3	Lt/s
NOLIS DE LA CRUZ ROJAS ROJAS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
NOLIS DE LA CRUZ ROJAS ROJAS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
JORGE LUIS SILVA SOTO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
HECTOR TOMAS SOTO TAPIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
INES NORIS CARVAJAL VARAS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,54	Lt/s
JUAN ANTONIO POLO OSSES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,6	Lt/s
JUAN ANTONIO POLO OSSES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,79	Lt/s
JUAN ANTONIO POLO OSSES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
MARIA ISABEL PACHECO PIZARRO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
JOSE ANDRES GONZALEZ VILLARROEL	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
SOCIEDAD AGRICOLA LOS PALTOS DE CARCAMO Y COMPAÑIA LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,9	Lt/s
CLUB AEREO DE ILLAPEL	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,79	Lt/s
JUAN ALFONSO ASPE FERANANDEZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
MARCOS DEL ROSARIO BUGUEÑO ARAYA	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	0,796	Lt/s
PESQUERA PEJERREY LIMITADA	No Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	0,1363	m3/s
PESQUERA PEJERREY LIMITADA	No Consuntivo	Superficial y Corriente	Eventual y Continuo	0,3638	m3/s
ELISEO ENRIQUE VERGARA PEREZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,6	Lt/s
HUGO SALVADOR MONTERO PIÑONES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
JACINTO DEL CARMEN MARTINEZ RODRIGUEZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,83	Lt/s
EDUARDO LEONCIO DONOSO LISBOA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,53	Lt/s

Anexos

ELIAS DEL CARMEN GALLARDO CORTES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,81	Lt/s
JULIO DEL CARMEN CACERES FERNANDEZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
IVAN DEL ROSARIO VEGA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
SUCESION DANIEL TAPIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
SUCESION DANIEL TAPIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,07	Lt/s
SUCESION DANIEL TAPIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,18	Lt/s
SUCESION DANIEL TAPIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,5	Lt/s
MARIETTA GODOY RODRIGUEZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,33	Lt/s
MARIETTA GODOY RODRIGUEZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,47	Lt/s
GONZALO SUBERCASEAUX PEREZ-COTAPOS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,25	Lt/s
PEDRO ANALIO FLORES ROJO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
PEDRO ANALIO FLORES ROJO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
PEDRO ANALIO FLORES ROJO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
JULIO ENRIQUE VALENCIA VALENCIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,67	Lt/s
HECTOR CASIMIRO CARVAJAL VARAS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,42	Lt/s
JUANA ESTAY VILLARROEL	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
MARIA JOSE CORTES CARVAJAL	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,8	Lt/s
ALFONSO PACHECO CONTRERAS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,1	Lt/s
CRISTIAN TISKA VIVANCO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,87	Lt/s
ROSA ELVIRA DONOSO LATUZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
FRUTOS DEL CHOAPA SPA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,19	Lt/s
FRUTOS DEL CHOAPA SPA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
SOCIEDAD AGRICOLA LOS PALTOS DE CARCAMO Y COMPAÑIA LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
AMARO JAIME MUÑOZ PIZARRO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,84	Lt/s
GLADYS DEL CARMEN CESPEDES CESPEDES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,1	Lt/s
FRUTOS DEL CHOAPA SPA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
ALONSO DEL CARMEN CARVAJAL ROBLES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,56	Lt/s

Anexos

ORLANDO NUÑEZ LOPEZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
JUAN VICTOR ASTUDILLO QUIROGA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,39	Lt/s
JOAQUIN ROJO MOYANO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,9	Lt/s
MARIO ENRIQUE OROS VEGA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,14	Lt/s
IVAN ANTONIO PEÑA ORREGO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,19	Lt/s
ABEL CASTILLO NAVEA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,23	Lt/s
CARLOS ESTEBAN ÑIGUEZ CONCHA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
CARLOS ESTEBAN ÑIGUEZ CONCHA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
CARLOS ESTEBAN ÑIGUEZ CONCHA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,35	Lt/s
ROSA MADRID CALDERON	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,36	Lt/s
JOSEFINA DEL CARMEN TORDECILLA PEREZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,86	Lt/s
DAVID ALONSO PLAZA CHACON	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,57	Lt/s
MIGUEL ANGEL REBOLLEDO GONZALEZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
SELIM ANTONIO FERREIRA MURGA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,95	Lt/s
CESAR ANTONIO FERREIRA VILLALOBOS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,95	Lt/s
ELIAS DEL CARMEN GALLARDO CORTES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,42	Lt/s
NORTON PABLO ROJAS CABRERA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,73	Lt/s
LUIS ALTAMIRO ROJAS SANTANDER	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,11	Lt/s
JOSE MANUEL LAS HERAS TOLEDO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,18	Lt/s
JOSE MANUEL LAS HERAS TOLEDO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,25	Lt/s
JOSE MANUEL LAS HERAS TOLEDO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,27	Lt/s
JOSE MANUEL LAS HERAS TOLEDO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,2	Lt/s
ELEODORO PEÑA ROJAS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,21	Lt/s
ELEODORO PEÑA ROJAS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,26	Lt/s
ELEODORO PEÑA ROJAS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,21	Lt/s
ANA MARIA CABEZAS RODRIGUEZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,3	Lt/s
ANA MARIA CABEZAS RODRIGUEZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1	Lt/s

Anexos

SELIM ANTONIO FERREIRA MURGA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,61	Lt/s
VICTOR VILLARROEL GUERRERO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,71	Lt/s
SOCIEDAD MINERA CALIFORNIA LTDA.	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,9	Lt/s
SOCIEDAD MINERA CALIFORNIA LTDA.	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,47	Lt/s
SOCIEDAD MINERA CALIFORNIA LTDA.	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,17	Lt/s
SOCIEDAD MINERA CALIFORNIA LTDA.	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,32	Lt/s
VICTOR WALDO NAZER ESBIR Y OTROS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,17	Lt/s
VICTOR WALDO NAZER ESBIR Y OTROS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,41	Lt/s
VICTOR WALDO NAZER ESBIR Y OTROS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,2	Lt/s
MERCEDES BEATRIZ SALEH SABAT	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,76	Lt/s
GUISELA HERMINIA MATELUNA GAMBOA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,14	Lt/s
RODOLFO RODRIGO BRIONES ORREGO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,47	Lt/s
SUCESION NESTOR DEL CARMEN CONTRERAS COFRE	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,35	Lt/s
ELBA DEL CARMEN BUGUEÑO FERNANDEZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,17	Lt/s
JOSE ENRIQUE MOLINA OLIVARES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,33	Lt/s
JOSE ENRIQUE MOLINA OLIVARES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,51	Lt/s
JUAN MANUEL PAYACAN TAPIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,14	Lt/s
ANA ELIZABETH PIÑONES HERRERA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,16	Lt/s
MARTA DEL ROSARIO NIÑO CORTES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,3	Lt/s
HECTOR ALIRO CORTES SUAREZ Y OTROS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,34	Lt/s
HECTOR ALIRO CORTES SUAREZ Y OTROS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,82	Lt/s
ERNESTO DE JESUS SALINAS OLIVARES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
TEODORO DEL CARMEN BRAVO HUERTA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,62	Lt/s
GABRIEL HERNAN PEÑA ASTUDILLO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
ILSE GUISELA WÜSTENFELD THROM Y OTROS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,47	Lt/s
ALFREDO LUIS POOLEY LISCOMBE	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,25	Lt/s
VICTORIA NORMA DEL C COLLAO SALINAS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,3	Lt/s

Anexos

VICTORIA NORMA DEL C COLLAO SALINAS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,9	Lt/s
ANA GLORIA LOPEZ GARCIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,45	Lt/s
CRISTINA DEL ROSARIO OSSANDON TAPIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,11	Lt/s
EMILIA RODRIGUEZ MARIN	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
EMILIA RODRIGUEZ MARIN	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
ITALO ROBUSTIANO OLIVARES GUERRA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
SOCIEDAD DE PARCELEROS HACIENDA ILLAPEL LTDA.	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
SOCIEDAD DE PARCELEROS HACIENDA ILLAPEL LTDA.	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
PESQUERA PEJERREY LIMITADA	No Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	0,2259	m3/s
PESQUERA PEJERREY LIMITADA	No Consuntivo	Superficial y Corriente	Eventual y Continuo	0,2741	m3/s
SOCIEDAD AGRICOLA COMERCIAL MONTENEGRO HIJOS LTDA.	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,49	Lt/s
JOSE ANDRES GONZALEZ VILLARROEL	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,71	Lt/s
JOSE ANDRES GONZALEZ VILLARROEL	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,14	Lt/s
COMITE DE AGUA POTABLE RURAL DE TUNGA SUR	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	10,8	Lt/s
GERARDO JAIME TORO ARAYA	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	1,5	Acciones
GERARDO JAIME TORO ARAYA	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	1	Acciones
COMITE DE AGUA POTABLE RURAL DE TUNGA NORTE	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	5	Lt/s
TERESA DE JESUS MOYANO MOYANO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,31	Lt/s
GONZALO CASTILLO ALVAREZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,2	Lt/s
JOAQUIN ROJO MOYANO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,5	Lt/s
JORGE RICARDO MOLINA NAVARRO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1	Lt/s
JORGE RICARDO MOLINA NAVARRO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
SERGIO DEL CARMEN TAPIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,2	Lt/s
JUAN MANUEL ORDENES CORTES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,1	Lt/s
CARLOS ENRIQUE CORREA VENECIANO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
PEDRO JUAN VENECIANO ROJAS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,1	Lt/s
ELEODORO DEL CARMEN CORREA VENECIANO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,1	Lt/s

Anexos

ERCILIA DEL CARMEN VENECIANO PEÑA Y OTROS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
JUAN BERNARDO MOLINA ZAVALA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,5	Lt/s
RAUL ANTONIO MOLINA ZAVALA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,5	Lt/s
FIDEL DEL CARMEN MOLINA CORTES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,2	Lt/s
BERNARDO ARTURO MARTINEZ ARAYA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,4	Lt/s
ANA LUISA ALTAMIRANO MORALES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,4	Lt/s
ORFELINA CORTES VIALLALOBOS Y OTROS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
GONZALO SUBERCASEAUX PEREZ-COTAPOS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	16,4	Lt/s
MAURICIO ANDRES HARRISON LARRAIN	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	5,9	Lt/s
GERARDO JAIME TORO ARAYA	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	1	Acciones
GERARDO JAIME TORO ARAYA	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	1,9	Acciones
GERARDO JAIME TORO ARAYA	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	1,1	Acciones
COMITE DE AGUA POTABLE RURAL LAS CAÑAS DOS Y CHOAPA VIEJO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	6	Lt/s
COMITE DE AGUA POTABLE RURAL PERALILLO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	4	Lt/s
JUAN RUBEN MORALES ALTAMIRANO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,7	Lt/s
ALFONSO NATALIO DAINES PEÑA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,2	Lt/s
JUAN BAUTISTA MOLINA ZAVALA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,6	Lt/s
PEDRO MIGUEL CORTES CORTES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,2	Lt/s
JUAN WENKE WILLIAMS Y OTROS	No Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Discontinuo	0,0138	m3/s
JUAN WENKE WILLIAMS Y OTROS	No Consuntivo	Superficial y Corriente	Eventual y Continuo	0,8863	m3/s
SILVANO ISAAC MOYANO QUIROGA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,62	Lt/s
JUAN BERNARDO MOLINA ZAVALA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,1	Lt/s
LUZMIRA DEL ROSARIO RAMIREZ CASTILLO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,1	Lt/s
CARLOS ESTEBAN ÑIGUEZ CONCHA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,9	Lt/s
ALEJANDRO HERNAN ROJAS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,34	Lt/s
MARTA ORREGO LEON	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,1	Lt/s
LUZ MARGARITA LEIVA ALFARO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,1	Lt/s

Anexos

JUVENAL JAVIER ROJAS TELLO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,25	Lt/s
EDUARDO ELEODORO VENECIANO PEÑA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,5	Lt/s
JUAN BAUTISTA MOLINA ZAVALA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,7	Lt/s
JORGE HERNAN MANCILLA CAMPILAY	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,2	Lt/s
JORGE HENRIQUEZ CONTRERAS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,1	Lt/s
LUIS ALBERTO CORREA VENECIANO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,7	Lt/s
JACINTO ENRIQUE NAVEA CAMPOS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,98	Lt/s
CARLOS SEGUNDO NAVEA CAMPOS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,22	Lt/s
JOSE MANUEL POLANCO NAVEA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,31	Lt/s
RAMON DEL CARMEN TAPIA SALINAS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,1	Lt/s
MANUEL DEL ROSARIO VICENCIO VICENCIO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,2	Lt/s
PEDRO JUAN CASTILLO ALVAREZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,11	Lt/s
MANUEL JESUS CESPEDES CESPEDES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,07	Lt/s
RAUL DEL CARMEN OLIVARES OLIVARES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,6	Lt/s
LUIS ARTEMIO ALTAMIRANO MORALES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,7	Lt/s
MARIO SANDRO CORTES OLIVARES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,2	Lt/s
ARNOLDO DEL CARMEN OLIVARES JIMENES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,9	Lt/s
PEDRO ANTONIO JAMETT	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,5	Lt/s
CARMEN ROSA OLMOS GONZALEZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
LUZMIRA DEL ROSARIO RAMIREZ CASTILLO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
LUIS HERNAN RAMIREZ ADASME	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,34	Lt/s
IDALIA DEL CARMEN CABRERA ADASME	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,18	Lt/s
IDALIA DEL CARMEN CABRERA ADASME	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,11	Lt/s
EMMA ROSA GARCIA MOLINA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,23	Lt/s
MARIA LILIAN MATURANA RETAMALAES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,14	Lt/s
ALEJANDRA MAGGIOLO GARCIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	3,2	Lt/s
ALEJANDRA MAGGIOLO GARCIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	30	Lt/s

Anexos

REBECA AMINTA ESCOBAR MACUADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	10	Lt/s
REBECA AMINTA ESCOBAR MACUADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	12	Lt/s
COMITE AGUA POTABLE RURAL CAÑAS 1	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	8,25	Lt/s
COMITE AGUA POTABLE RURAL SANTA VIRGINIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	5,5	Lt/s
MAURICIO ALFREDO HARRISON GANDARILLAS	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	1	Acciones
MAURICIO ALFREDO HARRISON GANDARILLAS	Consuntivo	Superficial	Permanente y Continuo	1	Acciones
MARIA LIGIA RAMIREZ DUQUE	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	3	Lt/s
GRACIELA LUZMIRA CARDEMIL CABRERA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	5	Lt/s
GRACIELA LUZMIRA CARDEMIL CABRERA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	3	Lt/s
GRACIELA LUZMIRA CARDEMIL CABRERA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	8	Lt/s
ELIN DARIO ROZAS DIAZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,06	Lt/s
ELIN DARIO ROZAS DIAZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,23	Lt/s
ELIN DARIO ROZAS DIAZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,16	Lt/s
ELIN DARIO ROZAS DIAZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,23	Lt/s
CECILIA ALEJANDRA TAPIA MERCADO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,69	Lt/s
COMITE DE AGUA POTABLE RURAL DE CARCAMO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	5,6	Lt/s
JORGE ENRIQUE ESCOBAR LEON	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	7,68	Lt/s
AGRICOLA CALLE LARGA LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	4,32	Lt/s
ANITA AURORA SOTO CORTES Y OTROS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,02	Lt/s
AGROSERVICIOS CALLE LARGA LIMITADA	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	27	Lt/s
HUMBERTO DE LA CRUZ ALVAREZ ALVAREZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,3	Lt/s
JOSE ISMAEL ESQUIVEL SAAVEDRA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,41	Lt/s
DAVID SEGUNDO CODOCEO REYES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,69	Lt/s
MARIA ANGELICA GUERRERO OLIVARES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,21	Lt/s
MIGUEL ALFONSO GOMILA GARCIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,4	Lt/s
MIGUEL ALFONSO GOMILA GARCIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,2	Lt/s
RIGOBERTO CELIS ROJAS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1	Lt/s

Anexos

GINO AUGUSTO MAGGIOLO CARDEMIL	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
GIANCARLO MAGGIOLO CARDEMIL	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,78	Lt/s
ALEJANDRA MAGGIOLO GARCIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
ALEJANDRA MAGGIOLO GARCIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
ALEJANDRA MAGGIOLO GARCIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
ELISEO CHAVEZ ASTUDILLO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
PATRICIA CAROLINA VALDES MORENO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,56	Lt/s
AGRICOLA LOS RENUEVOS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
AGRICOLA ENTRE CERROS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2,1	Lt/s
AGRICOLA ENTRE CERROS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2,4	Lt/s
AGRICOLA ENTRE CERROS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,6	Lt/s
AGRICOLA ENTRE CERROS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,3	Lt/s
AGRICOLA ENTRE CERROS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	4	Lt/s
AGRICOLA ENTRE CERROS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,6	Lt/s
AGRICOLA ENTRE CERROS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,9	Lt/s
AGRICOLA ENTRE CERROS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,6	Lt/s
AGRICOLA ENTRE CERROS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,1	Lt/s
AGRICOLA ENTRE CERROS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,5	Lt/s
SOCIEDAD AGRICOLA GIPAL LIMITADA.	Consuntivo	Superficial	Permanente y Continuo	1,74	Acciones
WASHINGTON M. IBACACHE FUENTES Y OTROS	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	10	Lt/s
MIGUEL ALFONSO GOMILA GARCIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	11,8	Lt/s
LUIS HERNAN RODRIGUEZ ACEVEDO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
LUIS AZOCAR RAMOS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,5	Lt/s
LUIS AZOCAR RAMOS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,45	Lt/s
MIGUEL ALFONSO GOMILA GARCIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,3	Lt/s
MIGUEL ALFONSO GOMILA GARCIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,2	Lt/s
ALEJANDRA MAGGIOLO GARCIA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s

Anexos

PATRICIA CAROLINA VALDES MORENO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,56	Lt/s
JULIO CESAR AVILA OSORIO	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	0,25	Lt/s
ANTONIO KARMY KARMY	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	20	Lt/s
SOCIEDAD AGRICOLA ENTRE CERROS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
SOCIEDAD AGRICOLA ENTRE CERROS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	23	Lt/s
SOCIEDAD AGRICOLA ENTRE CERROS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	8	Lt/s
SOCIEDAD AGRICOLA ENTRE CERROS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	16	Lt/s
RODRIGO IBACACHE FUENTES	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	6	Lt/s
AGRICOLA MAGGIOLO LIMITADA	Consuntivo	Superficial	Permanente y Continuo	0,26	Acciones
AGRICOLA LOS RENUEVOS LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	7	Lt/s
JOSE MIGUEL ADRIAN CASTRO SILVA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1	Lt/s
ELIN DARIO ROZAS DIAZ	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	5	Lt/s
RODOLFO RODRIGO BRIONES ORREGO	Consuntivo	Superficial	Permanente y Continuo	1	Acciones
CARLOS ESTEBAN ÑIGUEZ CONCHA	Consuntivo	Superficial	Permanente y Continuo	2	Acciones
AGUAS DEL VALLE S.A.	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	15	Lt/s
SOCIEDAD AGRICOLA EL PERAL LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	36	Lt/s
MARGARITA DEL CARMEN CESPEDES CESPEDES	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	0,7	Acciones
GERARDO JAIME TORO ARAYA	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	6	Acciones
JOSE ISMAEL ESQUIVEL SAAVEDRA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	4	Lt/s
MIGUEL NENADOVICH DEL RIO	No Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Discontinuo	120,8	Lt/s
MIGUEL NENADOVICH DEL RIO	No Consuntivo	Superficial y Corriente	Eventual y Discontinuo	79,2	Lt/s
ECONSSA CHILE S.A.	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	31,2	Lt/s
FISCO, DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS	Consuntivo	Superficial y Corriente	Eventual y Continuo	1,27	Lt/s
SOCIEDAD AGRICOLA EL PERAL LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	24	Lt/s
SOCIEDAD AGRICOLA EL PERAL LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	15	Lt/s
SOCIEDAD AGRICOLA EL PERAL LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	15	Lt/s
MAURICIO ANDRES HARRISON LARRAIN	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	1,5	Lt/s

Anexos

MAURICIO ANDRES HARRISON LARRAIN	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	2	Lt/s
RAUL ANTONIO ROJO PASTEN	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	1,73	Acciones
LUIS FERNANDO FREZ RAMOS	Consuntivo	Superficial	Permanente y Continuo	3,1	Acciones
ECONSSA CHILE S.A.	Consuntivo	Superficial y Corriente	Eventual y Continuo	50	Lt/s
RAUL MARDONES DE LA BARRA	Consuntivo	Superficial y Corriente	Eventual y Continuo	50	Lt/s
LUIS FREZ RAMOS Y OTROS	Consuntivo	Superficial	Permanente y Continuo	8,2	Acciones
SOCIEDAD AGRICOLA EL PERAL LIMITADA	Consuntivo	Superficial y Corriente	Eventual y Continuo	20	Lt/s
SOCIEDAD AGRICOLA EL PERAL LIMITADA	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	18,7	Lt/s
SOCIEDAD AGRICOLA EL PERAL LIMITADA Y OTROS	Consuntivo	Subterránea	Permanente y Continuo	20	Lt/s
MILITZA XIMENA AGUIRRE BAEZ	Consuntivo	Superficial	Permanente y Continuo	1	Acciones
CARMEN ROSA CESPEDES CESPEDES Y OTROS	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	4,3	Acciones
GLADYS DEL CARMEN CESPEDES CESPEDES Y OTRO	Consuntivo	Superficial	Permanente y Continuo	3,7	Acciones
JAIME DEL ROSARIO PEREZ GOMEZ	Consuntivo	Superficial y Corriente	Eventual y Continuo	4	Lt/s
AURELIO DEL CARMEN NUÑEZ ROJAS	Consuntivo	Superficial	Permanente y Continuo	5	Acciones
HECTOR TOMAS SOTO TAPIA	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	14,59	Lt/s
COOPERATIVA ASIGNATORIA ILLAPEL LIMITADA	Consuntivo	Superficial y Corriente	Permanente y Continuo	1485,41	Lt/s

9.2. Anexo N°2

Encuesta**Instrucciones**

El propósito de la siguiente encuesta es clasificar dentro de un listado de 8 tecnologías, aquellas que, a criterio del encuestado, considere conveniente implementar para los usuarios del sector agrícola de la comuna de Illapel.

Esta información está siendo recabada para la toma de decisiones respecto a un Trabajo de Titulación.

Nombre: *Pedro Pérez Hernández*

1. Ante la pregunta ¿Que tan probable es que usted haga uso y recomiende esta tecnología? marque con una X

Tecnología	Muy baja (1)	Baja (2)	Medio (3)	Alto (4)	Muy alto (5)
Esferas de Polietileno					X
Retenedores de agua biodegradable		X			
Riego por goteo subterráneo			X		
Paneles solares flotantes					X
Fertirrigación subterránea				X	
Mulch plástico		X			
Mulch orgánico		X			
Sensores de humedad				X	
Geomembrana en tranques acumuladores					X

Firma 

Muchas gracias por su tiempo.

Encuesta

Instrucciones

El propósito de la siguiente encuesta es clasificar dentro de un listado de 8 tecnologías, aquellas que, a criterio del encuestado, considere conveniente implementar para los usuarios del sector agrícola de la comuna de Illapel.

Esta información está siendo recabada para la toma de decisiones respecto a un Trabajo de Titulación.

Nombre: *Jaime Cortés Quiroga*

1. Ante la pregunta ¿Que tan probable es que usted haga uso y recomiende esta tecnología? marque con una X

Tecnología	Muy baja (1)	Baja (2)	Medio (3)	Alto (4)	Muy alto (5)
Esferas de Polietileno		X			
Retenedores de agua biodegradable				X	
Riego por goteo subterráneo			X		
Paneles solares flotantes	X				
Fertirrigación subterránea					X
Mulch plástico				X	
Mulch orgánico				X	
Sensores de humedad	X				
Geomembrana en tranques acumuladores					X

Jaime Cortés Quiroga

Firma

Muchas gracias por su tiempo.

Encuesta

Instrucciones

El propósito de la siguiente encuesta es clasificar dentro de un listado de 8 tecnologías, aquellas que, a criterio del encuestado, considere conveniente implementar para los usuarios del sector agrícola de la comuna de Illapel.

Esta información está siendo recabada para la toma de decisiones respecto a un Trabajo de Titulación.

Nombre: *Bastían Rivera Ovando*

1. Ante la pregunta ¿Que tan probable es que usted haga uso y recomiende esta tecnología? marque con una X

Tecnología	Muy baja (1)	Baja (2)	Medio (3)	Alto (4)	Muy alto (5)
Esferas de Polietileno				X	
Retenedores de agua biodegradable			X		
Riego por goteo subterráneo					X
Paneles solares flotantes	X				
Fertirrigación subterránea			X		
Mulch plástico				X	
Mulch orgánico			X		
Sensores de humedad		X			
Geomembrana en tranques acumuladores			X		

FR

Firma

Muchas gracias por su tiempo.

Encuesta

Instrucciones

El propósito de la siguiente encuesta es clasificar dentro de un listado de 8 tecnologías, aquellas que, a criterio del encuestado, considere conveniente implementar para los usuarios del sector agrícola de la comuna de Illapel.

Esta información está siendo recabada para la toma de decisiones respecto a un Trabajo de Titulación.

Nombre: *Tita Cortés Quiroga*

1. Ante la pregunta ¿Que tan probable es que usted haga uso y recomiende esta tecnología? marque con una X

Tecnología	Muy baja (1)	Baja (2)	Medio (3)	Alto (4)	Muy alto (5)
Esferas de Polietileno					X
Retenedores de agua biodegradable			X		
Riego por goteo subterráneo				X	
Paneles solares flotantes		X			
Fertirrigación subterránea				X	
Mulch plástico			X		
Mulch orgánico					X
Sensores de humedad	X				
Geomembrana en tranques acumuladores				X	

Red: 6.728.148-9

Firma

Muchas gracias por su tiempo.

Encuesta

Instrucciones

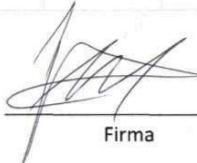
El propósito de la siguiente encuesta es clasificar dentro de un listado de 8 tecnologías, aquellas que, a criterio del encuestado, considere conveniente implementar para los usuarios del sector agrícola de la comuna de Illapel.

Esta información está siendo recabada para la toma de decisiones respecto a un Trabajo de Titulación.

Nombre: *Manuel González Salinas*

1. Ante la pregunta ¿Que tan probable es que usted haga uso y recomiende esta tecnología? marque con una X

Tecnología	Muy baja (1)	Baja (2)	Medio (3)	Alto (4)	Muy alto (5)
Esferas de Polietileno			X		
Retenedores de agua biodegradable			X		
Riego por goteo subterráneo				X	
Paneles solares flotantes	X				
Fertirrigación subterránea				X	
Mulch plástico		X			
Mulch orgánico			X		
Sensores de humedad		X			
Geomembrana en tranques acumuladores					X


Firma

Muchas gracias por su tiempo.



Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en
Medioambiente
Ingeniería Ambiental

Encuesta

Instrucciones

El propósito de la siguiente encuesta es clasificar dentro de un listado de 8 tecnologías, aquellas que, a criterio del encuestado, considere conveniente implementar para los usuarios del sector agrícola de la comuna de Illapel.

Esta información está siendo recabada para la toma de decisiones respecto a un Trabajo de Titulación.

Nombre: *Gladys Baroja Vega*

1. Ante la pregunta ¿Que tan probable es que usted haga uso y recomiende esta tecnología? marque con una X

Tecnología	Muy baja (1)	Baja (2)	Medio (3)	Alto (4)	Muy alto (5)
Esferas de Polietileno					X
Retenedores de agua biodegradable			X		
Riego por goteo subterráneo				X	
Paneles solares flotantes	X				
Fertirrigación subterránea				X	
Mulch plástico			X		
Mulch orgánico			X		
Sensores de humedad		X			
Geomembrana en tranques acumuladores				X	

G Baroja
Firma

Muchas gracias por su tiempo.

Encuesta

Instrucciones

El propósito de la siguiente encuesta es clasificar dentro de un listado de 8 tecnologías, aquellas que, a criterio del encuestado, considere conveniente implementar para los usuarios del sector agrícola de la comuna de Illapel.

Esta información está siendo recabada para la toma de decisiones respecto a un Trabajo de Titulación.

Nombre: *Elias Manque General*

1. Ante la pregunta ¿Que tan probable es que usted haga uso y recomiende esta tecnología? marque con una X

Tecnología	Muy baja (1)	Baja (2)	Medio (3)	Alto (4)	Muy alto (5)
Esferas de Polietileno		X			
Retenedores de agua biodegradable			X		
Riego por goteo subterráneo				X	
Paneles solares flotantes	X				
Fertirrigación subterránea					X
Mulch plástico			X		
Mulch orgánico			X		
Sensores de humedad		X			
Geomembrana en tranques acumuladores				X	


 Firma

Muchas gracias por su tiempo.

Encuesta

Instrucciones

El propósito de la siguiente encuesta es clasificar dentro de un listado de 8 tecnologías, aquellas que, a criterio del encuestado, considere conveniente implementar para los usuarios del sector agrícola de la comuna de Illapel.

Esta información está siendo recabada para la toma de decisiones respecto a un Trabajo de Titulación.

Nombre: *Nicolas Segovia*

1. Ante la pregunta ¿Que tan probable es que usted haga uso y recomiende esta tecnología? marque con una X

Tecnología	Muy baja (1)	Baja (2)	Medio (3)	Alto (4)	Muy alto (5)
Esferas de Polietileno			X		
Retenedores de agua biodegradable				X	
Riego por goteo subterráneo					X
Paneles solares flotantes	X				
Fertirrigación subterránea					X
Mulch plástico			X		
Mulch orgánico				X	
Sensores de humedad	X				
Geomembrana en tranques acumuladores			X		

Nicolas Segovia
Firma

Muchas gracias por su tiempo.

Encuesta

Instrucciones

El propósito de la siguiente encuesta es clasificar dentro de un listado de 8 tecnologías, aquellas que, a criterio del encuestado, considere conveniente implementar para los usuarios del sector agrícola de la comuna de Illapel.

Esta información está siendo recabada para la toma de decisiones respecto a un Trabajo de Titulación.

Nombre: *Cecilia Quando*

1. Ante la pregunta ¿Que tan probable es que usted haga uso y recomiende esta tecnología? marque con una X

Tecnología	Muy baja (1)	Baja (2)	Medio (3)	Alto (4)	Muy alto (5)
Esferas de Polietileno			X		
Retenedores de agua biodegradable				X	
Riego por goteo subterráneo				X	
Paneles solares flotantes	X				
Fertirrigación subterránea					X
Mulch plástico				X	
Mulch orgánico		X			
Sensores de humedad			X		
Geomembrana en tranques acumuladores			X		



Firma

Muchas gracias por su tiempo.

Encuesta

Instrucciones

El propósito de la siguiente encuesta es clasificar dentro de un listado de 8 tecnologías, aquellas que, a criterio del encuestado, considere conveniente implementar para los usuarios del sector agrícola de la comuna de Illapel.

Esta información está siendo recabada para la toma de decisiones respecto a un Trabajo de Titulación.

Nombre: *Lidia Bauayo Vega*

1. Ante la pregunta ¿Que tan probable es que usted haga uso y recomiende esta tecnología? marque con una X

Tecnología	Muy baja (1)	Baja (2)	Medio (3)	Alto (4)	Muy alto (5)
Esferas de Polietileno				X	
Retenedores de agua biodegradable					X
Riego por goteo subterráneo					X
Paneles solares flotantes	X				
Fertirrigación subterránea					X
Mulch plástico	X				
Mulch orgánico			X		
Sensores de humedad			X		
Geomembrana en tranques acumuladores				X	

Lidia B

Firma

Muchas gracias por su tiempo.

9.3. Anexo N°3

Tranques acumuladores presentes en la unidad de estudio.

Número	Coordenada E	Coordenada N	Ancho (m)	Largo (m)	área (m ²)
Tranque N°1	285123.10 m E	6492708.37 m S	60	205	12300
Tranque N°2	285256.17 m E	6492561.19 m S	62	202	12524
Tranque N°3	285638.20 m E	6492598.70 m S	120	124	14880
Tranque N°4	285401.83 m E	6492413.83 m S	62	200	12400
Tranque N°5	283946.15 m E	6493115.90 m S	20	28	560
Tranque N°6	284645.06 m E	6493050.03 m S	15	40	600
Tranque N°7	285002.33 m E	6493272.56 m S	17	30	510
Tranque N°8	285076.39 m E	6493301.90 m S	12	20	240
Tranque N°9	285475.55 m E	6493259.89 m S	10	22	220
Tranque N°10	285439.16 m E	6493463.15 m S	12	24	288
Tranque N°11	285503.56 m E	6493305.40 m S	15	21	315
Tranque N°12	285579.78 m E	6493330.79 m S	10	22	220
Tranque N°13	285665.29 m E	6493351.19 m S	11	17	187
Tranque N°14	285783.26 m E	6493461.12 m S	14	21	294
Tranque N°15	286027.76 m E	6493608.93 m S	16	22	352
Tranque N°16	285999.85 m E	6493757.52 m S	28	30	840
Tranque N°17	286266.28 m E	6493707.31 m S	14	44	616
Tranque N°18	286678.72 m E	6493171.48 m S	27	50	1350
Tranque N°19	286798.74 m E	6493357.26 m S	18	50	900
Tranque N°20	286883.00 m E	6493270.00 m S	27	39	1053
Tranque N°21	286957.73 m E	6493501.64 m S	21	37	777
Tranque N°22	286551.24 m E	6493890.76 m S	15	45	675
Tranque N°23	286645.19 m E	6494238.02 m S	10	33	330
Tranque N°24	286910.00 m E	6494008.00 m S	13	38	494
Tranque N°25	286984.03 m E	6493966.02 m S	11	52	572
Tranque N°26	287034.70 m E	6494229.28 m S	25	43	1075
Tranque N°27	287360.53 m E	6494509.27 m S	14	29	406
Tranque N°28	287369.88 m E	6494380.75 m S	24	34	816
Tranque N°29	287428.16 m E	6494173.57 m S	19	42	798
Tranque N°30	287929.77 m E	6495482.88 m S	23	88	2024
Tranque N°31	288136.58 m E	6494331.95 m S	22	37	814
Tranque N°32	288787.96 m E	6494543.41 m S	17	44	748
Tranque N°33	288931.00 m E	6494500.00 m S	13	32	416
Tranque N°34	288922.93 m E	6495704.10 m S	15	86	1290
Tranque N°35	289307.33 m E	6494740.00 m S	16	46	736
Tranque N°36	290127.75 m E	6493453.52 m S	40	40	1600

Tranque N°37	289745.84 m E	6495007.53 m S	15	31	465
Tranque N°38	289929.28 m E	6495020.93 m S	22	50	1100
Tranque N°39	290338.08 m E	6495033.80 m S	23	52	1196
Tranque N°40	290271.58 m E	6496079.30 m S	11	32	352
Tranque N°41	290702.63 m E	6496552.14 m S	21	33	693
Tranque N°42	291529.24 m E	6495038.58 m S	14	30	420
Tranque N°43	292292.59 m E	6495051.26 m S	20	23	460
Tranque N°44	292261.58 m E	6495097.98 m S	12	18	216
Tranque N°45	292821.25 m E	6494334.78 m S	13	20	260
Tranque N°46	291894.08 m E	6495752.68 m S	17	32	544
Tranque N°47	291977.12 m E	6495800.47 m S	16	22	352
Tranque N°48	292525.28 m E	6495705.59 m S	28	32	896
Tranque N°49	292943.39 m E	6495230.38 m S	12	22	264
Tranque N°50	292936.29 m E	6495123.04 m S	13	25	325
Tranque N°51	293030.98 m E	6496138.12 m S	42	68	2856
Tranque N°52	292658.87 m E	6497601.93 m S	29	80	2320
Tranque N°53	292651.91 m E	6497820.69 m S	17	25	425
Tranque N°54	292855.50 m E	6498058.80 m S	26	35	910
Tranque N°55	292155.84 m E	6499955.68 m S	66	107	7062
Tranque N°56	292303.92 m E	6499852.58 m S	73	78	5694
Tranque N°57	292584.24 m E	6499937.95 m S	40	152	6080
Tranque N°58	292521.03 m E	6500039.62 m S	27	27	729
Tranque N°59	293753.85 m E	6496605.69 m S	14	27	378
Tranque N°60	293358.93 m E	6497641.32 m S	20	20	400
Tranque N°61	296673.36 m E	6500002.40 m S	19	38	722
Tranque N°62	296654.49 m E	6500179.57 m S	22	30	660
Tranque N°63	297503.33 m E	6499851.13 m S	7	13	91
Tranque N°64	298249.56 m E	6498656.77 m S	19	28	532
Tranque N°65	298541.75 m E	6498566.07 m S	17	20	340
Tranque N°66	298612.67 m E	6498634.78 m S	11	19	209
Tranque N°67	298658.71 m E	6498670.71 m S	14	30	420
Tranque N°68	298712.85 m E	6498697.18 m S	14	26	364
Tranque N°69	298850.13 m E	6498765.73 m S	17	21	357
Tranque N°70	298884.02 m E	6498841.04 m S	17	29	493
Tranque N°71	298930.28 m E	6498981.30 m S	21	31	651
Tranque N°72	298263.47 m E	6498927.70 m S	21	27	567
Tranque N°73	297895.91 m E	6499929.83 m S	12	32	384
Tranque N°74	298724.67 m E	6499636.21 m S	21	43	903
Tranque N°75	298592.98 m E	6499539.01 m S	10	23	230
Tranque N°76	298370.07 m E	6499591.73 m S	37	60	2220
Tranque N°77	298541.13 m E	6500391.10 m S	27	53	1431

Tranque N°78	298567.09 m E	6500771.47 m S	30	32	960
Tranque N°79	298571.96 m E	6501891.59 m S	21	34	714
Tranque N°80	298916.84 m E	6502009.56 m S	17	51	867
Tranque N°81	298944.00 m E	6502063.00 m S	22	35	770
Tranque N°82	299371.27 m E	6501359.90 m S	10	19	190
Tranque N°83	299545.98 m E	6500827.97 m S	18	27	486
Tranque N°84	299176.08 m E	6500482.82 m S	32	35	1120
Tranque N°85	299715.05 m E	6500904.06 m S	10	17	170
Tranque N°86	300373.69 m E	6500507.94 m S	27	42	1134
Tranque N°87	300558.31 m E	6500574.04 m S	22	37	814
Tranque N°88	300248.47 m E	6501159.90 m S	28	41	1148
Tranque N°89	299830.59 m E	6502481.79 m S	21	47	987
Tranque N°90	300646.54 m E	6501689.00 m S	14	24	336
Tranque N°91	300806.96 m E	6501718.96 m S	19	25	475
Tranque N°92	300880.00 m E	6501835.00 m S	30	33	990
Tranque N°93	300905.00 m E	6501886.00 m S	17	25	425
Tranque N°94	301075.91 m E	6501973.89 m S	29	45	1305
Tranque N°95	301439.29 m E	6501662.65 m S	26	87	2262
Tranque N°96	301920.08 m E	6501699.11 m S	18	86	1548
Tranque N°97	301990.93 m E	6501673.57 m S	17	43	731
Tranque N°98	302128.00 m E	6501640.16 m S	12	38	456
Tranque N°99	302226.00 m E	6501800.00 m S	35	47	1645
Tranque N°100	302284.25 m E	6501831.63 m S	16	36	576
Tranque N°101	302094.65 m E	6501825.14 m S	17	39	663
Tranque N°102	302217.40 m E	6502266.52 m S	17	48	816
Tranque N°103	301985.00 m E	6502103.00 m S	21	30	630
Tranque N°104	302522.82 m E	6501964.89 m S	13	36	468
Tranque N°105	302632.91 m E	6502199.20 m S	11	22	242
Tranque N°106	302788.00 m E	6502164.00 m S	11	43	473
Tranque N°107	302676.95 m E	6502421.26 m S	10	18	180
Tranque N°108	301530.18 m E	6502353.34 m S	19	53	1007
Tranque N°109	301557.94 m E	6502405.14 m S	17	33	561
Tranque N°110	301654.10 m E	6502490.34 m S	16	20	320
Tranque N°111	301527.00 m E	6502632.00 m S	20	25	500
Tranque N°112	301434.00 m E	6503025.00 m S	25	28	700
Tranque N°113	302016.00 m E	6502535.00 m S	14	37	518
Tranque N°114	302098.00 m E	6502579.00 m S	16	75	1200
Tranque N°115	302283.00 m E	6502724.00 m S	18	25	450
Tranque N°116	303368.41 m E	6502336.61 m S	32	37	1184
Tranque N°117	303438.00 m E	6502368.00 m S	27	86	2322
Tranque N°118	303543.00 m E	6502355.00 m S	34	38	1292

Tranque N°119	303705.28 m E	6502220.42 m S	21	22	462
Tranque N°120	303760.00 m E	6502250.00 m S	9	25	225
Tranque N°121	302740.41 m E	6503114.98 m S	25	36	900
Tranque N°122	302834.88 m E	6503241.63 m S	22	32	704
Tranque N°123	303668.34 m E	6503249.71 m S	15	27	405
Tranque N°124	303737.11 m E	6503191.21 m S	18	22	396
Tranque N°125	304115.76 m E	6502657.23 m S	30	48	1440
Tranque N°126	304022.51 m E	6502419.88 m S	11	22	242
Tranque N°127	303973.00 m E	6502386.00 m S	12	12	144
Tranque N°128	303926.31 m E	6502407.45 m S	7	10	70
Tranque N°129	303989.99 m E	6502300.48 m S	8	20	160
Tranque N°130	304086.00 m E	6502174.00 m S	10	18	180
Tranque N°131	304178.36 m E	6502106.96 m S	12	27	324
Tranque N°132	304218.57 m E	6502085.22 m S	14	37	518
Tranque N°133	304550.17 m E	6502007.54 m S	12	33	396
Tranque N°134	304702.66 m E	6502283.89 m S	13	15	195
Tranque N°135	304806.28 m E	6501897.96 m S	13	23	299
Tranque N°136	304917.34 m E	6501798.47 m S	12	36	432
Tranque N°137	304944.34 m E	6501779.17 m S	15	20	300
Tranque N°138	305006.97 m E	6501750.80 m S	16	18	288
Tranque N°139	305096.04 m E	6501737.22 m S	9	27	243
Tranque N°140	306259.43 m E	6501719.61 m S	21	34	714
Tranque N°141	304931.62 m E	6502670.53 m S	26	32	832
Tranque N°142	305078.70 m E	6503277.99 m S	24	32	768
Tranque N°143	305293.31 m E	6503974.78 m S	22	34	748
Tranque N°144	305463.51 m E	6503857.21 m S	26	31	806
Tranque N°145	305238.19 m E	6503315.55 m S	20	23	460
Tranque N°146	305772.71 m E	6503044.97 m S	20	34	680
Tranque N°147	307766.28 m E	6503478.13 m S	13	36	468
Tranque N°148	308046.32 m E	6503478.46 m S	17	37	629
Tranque N°149	307831.63 m E	6504298.67 m S	20	42	840
Tranque N°150	307883.86 m E	6503722.24 m S	20	23	460
Tranque N°151	308281.04 m E	6504438.69 m S	24	28	672
Tranque N°152	308258.81 m E	6503501.55 m S	14	19	266
Tranque N°153	308347.24 m E	6503503.34 m S	13	22	286
Tranque N°154	308346.24 m E	6503610.96 m S	19	21	399
Tranque N°155	310584.00 m E	6504845.00 m S	19	29	551
Tranque N°156	310753.13 m E	6505010.22 m S	18	25	450
Tranque N°157	310910.67 m E	6505103.07 m S	13	23	299
Tranque N°158	311557.86 m E	6505738.47 m S	63	75	4725
Tranque N°159	312245.08 m E	6505579.67 m S	21	51	1071

Tranque N°160	312766.83 m E	6505545.20 m S	13	45	585
Tranque N°161	313026.45 m E	6505496.66 m S	15	42	630
Tranque N°162	313357.19 m E	6505323.35 m S	22	41	902
Tranque N°163	314812.71 m E	6505123.75 m S	12	21	252
Tranque N°164	316500.93 m E	6504966.47 m S	23	53	1219
Tranque N°165	316799.20 m E	6505098.20 m S	25	30	750
Tranque N°166	316933.36 m E	6505169.82 m S	25	34	850
Tranque N°167	317034.72 m E	6504949.94 m S	24	32	768
Tranque N°168	316961.75 m E	6504665.23 m S	24	48	1152
Tranque N°169	317219.32 m E	6504719.85 m S	30	47	1410
Tranque N°170	317171.17 m E	6504950.57 m S	27	31	837
Tranque N°171	317537.64 m E	6504796.79 m S	30	31	930
Tranque N°172	317700.68 m E	6504789.94 m S	23	28	644
Tranque N°173	318193.20 m E	6504749.38 m S	19	32	608
Tranque N°174	318810.00 m E	6504886.00 m S	19	33	627
Tranque N°175	318814.00 m E	6504942.00 m S	12	13	156
Tranque N°176	319195.04 m E	6505151.25 m S	21	29	609
Tranque N°177	319173.82 m E	6505472.50 m S	88	90	7920
Tranque N°178	319315.86 m E	6505304.23 m S	21	28	588
Tranque N°179	320007.45 m E	6505585.97 m S	16	32	512
Tranque N°180	324316.41 m E	6507168.81 m S	28	38	1064
Tranque N°181	324459.34 m E	6506672.23 m S	15	40	600
Tranque N°182	325079.45 m E	6506524.85 m S	21	43	903
Tranque N°183	324865.18 m E	6506206.49 m S	14	39	546
Tranque N°184	324517.20 m E	6506663.14 m S	14	39	546
Tranque N°185	324801.74 m E	6506602.23 m S	21	39	819
Tranque N°186	325470.88 m E	6506474.36 m S	18	32	576
Tranque N°187	325709.41 m E	6506396.54 m S	17	28	476
Tranque N°188	326483.15 m E	6506144.90 m S	17	34	578
Tranque N°189	326760.00 m E	6509132.53 m S	27	35	945
Tranque N°190	325503.81 m E	6507592.94 m S	21	34	714
Tranque N°191	325866.95 m E	6507682.05 m S	13	21	273
Tranque N°192	325770.75 m E	6508410.49 m S	23	27	621

9.4. Anexo N°4

Cotización empresa Exma Lda.

EXMA LTDA. San Eugenio 12212, Parque Industrial Puerta Sur San Bernardo, Santiago - CHILE Teléfonos: (562) 7736002 / (562) 7737408 Web: www.barrierball.cl					
Cotización # 1620 Fecha 10-08-2021 Validez cotización 25-08-2021					
Cliente: Atención: Evelyn Cortés					
Item	Entrega	Unidad Medida	Cantidad	Valor	Total
BARRIER BALL®	Planta Exma	m ²	2.000	10.490	20.980.000
Maxisaco	Planta Exma	unidad	133	9.990	1.332.000
TOTAL					22.312.000
Notas: <ul style="list-style-type: none"> • Valor no considera transporte ni instalación de las esferas. • Cada maxisaco contiene 15 m² de esferas, pesa 560 kgs y mide 1,8*1,2*1,2 mts. • Si los maxisacos son devueltos en buen estado se emitirá nota de crédito por su valor. • Fecha entrega: inmediata. • Condición de venta: 30 días desde fecha de facturación • Garantía de 10 años por defectos de fabricación. • Vida útil esperada > 20 años. 					
Miembro de				 Cristóbal Rodillo de V. Gerente Comercial	

9.5. Anexo N°5

Escenario N°1 con tecnologías

AÑO			-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS DE CAJA	CANTIDAD	VALOR (UF)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EGRESOS DE CAJA		VALOR	410.900	2.859.230	2.865.569	2.871.908	2.878.248	2.884.587	2.890.926	2.897.265	2.903.604	2.909.943	2.916.282
Costos Fijos			-	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192
Mantenimiento		22.192	-	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192
Egresos del caudal Escenario N°1			-	2.804.166	2.810.505	2.816.844	2.823.184	2.829.523	2.835.862	2.842.201	2.848.540	2.854.879	2.861.218
Inversión inicial		410.900	410.900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esferas de HDPE		58.776	58.776	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bomba centrífuga 5,5, hp (reemplazo de motobomba)		31.440	31.440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Válvula de paso 2"		1.042	1.042	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FILTRO DE ARENA 60M3/HR		60.278	60.278	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Válvula de paso 2" (Reguladora de fertilizante)		1.322	1.322	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ADAPTADOR BRONCE 1/2 HI 1/4 MANÓMETRO		264	264	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ESTANQUE VERTICAL ESTANDAR 2400 LTS		9.827	9.827	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Filtro de malla 2"		1.473	1.473	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tubo pvc presion clase 10 50mm 6m (Conducción)		503	503	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cañería polietileno de alta presión 1" (Distribución)		25.981	25.981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cañería 1" x 50 m Hoffens (Secundaria)		5.832	5.832	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Válvula con control de flujo plástico 1" (Volumétrica)		4.354	4.354	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gotero Integrado NETAFIM Aries 2 l/hora - Rollo 500 m		79.207	79.207	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mano de obra, movimiento de tierra		130.600	130.600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Depreciación anual			-	32.872	32.872	32.872	32.872	32.872	32.872	32.872	32.872	32.872	32.872
Depreciación acumulada			-	32.872	65.744	98.616	131.488	164.360	197.232	230.104	262.976	295.848	328.720
Valor libro			-	378.028	345.156	312.284	279.412	246.540	213.668	180.796	147.924	115.052	82.180
FLUJO DEL AÑO			-410.900	-2.859.230	-2.865.569	-2.871.908	-2.878.248	-2.884.587	-2.890.926	-2.897.265	-2.903.604	-2.909.943	-2.916.282
FLUJO ACUMULADO			-410.900	-3.270.130	-6.135.699	-9.007.607	-11.885.855	-14.770.442	-17.661.368	-20.558.634	-23.462.238	-26.372.181	-29.288.463
SALDO ACTUALIZADO AL 6%			-410.900	-2.697.387	-2.550.346	-2.411.309	-2.279.842	-2.155.531	-2.037.989	-1.926.847	-1.821.757	-1.722.391	-1.628.437
SALDO ACTUALIZADO ACUMULADO			-410.900	-3.108.287	-5.658.633	-8.069.943	-10.349.785	-12.505.316	-14.543.305	-16.470.151	-18.291.909	-20.014.299	-21.642.736

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.889.750	2.896.089	2.902.428	2.908.767	2.915.106	2.921.445	2.927.784	2.934.124	2.940.463	2.946.802
22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192
22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192
2.867.558	2.873.897	2.880.236	2.886.575	2.892.914	2.899.253	2.905.592	2.911.932	2.918.271	2.924.610
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
867.054	867.054	867.054	867.054	867.054	867.054	867.054	867.054	867.054	867.054
216.763	216.763	216.763	216.763	216.763	216.763	216.763	216.763	216.763	216.763
-2.889.750	-2.896.089	-2.902.428	-2.908.767	-2.915.106	-2.921.445	-2.927.784	-2.934.124	-2.940.463	-2.946.802
-32.178.213	-35.074.302	-37.976.730	-40.885.497	-43.800.603	-46.722.048	-49.649.832	-52.583.956	-55.524.419	-58.471.221
-1.522.284	-1.439.268	-1.360.772	-1.286.550	-1.216.372	-1.150.016	-1.087.275	-1.027.952	-971.861	-918.827
-23.165.020	-24.604.288	-25.965.059	-27.251.610	-28.467.982	-29.617.998	-30.705.273	-31.733.225	-32.705.086	-33.623.913

TASA DE DESCUENTO	6%
VANS	-33.623.913

Sin tecnología

TASA DE DESCUENTO	6%
VANS	-38.222.687

Escenario N°2 con tecnologías

AÑO		-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS DE CAJA	VALOR (UF)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EGRESOS DE CAJA	VALOR	410.900	3.674.392	3.680.731	3.687.070	3.693.410	3.699.749	3.706.088	3.712.427	3.718.766	3.725.105	3.731.444
Costos Fijos		-	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192
Mantenimiento	22.192	-	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192
Egresos del caudal Escenario N°2		-	3.619.328	3.625.667	3.632.006	3.638.346	3.644.685	3.651.024	3.657.363	3.663.702	3.670.041	3.676.380
Inversión inicial	410.900	410.900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esferas de HDPE	58.776	58.776	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mba centrífuga 5,5, hp (reemplazo de motobom)	31.440	31.440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Válvula de paso 2"	1.042	1.042	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FILTRO DE ARENA 60M3/HR	60.278	60.278	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Válvula de paso 2" (Reguladora de fertilizante)	1.322	1.322	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ADAPTADOR BRONCE 1/2 HI 1/4 MANÓMETRO	264	264	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ESTANQUE VERTICAL ESTANDAR 2400 LTS	9.827	9.827	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Filtro de malla 2"	1.473	1.473	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tubo pvc presion clase 10 50mm 6m (Conducción)	503	503	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cañería polietileno de alta presión 1" (Distribución)	25.981	25.981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cañería 1" x 50 m Hoffens (Secundaria)	5.832	5.832	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
vula con control de flujo plástico 1" (Volumentri)	4.354	4.354	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
tero Integrado NETAFIM Aries 2l/hora - Rollo 50l	79.207	79.207	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mano de obra, movimiento de tierra	130.600	130.600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Depreciación anual		-	32.872	32.872	32.872	32.872	32.872	32.872	32.872	32.872	32.872	32.872
Depreciacion acumulada		-	32.872	65.744	98.616	131.488	164.360	197.232	230.104	262.976	295.848	328.720
Valor libro		-	378.028	345.156	312.284	279.412	246.540	213.668	180.796	147.924	115.052	82.180
FLUJO DEL AÑO		-410.900	-3.674.392	-3.680.731	-3.687.070	-3.693.410	-3.699.749	-3.706.088	-3.712.427	-3.718.766	-3.725.105	-3.731.444
FLUJO ACUMULADO		-410.900	-4.085.292	-7.766.023	-11.453.093	-15.146.503	-18.846.252	-22.552.340	-26.264.767	-29.983.533	-33.708.638	-37.440.082
SALDO ACTUALIZADO AL 6%		-410.900	-3.466.408	-3.275.837	-3.095.735	-2.925.527	-2.764.668	-2.612.646	-2.468.976	-2.333.200	-2.204.884	-2.083.619
SALDO ACTUALIZADO ACUMULADO		-410.900	-3.877.308	-7.153.145	-10.248.880	-13.174.407	-15.939.075	-18.551.720	-21.020.696	-23.353.896	-25.558.780	-27.642.399

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.704.912	3.711.251	3.717.590	3.723.929	3.730.268	3.736.607	3.742.946	3.749.286	3.755.625	3.761.964
22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192
22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192	22.192
3.682.720	3.689.059	3.695.398	3.701.737	3.708.076	3.714.415	3.720.754	3.727.094	3.733.433	3.739.772
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
867.054	867.054	867.054	867.054	867.054	867.054	867.054	867.054	867.054	867.054
216.763	216.763	216.763	216.763	216.763	216.763	216.763	216.763	216.763	216.763
-3.704.912	-3.711.251	-3.717.590	-3.723.929	-3.730.268	-3.736.607	-3.742.946	-3.749.286	-3.755.625	-3.761.964
-41.144.994	-44.856.245	-48.573.835	-52.297.764	-56.028.032	-59.764.639	-63.507.585	-67.256.871	-71.012.496	-74.774.460
-1.951.701	-1.844.378	-1.742.951	-1.647.097	-1.556.511	-1.470.901	-1.389.997	-1.313.539	-1.241.283	-1.172.998
-29.594.100	-31.438.478	-33.181.430	-34.828.527	-36.385.038	-37.855.939	-39.245.936	-40.559.475	-41.800.758	-42.973.756

TASA DE DESCUENTO	6%
VANS	-42.973.756

Sin tecnologías

TASA DE DESCUENTO	6%
VANS	-47.572.531