



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

**ANÁLISIS DE BRECHAS TECNOLÓGICAS EN LA INDUSTRIA AGRÍCOLA EN
CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

AUTOR
MATÍAS IGNACIO MIRANDA HERNÁNDEZ

PROFESOR GUÍA
FRANCISCO DALL'ORSO

SANTIAGO DE CHILE, NOVIEMBRE DE 2022

Resumen Ejecutivo

Actualmente, la agricultura es la actividad económica que mayor cantidad de agua utiliza en Chile, con un 73% de la demanda consuntiva del país. Mientras que las sequías y déficit de lluvias impactan cada vez más el estado hídrico de las cuencas, lo que se prevé que siga empeorando.

La presente investigación busca elaborar una propuesta de mejora de eficiencia en el uso de agua en el riego agrícola mediante un análisis de Brechas Tecnológicas. Para lo anterior, se caracteriza el uso de tecnologías de riego en Chile, donde mediante el uso de distintos sistemas de riego se logra determinar que la eficiencia actual de riego en el país es del 65,4%.

Para elaborar una propuesta que sea aplicable a nivel nacional, se lleva a cabo una evaluación técnica, ambiental y económica que permite definir que las tecnologías que aplican para ser utilizadas en la propuesta corresponden al sistema de riego por goteo y al uso de tensiómetros para medir la humedad del suelo.

Con los criterios establecidos se elaboran cuatro escenarios distintos. El Escenario 1 se construye con el objetivo de cuantificar el máximo impacto que podría generar la sustitución de los sistemas de riego, por lo que consta de reemplazar la totalidad de los sistemas distintos a Riego por Goteo, alcanzando una eficiencia en el riego de 95,5%. A pesar del significativo aumento de la eficiencia, su tiempo de implementación de 213 años aproximadamente hace que sea un escenario difícil de implementar.

El segundo escenario se plantea con el propósito de determinar cuánto disminuyen los costos al reducir el número de hectáreas por reemplazar. De esta manera se reemplazan los sistemas de riego con eficiencias menores a 60%

Posteriormente se desarrollan los Escenarios 3 y 4, los cuales se incluyen en la propuesta elaborada. Ambos consisten en reemplazar los sistemas de riego con eficiencias menores a 45%, donde el Escenario 3 incluye las regiones con 100% de sus comunas con decretos de escasez hídrica vigentes y el Escenario 4 incluye al resto de las regiones con decretos de escasez vigente. Al implementarse logra aumentar la eficiencia a un 83,4%, permitiendo ahorrar 145.619 [m³] de agua al realizar una inversión inicial de 23.168.301 UF y un tiempo de implementación de 90 años aproximadamente. Donde tanto los costos como los tiempos de implementación quedan sujetos a la gestión de costos que se puede generar por parte del estado al implementar esta propuesta, mediante el uso de economías de escala y un aumento de fondos para el financiamiento de la propuesta.

Dado los elevados costos de inversión respecto al financiamiento otorgado por la Ley de Fomento de Riego, se plantea la priorizar la entrega de beneficios a pequeños agricultores, los cuales presentan mayor dificultad de cofinanciar el proyecto en comparación a grandes empresas agrícolas.

Finalmente se establece que para poder cerrar la evaluación económica del proyecto se debe utilizar la evaluación social de proyectos, para así determinar la rentabilidad social que obtiene la implementación de la propuesta. Lo que permite compararla con otras alternativas de proyectos sociales que tengan incidencia en la industria agrícola o bien en la gestión del recurso hídrico.

En base a lo anterior, se considera que la propuesta es una herramienta útil para la determinación de distintos escenarios de implementación de sistemas de riego y sensores de humedad, con el objetivo de aumentar la eficiencia en el riego agrícola en Chile y que, considerando otras variables puede ser mejorada para aumentar su aplicabilidad.

Contenidos

Resumen Ejecutivo	2
Contenidos	5
1. Problema de investigación	8
2. Objetivos	10
2.1 Objetivo General	10
2.2 Objetivos Específicos	10
3. Marco Teórico.....	11
3.1 Cambio climático	11
3.2 La agricultura en números	12
3.3 Método de análisis de brechas tecnológicas.....	13
3.4 Utilización de tecnología en la industria agrícola	14
3.5 Nivel de inversión en la industria.....	15
3.6 Precio social	16
4. Metodología	18
5. Antecedentes	20
5.1 Estado hídrico en Chile	20
5.2 Uso de agua para riego	23
5.3 Código de aguas	24
5.4 Nuevas tecnologías.....	26
5.5 Inversión en Chile	33
6. Propuesta de aumento de eficiencia del recurso hídrico en el riego agrícola	37
6.1 Descripción.....	37
6.2 Mejores prácticas a nivel internacional – Medidas internacionales	38
6.3 La situación en Chile	39
6.4 Potencial de mejora	42
6.5 Barreras existentes o potenciales.....	43
6.6 Evaluación técnica.....	45
6.7 Evaluación ambiental	49
6.8 Evaluación económica.....	53
6.9 Hoja de ruta para el aumento de eficiencia en el riego agrícola.....	60
7. Limitaciones.....	61
8. Conclusiones y recomendaciones	62

9. Referencias.....	66
Anexos	79
Anexo 1: Hectáreas ocupadas por sistema de riego en cada región	79
Anexo 2: Impacto en reducción de pérdidas de agua del Escenario 2 respecto al Caso Base.....	79
Anexo 3: Impacto en reducción de pérdidas de agua del Escenario 3 respecto al Caso Base.....	80
Anexo 4: Impacto en reducción de pérdidas de agua del Escenario 3 y 4 respecto al Caso Base.....	81
Anexo 5: Evaluación económica del escenario 2	82
Anexo 6: Evaluación económica del escenario 3 y 4.....	83

Índice de tablas

Tabla 1: Número de comunas con decreto de escasez vigente por región.....	21
Tabla 2: Superficie de riego agrícola, medida en hectáreas por cada región del país..	23
Tabla 3: Eficiencias en el uso de agua por cada tipo de sensor de humedad	33
Tabla 4: Sistema de riego que cubre la mayor superficie en cada región	41
Tabla 5: Superficie utilizada por cada sistema de riego y el porcentaje que presenta de la superficie total	41
Tabla 6: Impacto en reducción de pérdidas de agua del Escenario 1 respecto al Caso Base	50
Tabla 7: Resumen de la reducción de pérdidas de agua generado al implementar el Escenario 2	51
Tabla 8: Resumen de la reducción de pérdidas de agua generado al implementar el Escenario 3	52
Tabla 9: Resumen de la reducción de pérdidas de agua generado al implementar el Escenario 4	52
Tabla 10: Resumen del impacto de los cuatro escenarios propuestos junto al Escenario 5, correspondiente a implementar los Escenarios 3 y 4.....	53
Tabla 11: Costo de inversión por hectárea de Riego por Goteo y Tensiómetros.....	54
Tabla 12: Evaluación económica del Escenario 1	54
Tabla 13: Resumen de la evaluación económica del Escenario 2.....	55
Tabla 14: Resumen de la evaluación económica del Escenario 3.....	56
Tabla 15: Resumen de la evaluación económica del Escenario 4.....	57
Tabla 16: Resumen de la superficie por reemplazar en hectáreas y Costo total en UF al implementar los Escenarios 3 y 4 en conjunto	57

Tabla 17: Resumen del Costo total en UF y de los años de implementación de cada escenario	57
--	----

Índice de figuras

Figura 1: Número de decretos de escasez hídrica por año	22
Figura 2: Eficiencia en el uso de agua por cada sistema de riego utilizado en el país	31
Figura 3: En qué tipo de tecnología invierten los agricultores	34
Figura 4: Nivel de inversión en tecnología declarada por los agricultores según su tamaño	35
Figura 5: Porcentaje de superficie que cubre cada sistema de riego por región	40
Figura 6: Barreras declaradas por los agricultores para invertir en tecnología.....	44
Figura 7: Comparación entre sistemas de riego según distintos indicadores.....	47

1. Problema de investigación

La agricultura en Chile posee un carácter muy amplio, esto gracias a los distintos climas presentes en el país, dando lugar así a la producción de frutales, hortalizas, vino, pisco, entre otros (Domínguez, y otros, 2019). Para poder llevarse a cabo, la agricultura necesita un uso extensivo de agua principalmente para riego, donde se consume el 73% del agua nacional (Centro del Agua para la Agricultura, s.f.).

Un estudio realizado por el World Resources Institute, indica que Chile pasará de estrés hídrico medio en 2010, a estrés hídrico extremadamente alto en 2040. Esto debido a la mezcla de efectos producidos por el aumento de las temperaturas y de cambios en los patrones de precipitaciones (Maddocks, Young, & Reig, 2015). En ese sentido, el incremento de la demanda por agua de los sectores productivos, junto con los efectos del cambio climático (tales como inundaciones y sequías), hacen que se agudice la crisis hídrica que presenta el país.

En línea con lo anterior, en 2021, Chile adelanta la fecha de sobregiro ecológico en un día respecto del año anterior, siendo por segundo año consecutivo el primer país latinoamericano en agotar sus recursos destinados para el periodo (WWF, 2021). Esto marca una tendencia negativa en los últimos años respecto al uso de los recursos naturales, dando cuenta de una situación que no puede ser sostenible en el tiempo.

De este modo, es que se hace necesario cambiar el enfoque de la gestión del recurso hídrico en el país, para así garantizar un desarrollo más sostenible, preservando nuestros

ecosistemas hídricos (Vitale, y otros, 2019).

En base a esto es que surge la idea de determinar las brechas tecnológicas presentes en la industria agrícola en Chile, con el propósito de aumentar la eficiencia en el uso de agua e incorporar las tecnologías que presenten un impacto menor, donde surgen las siguientes interrogantes, ¿Será posible adaptar la industria al contexto del cambio climático? ¿La inversión necesaria para transformar a la industria será llamativa para los agricultores? ¿Cuánto tiempo es necesario para implementar dichos cambios?

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Identificar las tecnologías más costo-efectivas en el sector agrícola, mediante un análisis de brechas tecnológicas, con el fin de elaborar propuestas para enfrentar la crisis hídrica y adaptar la industria al cambio climático.

2.2 Objetivos Específicos

Caracterizar la industria agrícola respecto al estado hídrico en el país.

Identificar las principales tecnologías utilizadas actualmente en Chile, y las utilizadas en otros países.

Determinar que tecnologías son factibles de implementar en el país.

Cuantificar el aumento de eficiencia en el uso de agua respecto de las tecnologías seleccionadas.

Desarrollar una propuesta de cambio tecnológico considerando criterios económicos, técnicos y ambientales para priorizar las mejores tecnologías.

3. Marco Teórico

3.1 Cambio climático

Nuestro modo de vida sin duda tiene un impacto en nuestro entorno, según el IPCC, “... la influencia humana en el sistema climático es clara y va en aumento, y sus impactos se observan en todos los continentes y océanos. Muchos de los cambios observados desde la década de 1950 no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios” (IPCC, 2015).

Uno de los efectos más perjudiciales, que se encuentra en línea con los impactos expuestos anteriormente, corresponde al aumento de la temperatura global, conocido también como calentamiento global. Actualmente, “Se estima que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0 °C con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de 0,8 °C a 1,2 °C. Es probable que el calentamiento global llegue a 1,5 °C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual (nivel de confianza alto)” (IPCC, 2019).

Para entender lo preocupante de que la temperatura global aumente a más de 1,5 °C respecto a los niveles preindustriales, basta con ver sus consecuencias, dentro de las que se encuentran “olas de calor, lluvias diluvianas, fuegos forestales, invasiones y extinciones de especies, productividad de los océanos, rendimiento agrícola y pérdida del permafrost, los suelos helados de las grandes altitudes” (Cambio Climático Chile, 2018).

De esta manera, es que se hace necesario cambiar en que las industria llevan a cabo sus procesos productivos, enfocándolas hacia trabajar con la máxima eficiencia posible, con el fin de que su operación no sea perjudicial para el medio ambiente.

3.2 La agricultura en números

La tierra constituye un gran recurso tanto para las personas, como para los demás seres vivos, siendo la principal fuente de alimentos. Según la IPCC, “La tierra es tanto una fuente como un sumidero de gases de efecto invernadero (GEI) y desempeña un papel clave en el intercambio de energía, agua y aerosoles entre la superficie terrestre y la atmósfera. Los ecosistemas terrestres y la biodiversidad son vulnerables al cambio climático en curso y a los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, en diferentes grados. La gestión sostenible de las tierras puede contribuir a reducir los impactos negativos” (IPCC, 2020). En base a lo anterior, el uso de la tierra es a la vez una de las causas del cambio climático, pero a su vez, también es una víctima, ya que, a través del uso extensivo de ésta mediante la agricultura (por ejemplo), se han aumentado las emisiones de gases de efecto invernadero, mientras que también se ve afectada por los efectos de estos.

De hecho, “La agricultura y la deforestación representan alrededor de una tercera parte de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial a partir de actividades humanas. Específicamente, el 25% de las emisiones de carbono, el 50% de las de metano y más del 70% de las de óxido nitroso” (FAO, s.f.), además, la agricultura representa

aproximadamente de un 70% del consumo de agua dulce mundial. Respecto al uso de suelos, el nivel de erosión que presentan llegar a ser hasta 100 veces mayor que la tasa de generación de suelos (IPCC, 2020).

Considerando lo anterior, la agricultura posee un amplio margen de mejora, donde se pueden realizar prácticas para reducir la erosión de los suelos, como reducir la tasa de monocultivos, gestionando de mejor manera el uso de agua, reduciendo la utilización de pesticidas químicos, entre otros.

A modo de determinar las oportunidades de mejora respecto a las prácticas utilizadas actualmente en la industria agrícola, es que se hace útil apoyarse en el método de análisis de brechas tecnológicas para dilucidar las reales diferencias con posibles tecnologías a incorporar.

3.3 Método de análisis de brechas tecnológicas

El Método de análisis de brechas tecnológicas consiste en analizar las necesidades tecnológicas en un sector en particular, en este caso enfocándolo en torno al cambio climático, seleccionando las tecnologías que contribuyan hacia una mejora en la utilización de los distintos recursos (Ministerio de Energía, 2020).

De esta manera, para llevar a cabo el método, en primer lugar, se identifican y jerarquizan las tecnologías respecto a la efectividad para disminuir las pérdidas de agua y al costo en el que estas incurren. Dicha jerarquización puede apoyarse en distintas técnicas, donde se puede utilizar un análisis multicriterio, considerando criterios tales como

reducción de pérdidas de agua por ineficiencia, rentabilidad por unidad de CO₂eq abatidos, cantidad de energía eléctrica requerida, magnitud de reducción de GEI, entre otros.

Posteriormente, se analizan las barreras existentes para la instalación de dichas tecnologías, junto con las medidas habilitantes, tales como incentivos, normativas, etc, para finalmente proponer un plan de acción para la instauración de las tecnologías seleccionadas, junto con un plan de inversión en la industria (Ministerio de Energía, 2020).

Para poder determinar las brechas existentes en la industria Agrícola, además de analizar las tecnologías que se pueden incorporar, se hace necesario observar cuáles son las tecnologías utilizadas actualmente (si es que se utilizan de algún modo), para determinar las diferencias y las potenciales mejoras.

3.4 Utilización de tecnología en la industria agrícola

El hecho de incorporar tecnología en los campos de cultivo persigue el objetivo de aumentar la producción, mientras que se disminuyen los costos, permitiendo ocupar de manera más eficiente los recursos.

Según PMG Chile, “el 34% de los agricultores no invierte en tecnología o maquinaria para mejorar la operación de su negocio”, mientras que “el 45% de los agricultores declaran tener problemas de rentabilidad de sus cultivos, en base a lo mencionado anteriormente, ambos datos mantienen una relación estrecha, ya que, al no realizar inversión en tecnología, se generan problemas de rentabilidad al no aprovechar de

mejor manera los recursos (PMG, 2016). De hecho, el sector es uno de los que menos tecnología posee, siendo el segundo menos tecnologizado a nivel mundial, mientras que, en Chile, la industria concentra un 13,85% de la innovación del país (Olave, 2021).

Existen distintas razones, dentro de las cuales se encuentra que la agricultura se desarrolla principalmente en sectores rurales donde existe un nivel de pobreza del 37% (en contraste a un 18% en el sector urbano) (ODEPA, 2019), donde existen gran cantidad de familias dedicadas al rubro, por lo que implementar tecnologías y llevar a cabo inversiones en dicha producción es un tema complejo.

3.5 Nivel de inversión en la industria

Respecto a la inversión presente en la industria, y en línea con la tecnología utilizada en la industria, depende del tipo de agricultor el nivel de inversión, dada la precariedad existente en algunas empresas del tipo familiares.

Si se pone el foco en los números a nivel nacional, el financiamiento otorgado por entidades bancarias a la industria agrícola, entre los años 2012 y 2018, corresponde al 6,2%, ubicándolo en tercer lugar detrás de las industrias de construcción y la manufacturera (ODEPA, 2019).

Este nivel de financiamiento está dado también por los apoyos gubernamentales presentes en la industria, donde los esfuerzos se centran en pequeños productores. Lo cual, no significa que sea un gran nivel de apoyo, ya que, el apoyo a los agricultores en Chile se

encuentra en un 2,5% del ingreso bruto de los productores, posicionándolo como uno de los más bajos de la OCDE (ODEPA, 2017).

Por otro lado, la relación entre la crisis hídrica y la inversión presente en la industria posee una relación más estrecha, donde la ODEPA asegura que “en el norte el problema del agua se asume como una condición deficitaria estructural de la actividad agropecuaria, la brecha en la región central aparece asociada a problemas de inversión y de gestión de la infraestructura existente...” (ODEPA, 2019), por lo que se hace aún más urgente realizar cambios en la industria en vistas de mitigar la crisis hídrica presente en el país.

3.6 Precio social

Dentro de las funciones de la División de Evaluación Social de Inversiones del Ministerio de Desarrollo Social y Familia se encuentra asignar recursos a proyectos de inversión en el país de manera óptima (Ministerio de Planificación, 2011). De esta manera, para tomar decisiones de inversión pública se utiliza la Evaluación Social de Proyectos, que busca determinar que tan conveniente es para la sociedad la realización de dichos proyectos de inversión.

Es así como la Evaluación Social de Proyectos utiliza los precios sociales para cuantificar los beneficios que se producen al ejecutar el proyecto de inversión. “El objetivo de la estimación de los precios sociales es disponer de valores que reflejen el verdadero beneficio o costo para la sociedad de utilizar unidades adicionales de recursos durante la

ejecución y operación de un proyecto de inversión.” (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2022). Por lo que es una herramienta fundamental para valorizar el aumento de disponibilidad de cierto recurso, como cuando se evalúan proyectos de aumentos de eficiencia, por ejemplo.

Dentro de los precios sociales entregados en Informe de Precios Sociales 2022 del Ministerio de Desarrollo Social y Familia (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2022) se encuentran el Precio Social de la Mano de Obra, el Valor Social del tiempo de Viaje, los Precios Sociales de insumos de Operación Vehicular y el Precio Social del Carbono, entre otros.

4. Metodología

El presente estudio consiste en identificar oportunidades de mejora en cuanto a la eficiencia en el uso del recurso hídrico en la industria agrícola, mediante la elaboración de una propuesta de hoja de ruta de implementación de tecnologías en función de factibilidad, impacto y costo.

Para llevar a cabo lo anterior, se requiere en primer lugar recopilar información con el fin de caracterizar el país y así conocer cómo se desarrolla la agricultura actualmente en factores como uso de agua, eficiencias y estado hídrico, lo que permite obtener un diagnóstico de la situación país, junto con caracterizar las zonas catalogadas con crisis hídrica por decreto. De esta manera se determina la situación base en la que se encuentra el país en torno a la industria agrícola.

Junto con lo anterior, se caracterizará también la agricultura en el plano internacional, en cuanto a avances tecnológicos y tecnologías utilizadas actualmente. Una vez recopilada dicha información, se procede a realizar el análisis en cuanto las diferencias existentes en lo utilizado actualmente hoy en Chile y lo que se utiliza en el extranjero.

De esta manera, se busca determinar las tecnologías que sean eficientes hídricamente para generar diversos escenarios de implementación tecnológica, a los cuales posteriormente se les realizará una evaluación técnica, ambiental y económica con el objetivo de definir las tecnologías y escenarios que serán considerados para realizar la formulación de una propuesta. Una vez definidas se comienza con el desarrollo de propuestas, considerando como principales aspectos a evaluar la factibilidad de implementación, el costo y la eficiencia en cuanto al uso de agua. Luego, se comparan las

propuestas bajo dichos parámetros y se elabora la hoja de ruta para la implementación de la propuesta seleccionada.

5. Antecedentes

5.1 Estado hídrico en Chile

Chile posee una marcada heterogeneidad hídrica, donde la mayor oferta del recurso se encuentra en el sur del país. Según promedios históricos, de Santiago hacia el norte la disponibilidad media de agua corresponde a $800 \text{ m}^3/\text{persona/año}$, mientras que de Santiago hacia el sur la media es de $10.000 \text{ m}^3/\text{persona/año}$ (Baeza & Torres, 2020). De esta manera, según el World Resources Institute en 2019, Chile se encuentra en el lugar 18 de los países con mayor riesgo hídrico en el mundo, en el grupo catalogado como alto estrés hídrico, a tan solo una posición de ingresar al grupo de riesgo extremadamente alto (Hofste, Reig, & Schleifer, 2019).

En vista de lo anterior, es que se desarrollan estrategias y acciones para enfrentar la escasez de agua que se ha vuelto cada vez más recurrente. La escasez hídrica corresponde a la falta del suministro de agua, producto de la relación entre el consumo humano de agua y el suministro de agua disponible de un área determinada (Baeza, 2018). Sus causas se deben principalmente a irregularidades en los patrones de lluvia y disminución en los recursos hídricos disponibles, nuevas demandas de agua por algún sector productivo y por la falta de estrategias para enfrentar la problemática de la manera adecuada. Uno de los mecanismos para enfrentar las sequías en nuestro país corresponde a los decretos de escasez hídrica, los cuales son dictados por el Presidente en aquellas zonas donde según criterios

hidrometereológicos presentan un alto grado de sequía. De acuerdo al Código de Aguas, los decretos de escasez se dictan por un plazo de 6 meses, sin opción de renovación (DGA, 2022).

A comienzos de 2022, 184 comunas de un total de 346 se encuentran en escasez hídrica por decreto del Ministerio de Obras Públicas (DGA, 2022), lo que da cuenta de la gravedad de la situación, ya que corresponde al 53,2% de las comunas del país que están bajo decreto de escasez. Dentro de las regiones más afectadas se encuentran Coquimbo, Libertador Bernardo O'Higgins, Maule, Los Ríos y Los Lagos, las cuales están completamente bajo este decreto y Valparaíso, región que cuenta con un 97,4% de sus comunas en la misma condición.

En la tabla a continuación se presenta el detalle de comunas afectadas por región:

Tabla 1: Número de comunas con decreto de escasez vigente por región.

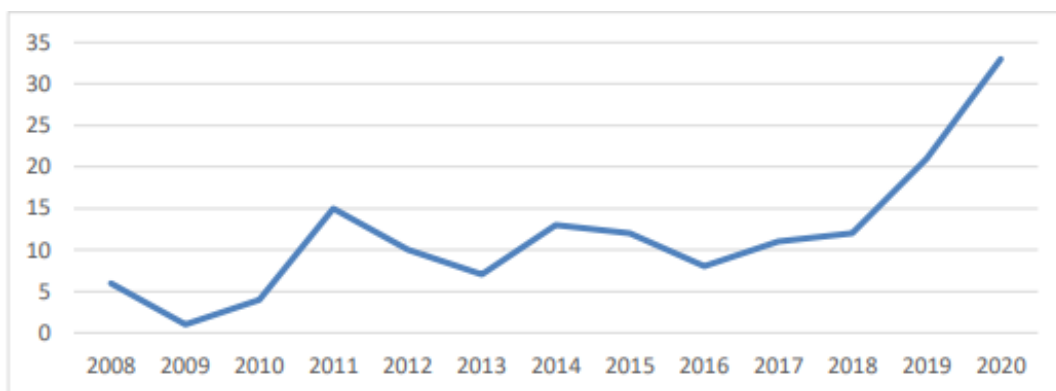
Región	N° Comunas	N° Comunas con Decreto de Escasez	% Comunas Afectadas
Arica y Parinacota	4	0	0,0%
Tarapacá	7	0	0,0%
Antofagasta	9	0	0,0%
Atacama	9	3	33,3%
Coquimbo	15	15	100,0%
Valparaíso	38	37	97,4%
Libertador Bernardo O'Higgins	33	33	100,0%
Maule	30	30	100,0%
Ñuble	21	0	0,0%
BioBío	33	0	0,0%
La Araucanía	32	0	0,0%
Los Ríos	12	12	100,0%
Los Lagos	30	30	100,0%
Aysen	10	0	0,0%
Magallanes y Antártica	11	0	0,0%
Metropolitana	52	24	46,2%
TOTAL	346	184	53,2%

Fuente: Elaboración propia con datos de (DGA, 2022) y (BCN, s.f.).

Lo anterior da cuenta del déficit en las precipitaciones que se presentó en el pasado 2021, año que se cataloga como el cuarto año más seco en la historia del país (DGAC, 2021), donde

ya son variadas las comunas que cuentan con racionamiento de agua mediante camiones aljibes. Además, como se presenta en la Figura 1, se puede ver una clara tendencia en el aumento de decretos de escasez hídrica a partir del 2018.

Figura 1: Número de decretos de escasez hídrica por año



Fuente: obtenido de (Morales, 2021)

Para el caso particular de Chile, según Escenarios Hídricos 2030, las causas del riesgo hídrico en las cuencas corresponden en un 44% a Gestión Hídrica y Gobernanza, 17% al aumento de demanda, 14% contaminación del agua, 12% disminución de la oferta, entre otros (Escenarios Hídricos 2030 Chile, 2019).

Sin duda esta delicada situación repercute en el desarrollo productivo del país, ya que dos de las principales actividades de la matriz productiva, requieren el uso de agua de manera importante para llevarse a cabo.

5.2 Uso de agua para riego

Las principales actividades económicas del país, tales como la agricultura y la minería poseen un uso intensivo del recurso hídrico, y se desarrollan en zonas donde el agua escasea. Particularmente, la agricultura consume un 70% del agua a nivel mundial, mientras que en Chile la cifra corresponde a un 72% de la demanda consuntiva y en el caso de la Región del Maule aumenta a un 96% según estimaciones de la DGA (Morales, 2021) .

En base a la información levantada en el Censo Agropecuario 2021 (INE, 2022), se conoce la superficie de riego por cada región del país, la cual se presenta en la Tabla 2:

Tabla 2: Superficie de riego agrícola, medida en hectáreas por cada región del país.

Región	Superficie [ha]
I de Tarapacá	1.505
II de Antofagasta	978
III de Atacama	9.388
IV de Coquimbo	33.072
V de Valparaíso	45.595
VI de O'Higgins	132.997
VII del Maule	220.165
VIII del Bío-Bío	63.975
IX de La Araucanía	49.891
X de Los Lagos	16.837
XI Aysén	2.753
XII de Magallanes y Antártica	3.701
Metropolitana	91.028
XIV de Los Ríos	22.080
XV de Arica y Parinacota	6.430
XVI Ñuble	84.954

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Censo Agropecuario 2021 (INE, 2022).

De la tabla anterior se extrae que las regiones que cuentan con una mayor superficie de riego, ordenadas de mayor a menor corresponden a Maule, O'Higgins y Metropolitana, mientras que las 3 con menor superficie son las regiones de Antofagasta, Tarapacá y Aysén

(en orden ascendente). Se aprecia que la mayor cantidad de superficie de riego corresponde a la zona centro sur del país, mientras que hacia las zonas extremas (tanto norte como sur) hay una notable disminución de las hectáreas que cuentan con un tipo de sistema de riego.

Según Escenarios Hídricos 2030, si el comportamiento respecto al uso de agua se mantiene de la manera en la que lo hacemos hoy en día, el panorama para los años 2030 a 2050 considera una pérdida de competitividad en la industria debido a un aumento en el costo del agua, ya que aumentaría la competencia por lo escaso del recurso. Sin considerar el daño irrecuperable a las fuentes hídricas (Fundación Chile, 2021).

5.3 Código de aguas

El Código de Aguas corresponde a “la ley que regula el uso de los recursos hídricos del país” (Revista Agronomía y Forestal UC, 2002). En la actualidad, el país se rige bajo la tercera versión promulgada en 1981, que introduce cambios respecto a la modificación anterior realizada en la Reforma Agraria, específicamente en 1967 cuando entra en vigencia. Dentro de los cambios más importantes, “se puso énfasis en la seguridad de los derechos de propiedad y en la limitación del papel del Estado. El objetivo era incentivar el desarrollo económico de país y reactivar la economía después de la Reforma Agraria, poniendo las restricciones mínimas necesarias sobre los derechos de los agentes privados” (Revista Agronomía y Forestal UC, 2002).

Respecto a los derechos de aprovechamiento de aguas, pueden ser categorizados de distintas formas. En primer lugar, pueden ser consuntivos o no consuntivos, donde el

derecho consuntivo permite a su titular consumir el agua en su totalidad en cualquier actividad, mientras que el no consuntivo permite emplearla sin consumirla, exigiendo además su restitución en calidad, cantidad y oportunidad (Chile Atiende, 2022). Además, pueden ser permanentes, donde se faculta el uso del caudal asignado, o bien del tipo eventual, caso en el que sólo se faculta para el uso cuando el caudal posee un sobrante luego de abastecidos los derechos permanentes. Dentro de la última categoría se encuentran los derechos continuos, que permiten utilizar el agua de manera ininterrumpida durante el día, los derechos discontinuos, que facultan a utilizar el agua en periodos determinados de tiempo, y finalmente los derechos alternados, donde el uso del recurso hídrico se distribuye entre dos o más personas, las cuales se turnan sucesivamente. Según CIPER al año 2012, “el 90% de los derechos de aprovechamiento de aguas consuntivas se encuentra en manos de empresas mineras y agroexportadoras” (CIPER Chile, 2012).

Por otro lado, el código de agua presenta ciertas deficiencias, dada su estructura de mercantilización del agua, posee distintos efectos negativos para la gestión del recurso hídrico, dentro de los que se encuentra el fomento al acaparamiento del agua y la especulación, la cual es una operación financiera donde los particulares compran y venden los derechos de aprovechamiento solo con el fin de rentabilizar, más no con el objetivo de hacer uso de ellos (Caldes, 2019). Además, permite ejercer poder de mercado mediante los derechos de agua en mercados donde el agua es insumo, dando paso a un fuerte monopolio con alta incidencia política (Dourojeanni & Jouravlev, 1999).

Junto con lo anterior, la legislación carece de una mirada de preservación medioambiental, al no imponer límites en momentos donde las cuencas se encuentran con un nivel inferior disponible de agua respecto a los derechos otorgados sobre ella. De hecho,

“Esta sobreexplotación, ha sido avalado, por una sobre entrega gratuita de derechos de aprovechamientos de agua, por parte del estado, que en algunas cuencas se calcula entre 5 a 7 veces más, por sobre la capacidad hídrica de los ecosistemas de esas cuencas” (Caldes, 2019). Tampoco existe protección de glaciares, los que en la Región Metropolitana aportan el 40% del caudal del Río Maipo, principal río que abastece la región (Gutierrez, 2020). Por otra parte, como los derechos de agua están en manos de privados, no se garantiza el derecho humano al agua y saneamiento, atentando contra la calidad de vida de las personas.

Finalmente, y luego de más de 10 años de tramitación, a comienzos de 2022 el Senado vota de forma unánime la aprobación de Reforma al Código de Aguas. Dentro de la reforma se encuentran más de 100 modificaciones, donde se reconoce el acceso al agua y saneamiento como un derecho humano esencial. Dentro de los principales cambios destacan que los derechos de propiedad ya no serán entregados de forma indefinida, sino con un plazo de 30 años. Además, dichos derechos podrán extinguirse por su no uso, tras cinco años en el caso de derechos consuntivos y luego de 10 años para derechos no consuntivos. En el marco de crisis hídrica, se aprueba la norma que faculta al Presidente para reservar el recurso hídrico con fines de preservación de los ecosistemas. (Marconi, 2022).

5.4 Nuevas tecnologías

Para lograr aumentar la productividad de los cultivos o dar soluciones a problemas existentes, es que se hace necesaria la implementación de distintas tecnologías, las que

permiten disminuir los costos de producción (insumos y mano de obra) y a la vez aumentar el rendimiento de los cultivos, junto con un mejor aprovechamiento de los distintos recursos. A nivel mundial, se ha utilizado el término de “Agtech” para referirse a las nuevas tecnologías presentes en la industria agrícola y que se espera que produzcan importantes cambios productivos en los próximos años. La consultora PMG (Parraguez, 2017) lista 11 tecnologías que impactarán fuertemente, de las que se destacan:

Robótica: La utilización de robots cuenta con un importante desarrollo en el último tiempo, desde robots recolectores de frutas, especializados en siembra, fertilización, hasta el uso de drones con distintos fines, tales como diagnosticar enfermedades y prevenir incendios.

Cultivos verticales: una solución para el uso de suelo es la transformación de espacios urbanos, que permite generar cultivos de gran productividad, empleando baja mano de obra humana junto con un gran control de los parámetros del cultivo y una alta utilización de tecnología.

Riego tecnificado: En cuanto a riego se refiere, se han logrado importantes avances en miras de aumentar la eficiencia del consumo hídrico. De esta manera, se encuentran los sistemas de riego de alta tecnología, los cuales integran sensores de humedad en el suelo, permitiendo regar cuando sea necesario en función de la humedad presente. También, existen soluciones más económicas como el sistema de riego por goteo, el cual consiste en regar de manera frecuente en pequeñas cantidades, siendo de gran utilidad para regiones áridas y con menos ingresos (Bressa, 2021).

Sensores, big data y software de gestión: La agricultura basada en datos consiste en la utilización de sensores para monitorear variables que influyen en la producción agrícola, en el procesamiento de grandes cantidades de información, con el propósito de que los agricultores puedan gestionar sus cultivos teniendo la mayor cantidad de datos para la toma de decisiones.

5.4.1 Sistemas de Riego

Actualmente existen distintos tipos de sistemas de riego, cada uno con sus propias características y eficiencias. Según los datos obtenidos del Censo Agropecuario 2021 (INE, 2022), los 3 sistemas de riego que cubren una mayor superficie en Chile corresponden a (en orden descendente): Goteo o Cinta, Tendido y Surco. A continuación, se presentan las características de cada uno de los sistemas utilizados en el país:

Goteo o Cinta: También llamado riego localizado, es un método que consiste en la aplicación de pequeñas cantidades de agua mediante un sistema de tuberías que requieren presión, de manera frecuente a través de emisores que distribuyen el agua (INTA Argentina, 2015). Dentro de sus ventajas se encuentra que es el método que presenta una mayor eficiencia con un 90% (cuando su diseño y operación son adecuados), se adapta perfectamente a cultivos en hileras y en tipos de suelo pedregosos con baja retención de humedad (Sandoval & Varas, 1990).

Tendido: El riego por Tendido “llamado también por inundación, es el método más antiguo utilizado en la agricultura, pero a la vez el más ineficiente” y consiste en derramar

agua de un canal hacia los campos (Varas & Sandoval, s.f.). Según el Censo agropecuario 2021 es el segundo método más utilizado en el país. Dentro de sus ventajas es que se puede utilizar en todos los suelos factibles de regar, no requiere nivelación de suelo y la inversión inicial consiste en el trazado de los canales y desagües. Por otro lado, sus desventajas consisten en su baja eficiencia de aplicación, la cual ronda el 30%, es un método que erosiona el suelo y la aplicación de agua es irregular, quedando zonas con falta de riego y otras con exceso.

Surco: El riego por Surcos consiste en “la entrega de agua desde una acequia madre a pequeños canales o surcos ubicados entre las hileras de siembra o plantación, a través de los cuales se moja todo el suelo explorado por las raíces de la planta (Velasco, 2009). Dentro de sus ventajas destaca que no necesita una gran inversión en equipos y permite realizar lavado de sales dada la distribución de los surcos. Sus desventajas incluyen una eficiencia del 45%, requiriendo una correcta nivelación del suelo y diseño de los surcos, ya que de lo contrario el agua podría aposarse, destruirse los surcos y al mismo tiempo erosionar el suelo (Duran, 1988).

Carrete o Pivote: Corresponde a un tipo de riego por aspersión de desplazamiento continuo, es decir, se aplica agua en movimiento. Los Carretes riegan un sector circular y son adecuados para climas húmedos, mientras que el Pivote es adecuado para zonas áridas y semiáridas (Simpfendörfer, 2001). Sus principales desventajas consisten en que al ser un riego circular, dejan sin riego parte de los predios (que generalmente son cuadrados/rectangulares), necesitan una mayor presión para su funcionamiento (Portal del Campo, 2019).

Aspersión: Según Peralta y Simpfendörfer (Peralta & Simpfendörfer, 2001), el riego por aspersión consiste en “aplicar el agua al suelo simulando una lluvia”, esto se logra mediante un sistema de tuberías y bombas hidráulicas, que generan la presión para que el agua fluya a través de un aspersor. Sus principales ventajas incluyen su utilización en suelos susceptibles a la erosión y cuando se dispone de bajo caudal, y que permite regar grandes extensiones de terreno. Por el lado de las desventajas, presenta problemas cuando hay mucho viento y existe una pérdida por evaporación (Agriculturers, 2015).

Microaspersión o Microjet: De acuerdo con Holzapfel (Holzapfel, s.f.), la microaspersión consiste en “la aplicación frecuente de agua filtrada al suelo en pequeñas cantidades a través de una red de tuberías y dispositivos especiales denominadas emisores”. Sus ventajas van desde una alta eficiencia del agua ya que presenta mínimas pérdidas de agua tanto en la conducción como en la evaporación de ésta, además no presenta restricciones en tipos de suelo. Entre sus desventajas destacan el taponamiento de los emisores, dada la calidad del agua utilizada, y una elevada inversión, considerando los diversos elementos que componen el sistema. Finalmente, se necesita cierta preparación por parte del operador para obtener resultados óptimos.

De esta manera, se presenta a continuación las eficiencias que presentan los distintos tipos de sistemas de riego:

Figura 2: Eficiencia en el uso de agua por cada sistema de riego utilizado en el país

Método de riego	Eficiencia de aplicación
Tendido	30%
Surcos	45%
Otro tradicional	60%
Aspersión	75%
Carrete o pivote	75%
Microaspersión y Microjet	85%
Goteo o cinta	90%

Fuente: obtenido de: (Ministerio de Obras Públicas, 2017)

5.4.2 Sensores de humedad

Dentro de los sensores mencionados anteriormente, destaca la utilización de sensores de humedad. Su importancia radica en que, para realizar un programa de riego de manera óptima en frecuencia y cantidad de riego, es necesario conocer (entre otras variables) la cantidad de humedad presente en el suelo y como esta varia en el tiempo (Gonzalez, 2020).

Existen distintos tipos de sensores de humedad, dentro de los cuales se encuentran (Garg, Munoth, & Goyal, 2016):

Tensiómetros: Consisten en una copa de cerámica porosa conectada a un manómetro a través de un tubo de PVC y puede utilizarse en cualquier cultivo hortícola. Este instrumento no mide directamente la humedad del suelo, si no que mide la tensión del agua en el suelo. Dentro de sus ventajas se encuentra que son rápidos, simples, fáciles de usar y de bajo costo, además se recomienda para suelos arenosos o de textura ligera. Sus

principales desventajas consisten en que requiere mantenimiento periódico y se necesitan varios tensiómetros para realizar una medición ya que miden solo en las proximidades de éste.

Reflectometría (TDR): Consiste en la emisión de un pulso de radiofrecuencia, obteniendo el contenido de humedad midiendo el tiempo que tarda en volver dicho pulso. La velocidad del pulso depende de la constante dieléctrica del suelo. Se utiliza principalmente en cultivos con suelos orgánicos y campos con cultivos minerales. Su gran ventaja es que mide la humedad con bastante precisión ($\pm 2\%$) en cualquier tipo de suelo, y que con una sola sonda se puede obtener la humedad de múltiples profundidades. Sus desventajas consisten en que requieren ser calibrados cuidadosamente para medir con precisión, es más costoso que otros métodos y solo logra leer la humedad del suelo en las proximidades del sensor.

De capacitancia – FDR: Consiste en un par de anillos metálicos que forman un condensador. De esta manera, se mide la variación de la constante dieléctrica del suelo, obteniendo así el contenido de humedad. Su principio es similar al TDR. Si la calibración es correcta, es aún más preciso que el TDR ($\pm 1\%$), sin embargo, es más costoso. Puede utilizarse en suelos con una salinidad alta y puede realizar mediciones a varias profundidades. De igual manera que el TDR, requiere una calibración rigurosa y solo mide en las proximidades del sensor, el cual debe tener un buen contacto con el suelo.

Matriz Granular (GMS): Está formado por una cubierta de cerámica porosa, con una matriz interna que contiene 2 electrodos con los cuales realiza la medición. Son útiles en cualquier tipo de suelo (Oregon State University, s.f.), sin embargo tiene buena

precisión en suelos finos y medios, ya que el tamaño de las partículas es similar a la arena que contiene la membrana del sensor. Una de sus ventajas es que, en comparación con el tensiómetro, es más barato y requiere menor mantenimiento, y con su uso se puede lograr la automatización del riego. Sus desventajas consisten en que es poco preciso en suelos arenosos (dado el tamaño de sus partículas), muestra una respuesta diferente en distintos tipos de suelos y es menos sensible a pequeñas lluvias.

Finalmente, se presenta la eficiencia de los distintos tipos de sensores a continuación:

Tabla 3: Eficiencias en el uso de agua por cada tipo de sensor de humedad

Tipo de sensor	Eficiencia
Tensiómetro	45%
TDR	70%
FDR	50%
GSM	73%

Fuente: Elaboración propia, en base información obtenida en (Dukes, Zotarelli, & Morgan, 2010) y (Garg, Munoth, & Goyal, 2016)

5.5 Inversión en Chile

Para determinar cuál es la situación base, sobre la cual se realizará el análisis de brechas tecnológicas, es necesario caracterizar la industria agrícola en Chile en torno al uso de tecnología. Un estudio realizado por la consultora PMG en el año 2015 (PMG, 2015), logra identificar que dentro de los principales resultados obtenidos se determina que la mayor inversión se lleva a cabo en tecnología que aumenta la productividad y eficiencia de los recursos, como el riego, el crecimiento/desarrollo del cultivo y en la preparación del terreno.

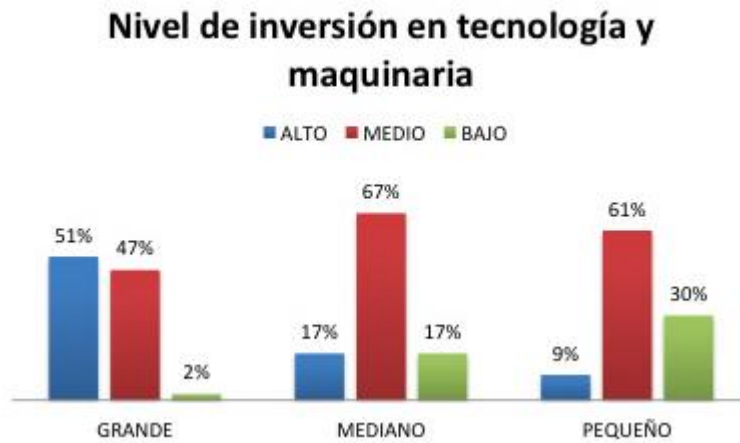
Figura 3: En qué tipo de tecnología invierten los agricultores



Fuente: Obtenido de (PMG, 2015)

En línea con lo anterior, el nivel de inversión de los agricultores es una variable a considerar a la hora de proponer mejoras a los sistemas de riego para así aumentar la eficiencia hídrica. El estudio realizado por PMG (PMG, 2015), levanta que medianos y pequeños agricultores declaran mayormente niveles de inversión en tecnología y maquinaria medianos (67% y 61% respectivamente), donde un 30% de los pequeños agricultores se declaran con un nivel de inversión bajo. En el capítulo “Barreras existentes o potenciales” se detallan las barreras que pueden presentar los agricultores a la hora de realizar inversiones para mejorar sus cultivos.

Figura 4: Nivel de inversión en tecnología declarada por los agricultores según su tamaño



Fuente: Obtenido en (PMG, 2015)

Según los resultados obtenidos en el Censo Agropecuario 2021, el INE indica que “el 87,1% de las Unidades Productivas Agropecuarias es gestionada por productores individuales, y un 6% por empresas o sociedades” (INE, 2022), lo que da cuenta de la cantidad de pequeños y medianos productores.

Por otro lado, existen distintos mecanismos de financiamiento de carácter estatal que entregan fondos para realizar inversiones en obras de riego. Dentro de los beneficios se encuentra el Bono de Riego otorgado por el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), el cual consiste en un subsidio para la construcción, reparación, mejoramiento o ampliación de sistemas de riego y drenaje y tiene un tope de bonificación de \$32.000.000 (INDAP, s.f.). Asimismo, existe la Ley N° 18.450 de Fomento a la Inversión en Obras de Riego y Drenaje, la cual es administrada por la Comisión Nacional de Riego (CNR) y consiste en un sistema de concursos para proyectos de riego tecnificado e infraestructura que otorga hasta un 90% del costo total del proyecto, otorgados una vez construido este, y que permite realizar el

mejoramiento de sistemas existentes o bien realizar nuevas construcciones (Comisión Nacional de Riego, s.f.).

6. Propuesta de aumento de eficiencia del recurso hídrico en el riego agrícola

Para aumentar la eficiencia en el uso de agua para riego agrícola, existen distintas medidas aplicables como la instalación o reemplazo de sistemas de riego tecnificado por uno de mayor eficiencia, uso de *Big Data* para monitorear parámetros ambientales, instalación de sensores de humedad con el propósito de reducir las frecuencias de riego, entre otros.

6.1 Descripción

El riego de los predios agrícolas es uno de los procesos más importantes dentro de la industria e incurre en un intensivo uso de agua. Como se menciona en el capítulo 5.2, el 72% de la demanda consuntiva de agua es utilizada con estos propósitos.

Existen diversos factores que inciden en la eficiencia en el uso de agua, como las características hídricas del suelo que se está regando y el manejo del agua durante el riego (Antunez, Felmer, & Mora, s.f.), por lo que resulta lógico establecer que cada terreno presenta una eficiencia distinta. Para aumentar dicha eficiencia se debe maximizar la eficiencia en el riego y minimizar la pérdida de agua (Dukes, Zotarelli, & Morgan, 2010).

Por lo tanto, para aumentar la eficiencia en el uso de agua para alguna plantación en particular es posible combinar la instalación tanto de sistemas de riego, como de

sensores de humedad para tener un efecto conjunto. Dependiendo de la situación base a analizar, se pueden lograr mayores mejoras en sitios donde no se esté ocupando actualmente alguna de estas tecnologías por separado.

6.2 Mejores prácticas a nivel internacional – Medidas internacionales

En el documento Agricultural Outlook 2012-2021 elaborado en conjunto por la OECD y la FAO (OECD/FAO, 2012), destacan a Israel como “un líder mundial en la gestión y tecnologías relacionadas al riego en ambientes áridos”. Fue el país que inventó y desarrolló el riego por goteo en la década del 1960, tecnología que fue importada por Chile para la gestión hídrica en el norte del país.

Dentro de las tecnologías que se observan en Israel se encuentran los invernaderos inteligentes, manejo de aguas grises, imágenes satelitales, robótica, sensores de campo, entre otras. Para la gestión eficiente del riego utilizan soluciones tecnológicas integrales, uniendo distintas fuentes de información otorgadas por las herramientas mencionadas anteriormente, lo que les permite automatizar decisiones en el manejo del riego (Balbontín, 2019). Prueba de lo anterior, es el desarrollo de un sensor por parte de investigadores del Ministerio de Agricultura, que permite a un árbol emitir una alerta en tiempo real cuando los niveles de humedad se encuentran por debajo de lo establecido, indicando que pueden reducir los gastos de riego hasta en un 50% (Forestal Maderero, 2017).

Por otro lado, se encuentra Holanda, que ocupa el segundo lugar en el listado de mayores exportadores del mundo de productos agroalimentarios (El Mostrador, 2019).

Según El Economista, en los Países Bajos “Los campos están cubiertos por modernos invernaderos que reflejan la luz del sol por el día y se iluminan por la noche” (El Economista, 2021). Y es por estos invernaderos que destaca la agricultura en Holanda, ya que han desarrollado técnicas para incrementar la eficiencia en el uso de agua, ya que se crea un microclima que reduce la evotranspiración y mejora la fotosíntesis de la planta, logrando disminuir hasta en 75 veces el consumo de agua para la producción de jitomate (Moreno, Rojano, & López, 2013).

Finalmente se encuentra China, quien es el mayor productor de frutas y hortalizas a nivel mundial, con 709 millones de toneladas, de las cuales 479 millones de toneladas son de hortalizas que se traducen en el 38% del total de producción mundial en el 2020 (FEPEX, 2022).

Dentro de los avances impulsados por el país asiático destaca el desarrollo del riego de trazas, una nueva tecnología de riego. El riego de trazas consiste en un grifo de control de agua que se sitúa alrededor de las raíces del cultivo, regando según descienda el nivel de agua para mantener así mantener un nivel estable de agua en la tierra, permitiendo reducir la fuga del agua en la tierra junto con la evaporación. Aseguran que consume la mitad de agua que el riego por goteo (Agriculturers, 2015).

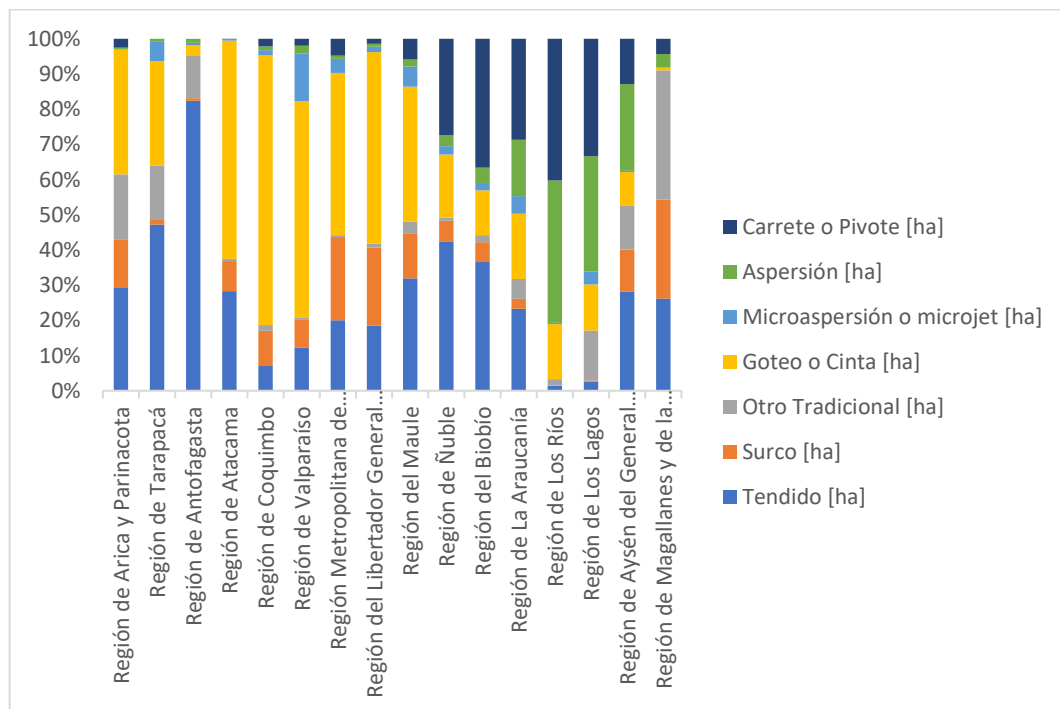
6.3 La situación en Chile

En lo que respecta al uso de tecnología en los sistemas de riego, el Ministerio de Agricultura a través de su Cuenta Pública 2019 (Ministerio de Agricultura, 2019), ha

señalado que “Desde el año 2007 se ha logrado tecnificar un total de 281.500 hectáreas de riego, lo que representa un 92,57% de la superficie tecnificada del país”. En la misma línea, en una entrevista realizada el año 2018, el entonces ministro de Agricultura Antonio asegura que uno de los objetivos del ministerio es acelerar las obras de tecnificación, ya que se cuenta con que un 28% de la superficie de riego es tecnificada (Ministerio de Agricultura, 2018), mientras que según el último Censo Agropecuario realizado en 2021, son 785.350 hectáreas tecnificadas a lo largo del país (INE, 2022), cifra que según el INE corresponde a casi la mitad de superficie con cultivos (INE, 2022).

En segundo lugar, según las hectáreas tecnificadas por región presentadas en la Tabla 2, se presenta la Figura 5 que muestra la distribución de los distintos tipos de riego presentes en cada región:

Figura 5: Porcentaje de superficie que cubre cada sistema de riego por región



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Censo Agropecuario 2021 (INE, 2022)

Es a partir de dicha información que se determina el sistema de riego más utilizado en cada una de las regiones del país:

Tabla 4: Sistema de riego que cubre la mayor superficie en cada región

Región	Sistema de Riego
I de Tarapacá	Tendido
II de Antofagasta	Tendido
III de Atacama	Goteo o Cinta
IV de Coquimbo	Goteo o Cinta
V de Valparaíso	Goteo o Cinta
VI de O'Higgins	Goteo o Cinta
VII del Maule	Goteo o Cinta
VIII del Bío-Bío	Tendido
IX de La Araucanía	Carrete o Pivote
X de Los Lagos	Aspersión
XI Aysén	Tendido
XII de Magallanes y Antártica	Otro tradicional
Metropolitana	Goteo o Cinta
XIV de Los Ríos	Aspersión
XV de Arica y Parinacota	Goteo o Cinta
XVI Ñuble	Tendido

De manera complementaria a la información presentada anteriormente, y con el objetivo de cuantificar la caracterización realizada, se necesita conocer cuantas hectáreas ocupa cada sistema de riego para poder determinar el nivel de eficiencia que presenta actualmente el riego agrícola en el país:

Tabla 5: Superficie utilizada por cada sistema de riego y el porcentaje que presenta de la superficie total

Método de Riego	Superficie [Ha]	%
Goteo o Cinta	299.354	38%
Tendido	200.464	26%
Surco	99.291	13%
Carrete o Pivote	96.851	12%
Aspersión	36.665	5%
Microaspersión o microjet	31.571	4%
Otro tradicional	21.154	3%

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en del Censo Agropecuario 2021 (INE, 2022)

Por otro lado, no presentan información respecto a la utilización de otro tipo de tecnologías, como sensores de humedad, drones, robótica, etc.

6.4 Potencial de mejora

Si se toma como situación base los resultados obtenidos del VIII Censo Agropecuario, el 26% de la superficie agrícola del país (200.464 [ha]), utiliza el sistema de riego por tendido, cuya eficiencia es la menor entre los sistemas de riego más utilizados. Considerando su eficiencia de 30%, por cada metro cubico de riego a cada hectárea se desperdician 140.325 m^3 de agua. Junto con lo anterior, el consumo de agua para riego agrícola permite regar 902.158 hectáreas (ODEPA, s.f.), por lo que considerando las 785.350 hectáreas tecnificadas según reporte el Censo 2021, se cuenta con una tecnificación aproximada de 87%.

Dado lo anterior, existe un potencial de mejora importante en cuanto a la sustitución de sistemas de riego poco eficientes por otros con una eficiencia mayor como el riego por Goteo o Cinta o por Microaspersión. Respecto a la tecnificación, si bien existe un gran porcentaje de hectáreas regadas que cuentan con sistema de riego tecnificado, existe una brecha por cerrar para aumentar la eficiencia de la industria en general.

Finalmente, dado que en el último Censo Agropecuario no se presenta información respecto al uso de sensores de humedad en la industria agrícola es que se considera que el potencial de mejora radica en la instalación de estos dispositivos para la elaboración de un

plan de riego. Dependiendo del tipo de sensor y la correcta instalación, calibración y mantención de los sensores de riego, sus eficiencias pueden ir desde un 45% a un 73%.

6.5 Barreras existentes o potenciales

Para empezar, no se identifican barreras desde el punto de vista legal, en el sentido de que no hay regulaciones que impidan la instalación de sistemas de riego y/o sensores de humedad determinados, ni tampoco normas que no permitan aumentar la eficiencia en el uso del recurso hídrico, por el contrario, como se explica en el punto 5.5 Inversión en Chile, existe una Ley de Fomento de Riego que busca incentivar la inversión en sistemas de riego. Sin embargo, la fragmentación existente entre las distintas instituciones estatales encargadas de tomar decisiones sobre la gestión del agua en el país genera que no exista un plan o política de largo plazo que permita avanzar a los agricultores hacia un escenario más eficiente en el recurso hídrico, que logre disminuir los efectos de las otras barreras existentes y que permita solucionar el problema de manera conjunta (Fundación Chile, 2021).

En segundo lugar, un estudio realizado por la consultora PMG, logra identificar las barreras para el uso tecnológico que señalan distintos agricultores ubicados entre la IV y X región. Sus resultados se muestran en el gráfico a continuación:

Figura 6: Barreras declaradas por los agricultores para invertir en tecnología



Fuente: Obtenido en (PMG, 2015).

En dicho gráfico se observa una clara tendencia en la percepción de las barreras por parte de los propios agricultores, donde los entrevistados declaran que la mayor barrera para el uso tecnológico corresponde a la financiera. Como se mencionaba anteriormente, si bien existe la Ley de Fomento de Riego, su mecanismo de funcionamiento entrega la bonificación una vez realizada la obra, por lo que los agricultores deben contar con el capital o crédito bancario necesario para poder llevar a cabo la implementación de los nuevos sistemas, lo que sin duda afecta a la hora de tomar la decisión de invertir, sobre todo a pequeños agricultores. Ahora bien, considerando que la propuesta está pensada para que sea llevada a cabo por el estado, el ámbito económico sería una barrera importante, considerando el nivel de inversión que supone reemplazar los sistemas de riego, ya que el presupuesto entregado por la Ley de Riego es fijo.

En línea con lo anterior, la segunda y tercera mayoría presentada en la Figura 6 corresponden a las barreras de falta de información y asesoría, y se relaciona directamente con la barrera económica, ya que para el nivel de inversión que requiere la instalación de los

distintos sistemas, no se cuenta con información clara respecto a los retornos que estos podrían generar, donde incluso el prolongar la disponibilidad de agua en un futuro es difícil de cuantificar monetariamente y donde el aumento en la producción en conjunto con el ahorro de uso de agua pueden no ser suficientes para pagar la inversión, lo que hace que la barrera financiera sea de las más difíciles de superar. De esta manera, si se contara con un plan de asesorías y formación respecto a los tópicos que involucra esta mejora, existe la posibilidad de que los agricultores opten por aumentar la eficiencia en sus predios.

Finalmente, se identifican potenciales barreras técnicas a medida que aumenta la tecnificación y sistematización del riego en los campos, ya que se requieren diversos conocimientos para la instalación, uso y mantención adecuada de los equipos. En particular para los sensores de humedad como tensiómetros, se debe realizar una revisión diaria para calibrarlos, llevar a cabo mantenciones, además, algún trabajador debe manejar algún software como Microsoft Excel para graficar las curvas de humedad, tener el conocimiento para poder interpretar los datos y así poder tomar las decisiones para realizar los riegos (Gil, Barrera, Cea, Contreras, & Díaz, s.f.). Es así como puede generar una resistencia por parte de los agricultores, ya que requiere personal más capacitado y desarrollar actividades que no se tenían contempladas en el ciclo productivo.

6.6 Evaluación técnica

En primer lugar, se realiza la evaluación técnica de la incorporación tanto de sistemas de riego como de sensores de humedad, como método para aumentar la eficiencia

en el uso de agua en la agricultura. En cuanto al uso de sistemas de riego tecnificado, se considera que es una tecnología madura, ya que se encuentra implementada en todo el mundo, se conocen las características, eficiencias y condiciones operativas. Respecto a su existencia dentro del país, se considera que es una tecnología existente ya que gran parte de la superficie regada cuenta con riego tecnificado.

Por el lado de los sensores de humedad, se considera una tecnología madura, ya que corresponden a uno de los pilares de la Agricultura de Precisión permitiendo diseñar programas de riego en función de la variación de la humedad en el suelo. Respecto a la existencia, en cuanto a Chile se refiere, no hay registros de un uso extensivo en los cultivos del país ni tampoco existe una amplia oferta de empresas que se dediquen a la instalación de estos, por lo que podría considerarse aparentemente inexistente.

Dada la existencia de ambas tecnologías, es que se evalúa cada uno de los sistemas de riego y sensores de humedad, con la finalidad de determinar cuáles equipos son los más adecuados para diseñar una propuesta de aumento de eficiencia en el consumo hídrico.

Para los sistemas de riego se considerará el documento elaborado por la FAO, “Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado”, en donde se caracteriza el comportamiento de los sistemas de riego según distintos indicadores (FAO, s.f.):

Figura 7: Comparación entre sistemas de riego según distintos indicadores

Indicadores de sostenibilidad	Sistema de Riego		
	Inundación por surcos	Aspersión	Goteo
Inversión inicial	Baja	Mediana	Alta
Utilización de mano de obra en la operación	Alta	Mediana	Baja
Riesgo de erosión en zonas de laderas	Alto	Mediano	Bajo
Necesidad de energía para distribuir el agua	Baja	Alta	Mediana
Consumo de agua	Alto	Mediano	Bajo
Control de consumo de agua	Alto	Bajo	Bajo
Transmisión de enfermedades	Alta	Alta	Baja
Posibilidades de generar conflicto por el agua	Alto	Mediano	Bajo
Riesgo de ineficiencia energética	Alto	Mediano	Bajo
Posibilidades de consumo de plaguicidas	Alta	Alta	Baja

Fuente: Obtenido en (FAO, s.f.)

Considerando que el objetivo principal de la propuesta reside en aumentar la eficiencia del uso hídrico en el riego, se descarta el riego por inundación, ya que como se presenta en el capítulo 5.4 Nuevas Tecnologías, los riegos por Surco y Tendido presentan las menores eficiencias. De esta manera, entre el riego por Goteo y por Aspersión, se opta por evaluar el uso de Riego por Goteo, ya que, si bien requiere una mayor inversión inicial, el uso de mano de obra consiste principalmente en el diseño, correcta instalación y mantenimiento del equipo al ser sistemas fijos. Además, presentan una buena adaptación a cualquier tipo de terreno y cultivo, lo que permite diseñar una estrategia con un estándar de eficiencia. Sin embargo, se debe tener la consideración de que en zonas donde la calidad del agua no sea la óptima, se requerirá mayor rigurosidad en la mantención para que no se tapen los sensores.

En línea con lo anterior, ya que se considera como situación base la no utilización de sensores de humedad, el criterio de elección sobre cuál de ellos utilizar, se centrará en la versatilidad de uso en las distintas condiciones de suelo. Considerando la caracterización realizada en el capítulo 5.4 Nuevas Tecnologías, los sensores FDR y TDR requieren una calibración rigurosa y específica para cada tipo de suelo, lo que hacen que se necesite mayor conocimiento técnico. Luego, los GMS presentan problemas con altos niveles de humedad (FERTINNOWA, s.f.), además es sensible a los cambios de temperatura y a la salinidad del suelo, por lo que sus mediciones son menos precisas. Por otro lado, los tensiómetros se adaptan a distintos tipos de suelo, pero requieren mayor mantención, junto con lo anterior, se necesita una amplia cantidad de tensiómetros para realizar las mediciones, pero considerando que una de sus ventajas es que no es un instrumento costoso, no debería significar mayores problemas (Garg, Munoth, & Goyal, 2016).

Finalmente, teniendo en cuenta que se escoge el sistema de riego con la mayor eficiencia posible, y que los sensores de agua no son utilizados bastamente en la actualidad, se opta por la utilización de Tensiómetros, ya que, al ser una gran cantidad de hectáreas a reemplazar, para que no se vea mermada la aplicabilidad de la propuesta se opta por una opción más económica y que ofrece versatilidad en la instalación.

En función de los factores discutidos anteriormente, se establece como combinación propuesta el sistema de Riego por Goteo y el Tensiómetro como sensor de humedad para evaluar los impactos ambientales que genera la instalación de ambos en las distintas regiones del país.

6.7 Evaluación ambiental

Este capítulo aborda los distintos tipos de impactos ambientales que se producen al implementar la propuesta de cambiar los sistemas de riego poco eficientes por Riego por goteo, junto con la utilización de tensiómetros para monitorear la humedad del suelo para así estimar de mejor manera el cuándo regar.

Bajo una mirada desde los efectos del cambio climático, aumentar la eficiencia en el riego sería una acción decisiva para hacer frente a la escasez de agua y seguridad alimentaria, según indica el Centro Regional de Medio Ambiente para Asia Central (CAREC, 2012). Esta disminución en el consumo impacta en la disponibilidad de agua en los acuíferos, aliviando el estrés que se genera en estos, y disminuyendo de esta manera la vulnerabilidad que enfrenta la agricultura a la escasez de agua. En línea con lo anterior, el sistema de riego utilizado genera una menor erosión de los suelos al suministrar pequeñas cantidades de agua, lo que permite prolongar el uso de estos para actividades agrícolas.

En lo que respecta a la cuantificación de los impactos ambientales, se medirá respecto a los metros cúbicos de agua reducido por cada hectárea regada. Como se busca elaborar una propuesta realista y aplicable en el corto/mediano plazo, es que se elaboran distintos escenarios en la evaluación ambiental, considerando que posteriormente se realiza la evaluación económica, a modo de poder elaborar una propuesta que complemente un impacto en reducción de agua significativo con un costo de inversión razonable que permita implementarla.

En primer lugar, se evalúa el máximo impacto que podría tener la propuesta, el cual resulta de reemplazar todas las hectáreas de riego tecnificado con una eficiencia menor a la del riego por goteo e instalando los tensiómetros. De esta manera, se tiene la máxima reducción de agua desperdiciada, junto con la mayor inversión inicial. A continuación, la Tabla 6 presenta la potencial reducción de agua desperdiciada al aplicar la propuesta:

Tabla 6: Impacto en reducción de pérdidas de agua del Escenario 1 respecto al Caso Base

Región	Agua desperdiciada Base [m³]	Agua desperdiciada Propuesta [m³]	Reducción de desperdicio
Región de Arica y Parinacota	2.557	289	89%
Región de Tarapacá	662	68	90%
Región de Antofagasta	622	44	93%
Región de Atacama	2.916	422	86%
Región de Coquimbo	6.539	1.488	77%
Región de Valparaíso	10.221	2.052	80%
Región Metropolitana de Santiago	30.833	4.096	87%
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	42.290	5.985	86%
Región del Maule	82.247	9.907	88%
Región de Ñuble	36.581	3.823	90%
Región del Biobío	26.454	2.879	89%
Región de La Araucanía	16.922	2.245	87%
Región de Los Ríos	5.195	994	81%
Región de Los Lagos	4.387	758	83%
Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	1.148	124	89%
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	1.873	167	91%
Total	271.446	35.341	87%

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, se reduce considerablemente la pérdida de agua al aplicar la propuesta llegando a un 87%, junto con un 30% de aumento de eficiencia en el riego. En este caso se

reemplazan 485.996 [ha], las que corresponden a un 62% aproximadamente de las hectáreas totales tecnificadas.

En un segundo escenario, se busca disminuir la cantidad de hectáreas a reemplazar, con el objetivo de generar el *trade off* entre reducción de pérdidas de agua y costo de inversión. Es así como se plantea sustituir los sistemas de riego que presenten una eficiencia de riego menor al 60%, por lo que se reemplazan las hectáreas que presentes riegos por Tendido, Surco y Otro tradicional.

Tabla 7: Resumen de la reducción de pérdidas de agua generado al implementar el Escenario 2

Escenario 2	Agua desperdiciada Propuesta [m^3]	Reducción de desperdicio
Total	56.219	79%

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, según indica la Tabla 7 reemplazando 40,9% de las hectáreas totales (correspondientes a 320.909 [ha]), el agua desperdiciada disminuye a 56.219 m^3 , lo que significa una reducción del desperdicio de un 79%.

En tercer lugar, se propone un escenario de priorización de regiones, considerando que para el escenario 2 las hectáreas reemplazadas corresponden a más de un tercio de las hectáreas totales y que la tasa de tecnificación entre el año 2007 y 2019 fue de 281.500 [ha] (ver capítulo 5.5 Situación en Chile), lo que supone un escenario optimista.

De esta manera, se reemplazan únicamente los riegos por Tendido y Surco ya que presentan las menores eficiencias, y como segundo criterio se da prioridad a las regiones que cuentan con el 100% de sus comunas con decretos de escasez según la caracterización realizada (ver capítulo 5.1 Escasez Hídrica). Dichas comunas son Coquimbo, Libertador

Bernardo O'Higgins, Maule, Los Ríos y Los Lagos. Es así como se obtiene el impacto que genera este escenario:

Tabla 8: Resumen de la reducción de pérdidas de agua generado al implementar el Escenario 3

Escenario 3	Agua desperdiciada Propuesta [m³]	Reducción de desperdicio
Total	160.784	41%

Fuente: Elaboración propia.

Donde en comparación al primer escenario propuesto, se disminuyen en un 67% aproximadamente las hectáreas a reemplazar. Es así como se aumenta en un 14% la eficiencia en el riego a nivel país y se disminuyen las pérdidas de agua en un 41%.

El cuarto escenario consiste en la segunda parte de la estrategia de priorización, en donde se aplica el reemplazo de los sistemas con eficiencia menor a 45% en el resto de las regiones que presentan decretos de escasez hídrica, que corresponden a las regiones de Atacama, Valparaíso y Metropolitana. Homologando el procedimiento anterior, se reduce en 89% aproximadamente las hectáreas a reemplazar, consiguiendo una mejora del 13% de reducción en pérdidas de agua y un aumento de eficiencia de 4%. El impacto que genera se presenta a continuación:

Tabla 9: Resumen de la reducción de pérdidas de agua generado al implementar el Escenario 4

Escenario 4	Agua desperdiciada Propuesta [m³]	Reducción de desperdicio
Total	236.490	13%

Fuente: Elaboración propia.

Es así como se propone realizar de manera conjunta el Escenario 3 y 4, bajo este criterio de priorización de regiones que cuentan con comunas bajo decretos de escasez vigente, donde el potencial ahorro de agua es de 145.619 [m³] y el aumento de eficiencia respecto a la actualidad llega al 18%.

Finalmente, la Tabla 10 presenta un resumen de los 4 escenarios por separado y del escenario 5 que considera implementar el Escenario 3 y 4, para poder comparar directamente las hectáreas y mejoras que supone cada uno de ellos, con el fin de evaluar económicamente cada uno de ellos.

Tabla 10: Resumen del impacto de los cuatro escenarios propuestos junto al Escenario 5, correspondiente a implementar los Escenarios 3 y 4

Escenario	Reducción de Desperdicio	Aumento de eficiencia
1	87%	30%
2	79%	27%
3	41%	14%
4	13%	4%
5	54%	18%

Fuente: Elaboración propia.

6.8 Evaluación económica

Teniendo en cuenta las proyecciones de disminución de lluvias y el aumento de las sequías a nivel global, el futuro no parece muy optimista para el rubro agrícola, por lo que aumentar la eficiencia en los riegos se hace indispensable, ya que al existir una menor oferta de agua se puede esperar que aumenten los precios de ésta y así la competencia por acceder a ella, lo que junto a una disminución de las producciones (provocada por una disminución en los riegos), conllevaría a que la industria aumente sus costos, corriendo el riesgo de dejar de ser competitiva.

En base a los escenarios propuestos en el capítulo anterior, se realiza la evaluación económica de cada uno de ellos, para dar paso a la elaboración de la hoja de ruta de la presente propuesta. Se toman como valores referenciales de instalación por hectáreas los siguientes:

Tabla 11: Costo de inversión por hectárea de Riego por Goteo y Tensiómetros

Instalación	Inversión [UF/ha]
Riego por goteo	107,2
Tensiómetro	2,5

Fuente: (Gil, Barrera, Cea, Contreras, & Díaz, s.f.) considerando el valor de la UF al 22 de noviembre de 2022.

En primer lugar, el escenario que contempla la sustitución de todos los sistemas de riego que no sean por goteo, involucra reemplazar 485.996 [ha] correspondientes al 61,9% de las hectáreas totales tecnificadas. De esta manera, la inversión inicial de instalar el nuevo sistema de riego junto con los tensiómetros asciende a 53.307.447 [UF]. En la tabla a continuación, se encuentra el detalle de los costos por región:

Tabla 12: Evaluación económica del Escenario 1

Escenario 1				
Región	Superficie reemplazada [ha]	Costo Riego [UF]	Costo Sensor de Humedad [UF]	Costo total [UF]
Región de Arica y Parinacota	4.151	444.783	10.510	455.293
Región de Tarapacá	1.058	113.352	2.679	116.031
Región de Antofagasta	950	101.828	2.406	104.234
Región de Atacama	3.560	381.435	9.013	390.448
Región de Coquimbo	7.738	829.145	19.593	848.738
Región de Valparaíso	17.574	1.883.133	44.499	1.927.632
Región Metropolitana de Santiago	49.091	5.260.344	124.304	5.384.648
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	60.468	6.479.427	153.111	6.632.538
Región del Maule	135.745	14.545.737	343.720	14.889.458
Región de Ñuble	69.787	7.478.004	176.708	7.654.712
Región del Biobío	55.810	5.980.315	141.317	6.121.632
Región de La Araucanía	40.646	4.355.427	102.920	4.458.347
Región de Los Ríos	18.622	1.995.449	47.153	2.042.602
Región de Los Lagos	14.630	1.567.638	37.044	1.604.682
Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	2.491	266.974	6.309	273.283
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	3.676	393.863	9.307	403.170

Total	485.996	52.076.855	1.230.592	53.307.447
-------	---------	------------	-----------	------------

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se analiza el tiempo que tomaría implementar este escenario, considerando como único financiamiento el monto máximo de bonificación entregado por la Ley de Fomento de Riego de 250.000 [UF]. Es así como el escenario planteado requiere de 213 años aproximadamente para llevarse a cabo, lo que dista de una medida aplicable en el corto/mediano plazo, por lo que se procede a evaluar los escenarios alternativos que buscan disminuir los costos de la propuesta.

En segundo lugar, y bajo el mismo esquema de evaluación del primer escenario, se evalúa el reemplazo de los sistemas de riego que presenten una eficiencia menor al 60%, lo que conlleva a disminuir en un 34% aproximadamente la superficie de reemplazo, bajando de 485.996 [ha] a 320.909 [ha]. Los costos que genera este escenario se resumen en la tabla a continuación (el detalle por región se encuentra en Anexos):

Tabla 13: Resumen de la evaluación económica del Escenario 2

Escenario 2	Superficie reemplazada [ha]	Costo Riego [UF]	Costo Sensor de Humedad [UF]	Costo total [UF]
Total	320.909	34.386.990	812.575	35.199.565

Fuente: Elaboración propia.

Con un costo total de 35.199.565 [UF], implementar este escenario tomaría 140,8 años aproximadamente, que de igual manera al caso anterior, se encuentra lejano al objetivo de realizar la implementación en un periodo prudente de tiempo, teniendo en cuenta la gravedad de la situación hídrica en el país.

Es por esto, y como se plantea en el capítulo 6.7 Evaluación ambiental, los escenarios 3 y 4 corresponden a una priorización de implementación de esta propuesta, donde se reemplazan los sistemas de riego con eficiencias menores a 45%.

Por el lado del Escenario 3, se le da prioridad a las regiones que cuentan con el 100% de sus comunas con decretos de escasez hídrica. De esta manera se reducen en un 67% la superficie a intervenir respecto del primer escenario, con un total de 158.749 [ha] que cuentan con riego por Tendido y Surco. Los datos presentados en la tabla 17 corresponden a los costos totales para el Escenario 3:

Tabla 14: Resumen de la evaluación económica del Escenario 3

Escenario 3	Superficie reemplazada [ha]	Costo Riego [UF]	Costo Sensor de Humedad [UF]	Costo total [UF]
Total	158.749	17.010.791	401.970	17.412.761

Fuente: Elaboración propia.

La inversión inicial alcanza las 17.412.761 [UF], por lo que se logra reducir el costo en aproximadamente un 50% respecto del escenario anterior. Para aplicar este escenario con los fondos otorgados por la ley N° 18.450 se necesitarían alrededor de 70 años, que si bien no deja de ser un plazo considerable, se reduce bastante respecto a los escenarios anteriores.

Por último, el Escenario 4 contempla la sustitución del resto de las regiones que cuentan con decretos de escasez hídrica, con una suma de 52.472 [ha], que implican una disminución del 89% respecto a al primer escenario propuesto. En la tabla a continuación se presentan los costos generados por este escenario:

Tabla 15: Resumen de la evaluación económica del Escenario 4

Escenario 4	Superficie reemplazada [ha]	Costo Riego [UF]	Costo Sensor de Humedad [UF]	Costo total [UF]
Total	52.472	5.622.674	132.866	5.755.540

Fuente: Elaboración propia.

Reemplazar el riego por Surco y por Tendido, junto con la instalación de tensiómetros involucra una inversión de 5.755.540 [UF], obras que se pueden desarrollar en un horizonte de 23 años aproximadamente. Cabe destacar que este escenario corresponde a un segundo escalón dentro de la priorización entre regiones, por lo que no se considera inicialmente la realización de las obras en paralelo.

En base a que la propuesta se realizará incluyendo ambos escenarios, se presenta a continuación los resultados de implementarlos de manera conjunta:

Tabla 16: Resumen de la superficie por reemplazar en hectáreas y Costo total en UF al implementar los Escenarios 3 y 4 en conjunto

Escenario 3 y 4	Superficie reemplazada [ha]	Costo Riego [UF]	Costo Sensor de Humedad [UF]	Costo total [UF]
Total	211.222	22.633.465	534.836	23.168.301

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 17 se presenta un resumen de los costos y años de implementación que requiere cada escenario:

Tabla 17: Resumen del Costo total en UF y de los años de implementación de cada escenario

Escenario	Costo Total [UF]	Años de implementación
1	53.307.447	213,2
2	35.199.565	140,8
3	17.412.761	69,7
4	5.755.540	23,0
5	23.168.301	92,7

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar una importante disminución de los costos entre los distintos escenarios, sin embargo, al ser una política estatal y con un alto volumen de inversión, el estado puede obtener los beneficios de economías de escala, lo que le permite negociar mejores precios mediante licitaciones, por lo que se espera que los costos disminuyan en un orden del 30%, lo que permite suponer costos entre 16 y 23 millones de UF, con un rango tiempo de implementación de 60 a 90 años. Además, dada la importancia de la aplicación de esta propuesta, se puede generar una alianza público-privada para obtener un mayor monto de financiamiento anual que permita disminuir los tiempos de desarrollo de las obras. De esta forma, la propuesta adquiere una mayor viabilidad económica.

Es importante considerar que debido a que gran parte de los potenciales beneficiarios por esta propuesta de proyecto de política pública corresponden a pequeños y medianos agricultores, se descarta evaluar un aporte por su parte a modo de cofinanciamiento, ya que al ser una elevada inversión inicial y el costo por utilización de agua es marginal en comparación, puede no ser una alternativa llamativa para ellos. En vista de lo anterior, al momento de entregar el financiamiento se dará prioridad a pequeños agricultores por sobre grandes empresas agricultoras que eventualmente podrían tener el potencial de autofinanciar el recambio tecnológico propuesto.

Dada las características del proyecto, y analizándolo desde la perspectiva de política pública, la evaluación económica anteriormente expuesta debiese ser complementada mediante una evaluación social de proyectos utilizando metodología aprobada por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia y del Sistema Nacional de Inversiones. En línea con lo anterior, y considerando la heterogeneidad hídrica del país, se debe calcular el Precio Social del agua para cada región (o bien cada cuenca) para así valorizar el aumento de la

disponibilidad de agua que potencialmente genera la implementación de la propuesta. De esta manera se puede cuantificar económicamente el beneficio social que genera la implementación de los sistemas de riego con sensores de humedad, y de esta forma determinar la rentabilidad social del proyecto utilizando una tasa de descuento social de un 6%. En caso de que la rentabilidad social sea positiva, se procedería a realizar comparaciones con otras alternativas de proyectos sociales que se puedan implementar en materia agrícola y déficit hídrico para determinar incrementalmente si esta propuesta de política pública es la más conveniente para el Estado.

6.9 Hoja de ruta para el aumento de eficiencia en el riego agrícola

- Eje de la propuesta: reemplazar sistemas de riego con eficiencias menor al 45% junto con la instalación de sensores de humedad
- Objetivo del eje: aumentar la eficiencia en el riego en un 18 %
- Inversión requerida: entre 16 y 24 millones de UF
- Reducción de la pérdida de agua: $145.619\ m^3$ por cada m^3 /ha de riego
- Barreras: financieras por alto nivel de inversión y técnicas por conocimientos básicos para implementar correctamente las nuevas tecnologías
- Acciones requeridas: se requiere gestión por parte del estado para aumentar el presupuesto anual y para disminuir los costos mediante compras por grandes volúmenes. Además, se necesita un programa de capacitaciones técnicas a nivel nacional para asegurar la correcta implementación de los equipos
- Tiempo necesario para implementar la medida: entre 60 y 90 años

7. Limitaciones

- No se tiene precisión de la reducción en costos que supone las economías de escala que puede generar el Estado al licitar la compra de los equipos requeridos.
- No se considera el efecto del aumento de la producción ni variación de costos operacionales, dado que el agua presenta un costo monetario marginal respecto a la instalación de un sistema de riego por goteo, por ejemplo.
- Los decretos de escasez tienen una vigencia determinada, y según cambien las condiciones se puede decretar en zonas donde no se tenía un decreto vigente anteriormente, por lo que el criterio de priorización puede ser volátil.
- No se encuentra información a nivel nacional respecto al uso de sensores, por lo que se puede estar sobre estimando la brecha si se considera que si existe la utilización de estos.
- Dentro del último Informe de Precios Sociales publicado (2022) no se encuentra el Precio Social del agua, por lo que no se puede valorizar el aumento de la disponibilidad del agua en cada región.

8. Conclusiones y recomendaciones

Sin duda el agua es uno de los recursos más importantes tanto para la vida humana como para el desarrollo industrial, el cual utiliza extensivamente el agua para poder llevar a cabo sus procesos productivos. La industria agrícola utiliza un 72% de agua disponible en Chile y un 70% a nivel mundial, por lo que es primordial mejorar la eficiencia en su uso para así mitigar los efectos del cambio climático relacionados a la escasez del recurso hídrico.

La caracterización del país en torno al recurso hídrico permite establecer que Chile se encuentra en un estado crítico, reflejado en el ranking de países con mayor riesgo hídrico en donde se posiciona en el lugar 18 y en que el 53,2% de las comunas del país se encuentran bajo decretos de escasez hídrica y 5 regiones poseen el 100% de sus comunas bajo esta condición.

En lo que respecta al uso tecnológico actual, se utilizan variados tipos de sistemas de riego, pero no existe evidencia del uso extensivo de nuevas tecnologías utilizadas a nivel internacional como lo son la utilización de robótica, Big Data y uso de sensores de humedad para automatizar el riego, entre otros. A pesar de esto, se consideran como tecnologías a evaluar los sistemas de riego y los sensores de humedad, ambas corresponden a tecnologías maduras mientras como se mencionaba, tan solo los sistemas de riego se consideran como tecnologías existentes en el país.

Por el lado de los sistemas de riego, si bien el Riego por Goteo que corresponde al más eficiente, es el más utilizado en el país con un 38% de la superficie tecnificada, los sistemas que ocupan el segundo y tercer lugar con un 39% de superficie entre ambos son el Riego por

Tendido y por Surco, cuyas eficiencias son del 30% y 45% siendo las menores eficiencias dentro de los sistemas utilizados, lo que da cuenta de una importante brecha eficiencia en la utilización del agua en el riego agrícola.

En línea con lo anterior, en base a la evaluación de diversos criterios como la eficiencia en el uso de agua, adaptabilidad a distintos tipos de suelo y nivel de utilización de mano de obra, se determina que las tecnologías que cumplen con las características de ser implementadas de manera nacional corresponden al sistema de riego por Goteo y al Tensiómetro como sensor de humedad.

Una vez caracterizadas las superficies de riego en las distintas regiones se logra cuantificar el impacto que generan los distintos escenarios planteados para ser incluidos en la propuesta final. El mayor impacto se logra al implementar el primer Escenario, que al instalar tensiómetros y reemplazar todos los sistemas de riego a riego por Goteo logra reducir las pérdidas de agua en un 87%, aumentando en un 30% la eficiencia a nivel nacional, sin embargo, los costos de inversión que ascienden a 53.307.447 UF y un periodo de implementación de 213,2 años llevan a descartar esta opción que si bien apunta al objetivo de hacer la industria lo más eficiente posible, no cuenta con una real opción de implementarse.

De esta manera se llega a la estrategia de priorización que será utilizada en la propuesta final, planteada en conjunto de los Escenarios 3 y 4, donde la primera etapa contempla el reemplazo de los sistemas de riego con eficiencias menor a 45% en las regiones que cuentan con el 100% de sus comunas bajo decretos de escasez, lo que permite aumentar la eficiencia en un 14% y reducir en un 41% la pérdida de agua. En segundo lugar, se aplica el mismo criterio para el resto de las regiones que cuentan con decretos de escasez, que respecto al caso

base permite aumentar en 4% la eficiencia al reducir un 13% el desperdicio de agua, lo que en conjunto permite ahorrar 145.619 [m³] de agua.

Los costos que generan ambos escenarios alcanzan las 23.168.301 UF, que corresponden a un 43,5% de la inversión requerida en el primer escenario. Por su parte, los años de implementación máximos serían 69,7 y 23 para el escenario 3 y 4 respectivamente, que si bien suponen una disminución importante respecto a lo planteado inicialmente, no se logra alinear con la urgencia que supone la crisis hídrica en la que se encuentra el país.

Para mejorar la propuesta anterior se recomienda abarcar los puntos identificados como limitaciones del estudio, donde se considera que el Estado puede obtener una importante rebaja de costos a realizar compras de grandes volúmenes y así aprovechar las economías de escala, lo que se estima disminuiría en un 30% los costos. Junto con lo anterior y entendiendo la urgencia de la situación, se podría esperar que el estado levante una mayor cantidad de fondos para financiar la implementación de la propuesta, además de incentivar también la inversión privada, como por ejemplo asegurando cierta cuota de disponibilidad de agua a empresas mineras. Finalmente, una vez evaluados los tiempos de implementación bajo el financiamiento otorgado por la Ley de Fomento de Riego, se descarta que la inversión sea llamativa para pequeños y medianos agricultores considerando la magnitud de la inversión inicial, por lo que se priorizaría la entrega de beneficios a agricultores de menor tamaño por sobre grandes empresas que potencialmente podrían financiar de manera particular el recambio de sistemas que sugiere la propuesta

Respecto a la evaluación económica del proyecto, si bien se logra determinar los costos de implementación que conlleva el reemplazo de los equipos, se debe complementar la propuesta con una evaluación social de proyectos que utilice una metodología avalada por el

Ministerio de Desarrollo Social y Familia en conjunto con el Sistema Nacional de Inversiones. De esta manera, al valorizar el aumento de la disponibilidad del agua mediante el cálculo de su Precio Social se podría determinar la rentabilidad social de la propuesta, que de ser positiva da paso para compararla con proyectos con enfoques en eficiencia hídrica con el fin de evaluar cual es la más conveniente.

Por último, los alcances planteados en los escenarios de priorización incluidos en la hoja de ruta lograrían aumentar la eficiencia del riego en Chile alcanzando un 84% si se combinan los efectos de los Escenarios 3 y 4, permitiendo identificar los potenciales impactos que se generan al implementar distintas tecnologías en el riego para las distintas regiones en el país y logrando concluir que es posible hacer una transición hacia una agricultura más eficiente. Además, a partir del mismo estudio se pueden generar diversas propuestas utilizando distintos equipos y priorizando de diversas maneras las mejoras a implementar, considerando también que los decretos de escasez tienen una duración máxima y que puede ir variando la situación de las regiones en cuanto a los decretos vigentes.

9. Referencias

- Agricultureros. (27 de Agosto de 2015). *China desarrolla nueva tecnología de irrigación que ahorra más agua*. Obtenido de Agricultureros: <https://agricultureros.com/china-desarrolla-nueva-tecnologia-de-irrigacion-que-ahorra-mas-agua/>
- Agricultureros. (25 de Febrero de 2015). *Particularidades del riego por aspersión*. Obtenido de Agricultureros: <https://agricultureros.com/particularidades-del-riego-por-aspersion/>
- Antunez, A., Felmer, S., & Mora, D. (s.f.). *EFICIENCIA DE RIEGO EN SISTEMAS LOCALIZADOS*. Obtenido de Biblioteca Digital INIA: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7272/NR36474.pdf?>
- Baeza, E. (27 de Marzo de 2018). *Sequía y Escasez Hídrica: conceptos relacionados, situación actual y experiencia comparada en varios países para abordar el problema*. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=128268&prmTIPO=DOCUMENTOC OMISION#:~:text=Se%20refiere%20a%20la%20capacidad,y%20el%20acceso%20al%20agua>
- Baeza, E., & Torres, R. (Diciembre de 2020). *Situación de la demanda de recursos hídricos en Chile por parte de los principales usuarios*. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile : https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/30306/1/Situacion_Demanda_Agua.pdf

Balbontín, C. (11 de Julio de 2019). “*En Israel, la agricultura se desarrolla desde la eficiencia total*”. Obtenido de OPIA: <https://opia.fia.cl/601/w3-article-99047.html>

BCN. (s.f.). *Comunas de Chile*. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: <https://www.bcn.cl/siit/mapoteca/comunas>

Bressa, R. (30 de Marzo de 2021). *ESCASEZ DE AGUA | 6 FORMAS DE REDUCIR EL CONSUMO DE AGUA EN LA AGRICULTURA*. Obtenido de FoodUnfolded: <https://www.foodunfolded.com/es/articulo/escasez-de-agua-6-formas-de-reducir-el-consumo-de-agua-en-la-agricultura>

Caldes, G. (4 de Febrero de 2019). *Código de agua, mercado del agua y escasez de agua*. Obtenido de iagua: <https://www.iagua.es/blogs/gabriel-caldes/codigo-agua-no-soluciona-problema-hidrico>

Cambio Climático Chile. (1 de Octubre de 2018). *Las conclusiones provisionales del IPCC*. Obtenido de Cambio Climático Chile: <https://www.cambioclimaticochile.cl/2018/10/las-conclusiones-provisionales-del-ipcc/>

CAREC. (Marzo de 2012). *Technology Needs Assessment for Adaptation in the Water and Agricultural Sector in Central Asia*. Obtenido de CAREC: https://carececo.org/upload/Technology_Needs_Assessment_for_Adaptation.pdf

Centro del Agua para la Agricultura. (s.f.). *Recursos Hídricos y Riego en Chile*. Obtenido de Centro del Agua: [http://www.centrodelagua.cl/?q=node/13#:~:text=El%20uso%20del%20agua%20en,consuntivos%20\(Ayala%2C%202010\)](http://www.centrodelagua.cl/?q=node/13#:~:text=El%20uso%20del%20agua%20en,consuntivos%20(Ayala%2C%202010))

Chile Atiende. (2022). *Derecho de aprovechamiento de aguas superficiales*. Obtenido de Chile Atiende: <https://www.chileatiende.gob.cl/fichas/7109-derecho-de-aprovechamiento-de-aguas-superficiales#:~:text=El%20derecho%20no%20consuntivo%20posibilita,ejemplo%3A%20riego%2C%20agua%20potable%2C>

CIPER Chile. (17 de Febrero de 2012). *La privatización de las aguas en Chile viola los derechos humanos*. Obtenido de CIPER: <https://www.ciperchile.cl/2012/02/17/la-privatizacion-de-las-aguas-en-chile-viola-los-derechos-humanos/>

Comisión Nacional de Riego. (s.f.). *Cómo Postular a la Ley de Fomento*. Obtenido de Comisión Nacional de Riego: <https://www.cnr.gob.cl/agricultores/como-postular/>

DGA. (2022). *Decretos de Escasez Hídrica Vigentes*. Obtenido de DGA: <https://dga.mop.gob.cl/noticias/Paginas/DetalladeNoticias.aspx?item=824#:~:text=Los%20decretos%20de%20escasez%20h%C3%ADdrica,especialmente%20en%20las%20zonas%20rurales>

DGA. (2022). *Decretos Vigentes*. Obtenido de DGA: https://dga.mop.gob.cl/DGADocumentos/Decretos_vigentes.jpg

DGAC. (22 de Diciembre de 2021). *BALANCE HÍDRICO Y PRONÓSTICO VERANO: “EL 2021 TERMINARÁ COMO EL CUARTO MÁS SECO, SUMANDO 13 AÑOS CONSECUTIVOS DE SEQUÍA”*. Obtenido de DGAC: <https://www.dgac.gob.cl/balance-hidrico-y-pronostico-verano-el-2021-terminara-como-el-cuarto-mas-seco-sumando-13-anos-consecutivos-de-sequia/>

Domínguez, J. I., Vergara, M. M., Aguirre, R., Barrera, D., Montero, J., Cáceres, L., ...

Galán, M. (Julio de 2019). *Panorama de la Agricultura chile*. Obtenido de ODEPA:
<https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/09/panorama2019Final.pdf>

Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (Octubre de 1999). *El Código de Aguas de Chile: entre la ideología y la realidad*. Obtenido de CEPAL:
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6380/1/S9910680_es.pdf

Dukes, M., Zotarelli, L., & Morgan, K. (Febrero de 2010). *Use of Irrigation Technologies for Vegetable Crops in Florida*. Obtenido de American Society for Horticultural Science:
<https://journals.ashs.org/horttech/view/journals/horttech/20/1/article-p133.xml>

Duran, P. (1988). *Riego por Surcos*. Obtenido de Universidad de la República Uruguay:
https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/32881/1/notas_tecnicas_1988_4.pdf

El Economista. (19 de Mayo de 2021). *Cómo la pequeña Holanda se convirtió en una potencia agroalimentaria*. Obtenido de elEconomista.es:
<https://www.eleconomista.es/podcasts/noticias/11222924/05/21/Como-la-pequena-Holanda-se-convirtio-en-una-potencia-agroalimentaria.html>

El Mostrador. (27 de Enero de 2019). *Los Países Bajos revolucionan la agricultura*. Obtenido de El Mostrador: <https://www.elmostrador.cl/agenda-pais/2019/01/27/los-paises-bajos-revolucionan-la-agricultura/>

Escenarios Hídricos 2030 Chile. (Junio de 2019). *TRANSICIÓN HÍDRICA: EL FUTURO DEL AGUA EN CHILE*. Obtenido de Escenarios Hídricos 2030 Chile:

<https://escenarioshidricos.cl/publicacion/transicion-hidrica-el-futuro-del-agua-en-chile/>

FAO. (s.f.). *Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado*. Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/3/aj470s/aj470s02.pdf>

FAO. (s.f.). *Mitigación del cambio climático y adaptación en la agricultura, la silvicultura y la pesca*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/3/i0142s/i0142s.pdf>

FEPEX. (4 de Mayo de 2022). *Sin novedades en el ranking de los principales productores de frutas y hortalizas del mundo*. Obtenido de Federación Española de Asociaciones de Productores Exportadores de Frutas, Hortalizas, Flores y Plantas vivas: <https://www.fepex.es/noticias/detalle/sin-noveddes-ranking-principales-productores-frutas-hortalizas-mundo>

FERTINNOWA. (s.f.). *Granular Matrix Sensors (Watermark)*. Obtenido de FERTINNOWA: <https://www.fertinnowa.com/technologies/granular-matrix-sensors-watermark/>

Forestal Maderero. (1 de Febrero de 2017). *En Israel los árboles envían SMS cuando necesitan ser regados*. Obtenido de Forestal Maderero: <https://www.forestmaderero.com/articulos/item/en-israel-los-arboles-envian-sms-cuando-requieren-ser-regados.html>

Fundación Chile. (22 de Marzo de 2021). *Un 76% de la superficie chilena está afectada por sequía y suelo degradado*. Obtenido de Fundación Chile: <https://fch.cl/noticias/un-76-de-la-superficie-chilena-esta-afectada-por-sequia-y-suelo-degradado/>

Garg, A., Munoth, P., & Goyal, R. (Diciembre de 2016). *APPLICATION OF SOIL MOISTURE SENSORS IN AGRICULTURE: A REVIEW*. Obtenido de Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Anchit-Garg-2/publication/311607215_APPLICATION_OF_SOIL_MOISTURE_SENSORS_IN_AGRICULTURE_A_REVIEW/links/58504ff308aecb6bd8d211cf/APPLICATION-OF-SOIL-MOISTURE-SENSORS-IN-AGRICULTURE-A-REVIEW.pdf

Gil, P., Barrera, C., Cea, D., Contreras, S., & Díaz, L. (s.f.). *Tecnologías apropiadas para mejorar eficiencia de uso y calidad de agua para una producción sostenible e inocua*. Obtenido de Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal UC: <https://agronomia.uc.cl/proyectos/307-riego-en-hortalizas-tecnologias-apropiadas-para-mejorar-eficiencia-de-uso-y-calidad-de-agua-para-una-produccion-sostenible-e-inocua/file>

Gonzalez, F. (2020). *EVALUACIÓN DE UN NUEVO SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO*. Obtenido de Universidad de Talca: <http://dspace.utalca.cl/bitstream/1950/12336/3/2020A000006.pdf>

Gutierrez, J. (3 de Septiembre de 2020). *Hasta en un 75% podría disminuir el aporte de caudales glaciares al río Maipo*. Obtenido de Fundación Glaciares Chilenos: <https://www.glaciareschilenos.org/notas/hasta-en-un-75-podria-disminuir-el-aporte-de-caudales-glaciares-al-rio-maipo/>

Hofste, R. W., Reig, P., & Schleifer, L. (6 de Agosto de 2019). *17 Countries, Home to One-Quarter of the World's Population, Face Extremely High Water Stress*. Obtenido de

World Resources Institute: <https://www.wri.org/insights/17-countries-home-one-quarter-worlds-population-face-extremely-high-water-stress>

Holzapfel, E. (s.f.). *RIEGO POR GOTEO Y MICROJET*. Obtenido de Biblioteca Digital INIA: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/28569/NR25858.pdf?>

INDAP. (s.f.). *Bono de riego Indap*. Obtenido de Oficina de Estudios y Políticas Agrarias: <https://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servicios-informacion/Instrumentos/fichas/f-31.html>

INE. (2022). *Censo Agropecuario*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadísticas: <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>

INE. (Enero de 2022). *Resultados del Censo Nacional Agropecuario y Forestal*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadísticas: <https://www.ine.cl/prensa/detalle-prensa/2022/01/20/resultados-del-censo-nacional-agropecuario-y-forestal-revelan-que-la-ganader%C3%ADa-cultivos-y-frutales-son-las-principales-fuentes-de-ingresos-para-los-productores>

INTA Argentina. (2015). *RIEGO POR GOTEO*. Obtenido de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf

IPCC. (2015). *Informe de síntesis CAMBIO CLIMÁTICO 2014*. Obtenido de IPCC: https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf

IPCC. (2019). *Calentamiento global de 1,5 °C*. Obtenido de IPCC:
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf

IPCC. (2020). *El cambio climático y la tierra*. Obtenido de IPCC:
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf

Maddocks, A., Young, R. S., & Reig, P. (26 de Agosto de 2015). *Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040*. Obtenido de World Resources Institute:
<https://www.wri.org/insights/ranking-worlds-most-water-stressed-countries-2040>

Marconi, C. (12 de Enero de 2022). *Tras más de una década en tramitación, Senado aprueba de forma unánime Reforma al Código de Aguas y es despachada a ley*. Obtenido de La Tercera: <https://www.latercera.com/pulso/noticia/senado-aprueba-de-forma-unanime-reforma-al-codigo-de-aguas/PQL5SROOH5D3RGKKDLJ2WDPWHM/>

Ministerio de Agricultura. (26 de Agosto de 2018). *Ministro Walker y capacidad de riego: “El desafío es crear un sistema moderno de concesiones para apurar las grandes obras”*. Obtenido de Ministerio de Agricultura:
<https://www.minagri.gob.cl/noticia/ministro-walker-y-capacidad-de-riego-el-desafio-es-crear-un-sistema-moderno-de-concesiones-para-apurar-las-grandes-obras/>

Ministerio de Agricultura. (2019). *Cuenta Pública Participativa MINAGRI 2019*. Obtenido de Ministerio de Agricultura: https://www.minagri.gob.cl/wp-content/uploads/2020/05/cuentapublica_minagri2019-1.pdf

Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (Abril de 2022). *Informe Precios Sociales 2022*.

Obtenido de Sistema Nacional de Inversiones:

http://sni.gob.cl/storage/docs/Precios_Sociales_Vigentes.pdf

Ministerio de Energía. (Julio de 2020). *Desarrollo bajo en carbono para la industria chilena*

de la siderurgia. Obtenido de Precio al Carbono:

http://www.precioalcarbonochile.cl/wp-content/uploads/2020/07/2020.07.20_TNA-Acero_Informe-Final.pdf

Ministerio de Energía. (Julio de 2020). *Hoja de ruta para el desarrollo de bajas emisiones*

en la Industria Chilena del Cemento. Obtenido de Precio al Carbono:

http://www.precioalcarbonochile.cl/wp-content/uploads/2020/07/TNA-Cemento_2020-07-20_Informe-FINAL.pdf

Ministerio de Obras Públicas. (Agosto de 2017). *ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA*

ACTUAL, PROYECCIONES FUTURAS Y CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD

DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE. Obtenido de Biblioteca Digital CIREN:

https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/32735/DGA_2017_estimacion_demanda_actual_recursos_hidricos_Chile_Vol_I.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ministerio de Planificación. (2011). *Precios Sociales para la Evaluación Social de*

Proyectos. Obtenido de INGMED Consultores: [http://www.ingmed.cl/wp-](http://www.ingmed.cl/wp-content/uploads/2014/05/Precios_Sociales_vigentes-MDS_2013.pdf)

[content/uploads/2014/05/Precios_Sociales_vigentes-MDS_2013.pdf](http://www.ingmed.cl/wp-content/uploads/2014/05/Precios_Sociales_vigentes-MDS_2013.pdf)

Morales, P. (12 de Abril de 2021). *Escasez hídrica en Chile y las proyecciones del recurso* .

Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile:

<https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32023/3/Escasez%20hi%CC%81drlica%20en%20Chile%20y%20las%20proyecciones%20del%20recurso.pdf>

Moreno, R., Rojano, A., & López, I. (Junio de 2013). *La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada*. Obtenido de SciELO: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222014000200012&script=sci_arttext

Naciones Unidas. (s.f.). *Cumbre de la ONU sobre la Acción Climática ONU 2019*. Obtenido de Naciones Unidas: <https://www.un.org/es/climatechange/2019-climate-action-summit>

ODEPA. (Diciembre de 2017). *AGRICULTURA CHILENA Reflexiones y Desafíos al 2030*. Obtenido de ODEPA: https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/ReflexDesaf_2030-1.pdf

ODEPA. (Julio de 2019). *Panorama de la agricultura chilena - 2019*. Obtenido de ODEPA: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/09/panorama2019Final.pdf>

ODEPA. (s.f.). *Agua para la agricultura*. Obtenido de Oficina de Estudios y Políticas Agrarias: <https://www.odepa.gob.cl/sustentabilidad/agricultura-sustentable/agua>

OECD/FAO. (2012). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2012*. Obtenido de OECD iLibrary: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2012_agr_outlook-2012-en

Olave, R. (Mayo de 2021). *El largo camino para automatizar la agricultura en Chile*. Obtenido de Laboratorio La Tercera:

<https://laboratorio.latercera.com/laboratorio/noticia/automatizar-la-agricultura-en-chile/1017865>

Oregon State University. (s.f.). *GRANULAR MATRIX SENSORS*. Obtenido de Oregon State University: [https://agsci.oregonstate.edu/mes/irrigation/granular-matrix-sensors#:~:text=Granular%20matrix%20sensors%20\(GMS\)%20are,both%20irrigation%20frequency%20and%20duration](https://agsci.oregonstate.edu/mes/irrigation/granular-matrix-sensors#:~:text=Granular%20matrix%20sensors%20(GMS)%20are,both%20irrigation%20frequency%20and%20duration)

Parraguez, C. (17 de Marzo de 2017). *Nuevas tecnologías en el agro: 11 tendencias mundiales*. Obtenido de PMG: <https://www.pmgchile.com/nuevas-tecnologias-en-el-agro-11-tendencias-mundiales/>

Peralta, J., & Simpfendorfer, C. (Febrero de 2001). *RIEGO POR ASPERSIÓN*. Obtenido de Biblioteca Digital INIA: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/40180/NR26419.pdf?sequence=1>

PMG. (18 de Diciembre de 2015). *Uso de Tecnología en el Sector Agrícola Chileno: ¿Utopía o Realidad instalada?* Obtenido de PMG: <https://www.pmgchile.com/uso-de-tecnologia-en-el-sector-agricola-chileno-utopia-o-realidad-instalada/>

PMG. (Mayo de 2016). *Radiografía Agrícola 2016*. Obtenido de PMG Chile: <https://www.pmgchile.com/wp-content/uploads/2016/12/Estudio-Agricola-PMG.pdf>

Pontificia Universidad Católica de Chile. (s.f.). *¿Qué es la Carbononeutralidad?* Obtenido de Sustentable UC: <https://sustentable.uc.cl/carbono-neutralidad-uc/627-que-es-la-carbono-neutralidad>

Portal del Campo. (8 de Octubre de 2019). *Pivotes, tazas y carretes, alternativas eficaces para regar predios ganaderos*. Obtenido de Portal del Campo:
https://portaldelcampo.cl/Noticias/73549_Pivotes--tazas-y-carretes--alternativas-eficaces-para-regar-predios-ganaderos.html

Revista Agronomía y Forestal UC. (Julio de 2002). *Las reformas al código de aguas de 1981*. Obtenido de Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal:
https://agronomia.uc.cl/component/com_sobipro/Itemid,232/pid,103/sid,877/#:~:text=El%20C%C3%B3digo%20de%20Aguas%2C%20actualmente,su%20titular%20usar%20las%20aguas

Sandoval, J., & Varas, E. (1990). *Riego por Cintas*. Obtenido de Biblioteca Digital INIA:
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/31537/NR08822.pdf?sequence=1>

Simpfendorfer, C. (Febrero de 2001). *CARRETES DE RIEGO*. Obtenido de Biblioteca Digital INIA:
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/39950/NR25836.pdf?sequence=1>

Varas, E., & Sandoval, J. (s.f.). *Riego por Tendido*. Obtenido de Biblioteca Digital INIA:
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/35446/NR08945.pdf>

Velasco, J. (Septiembre de 2009). *Buenas prácticas para mejorar la eficiencia del riego*. Obtenido de Biblioteca Digital CIREN:
https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/21298/Chileriego_3

7_2009_RIEGO%20POR%20SURCOS%20Y%20CON%20ADUCCI%C3%93N%
20CALIFORNIANA.pdf?sequence=1

Vitale, J. P., Bruna, S., Peña, H., Duhart, D., Herrera, L., Homsí, J., & Soto, E. (Junio de 2019). *Transición Hídrica, el futuro del agua en Chile*. Obtenido de Escenarios Hídricos: <https://escenarioshidricos.cl/wp-content/uploads/2020/06/futuro-del-agua.pdf>

WWF. (17 de Mayo de 2021). *Se adelanta el sobregiro ecológico en Chile*. Obtenido de WWF: https://www.wwf.cl/sala_redaccion/comunicados_de_prensa/?uNewsID=366951

Anexos

Anexo 1: Hectáreas ocupadas por sistema de riego en cada región

Región	Tendido [ha]	Surco [ha]	Otro Tradicional [ha]	Goteo o Cinta [ha]	Microaspersión o microjet [ha]	Aspersión [ha]	Carrete o Pivote [ha]
Región de Arica y Parinacota	1.889	879	1.187	2.280	8	28	160
Región de Tarapacá	711	23	229	447	85	10	-
Región de Antofagasta	805	7	119	27	7	11	-
Región de Atacama	2.655	808	52	5.829	16	16	12
Región de Coquimbo	2.316	3.323	540	25.334	494	344	720
Región de Valparaíso	5.558	3.685	251	28.021	6.190	991	899
Región Metropolitana de Santiago	18.245	21.521	469	41.937	3.701	777	4.378
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	24.570	29.525	1.392	72.529	2.029	1.092	1.860
Región del Maule	70.266	27.942	7.562	84.420	12.677	4.428	12.871
Región de Ñuble	35.911	5.151	761	15.167	2.020	2.718	23.226
Región del Biobío	23.402	3.592	1.282	8.165	1.155	2.987	23.392
Región de La Araucanía	11.646	1.402	2.816	9.245	2.479	7.977	14.325
Región de Los Ríos	307	13	400	3.458	82	8.938	8.882
Región de Los Lagos	435	53	2.389	2.207	613	5.528	5.611
Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	777	326	345	262	9	678	355
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	970	1.040	1.359	25	5	141	160
Total general	200.464	99.291	21.154	299.354	31.571	36.665	96.851

Anexo 2: Impacto en reducción de pérdidas de agua del Escenario 2 respecto al Caso

Base

Región	Agua desperdiciada Base [m ³]	Agua desperdiciada Propuesta [m ³]	Reducción de desperdicio
Región de Arica y Parinacota	2.557	369	86%
Región de Tarapacá	662	86	87%
Región de Antofagasta	622	55	91%
Región de Atacama	2.916	519	82%
Región de Coquimbo	6.539	1.920	71%
Región de Valparaíso	10.221	2.834	72%
Región Metropolitana de Santiago	30.833	5.534	82%
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	42.290	7.614	82%
Región del Maule	82.247	13.885	83%
Región de Ñuble	36.581	6.868	81%
Región del Biobío	26.454	6.868	74%

Región de La Araucanía	16.922	4.652	73%
Región de Los Ríos	5.195	2.687	48%
Región de Los Lagos	4.387	1.862	58%
Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	1.148	237	79%
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	1.873	229	88%
Total	271.446	56.219	79%

Anexo 3: Impacto en reducción de pérdidas de agua del Escenario 3 respecto al Caso

Base

Región	Agua desperdiciada Base [m^3]	Agua desperdiciada Propuesta [m^3]	Reducción de desperdicio
Región de Arica y Parinacota	2.557	369	86%
Región de Tarapacá	662	86	87%
Región de Antofagasta	622	55	91%
Región de Atacama	2.916	519	82%
Región de Coquimbo	6.539	1.920	71%
Región de Valparaíso	10.221	2.834	72%
Región Metropolitana de Santiago	30.833	5.534	82%
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	42.290	7.614	82%
Región del Maule	82.247	13.885	83%
Región de Ñuble	36.581	6.868	81%
Región del Biobío	26.454	6.868	74%
Región de La Araucanía	16.922	4.652	73%
Región de Los Ríos	5.195	2.687	48%

Región de Los Lagos	4.387	1.862	58%
Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	1.148	237	79%
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	1.873	229	88%
Total	271.446	56.219	79%

Anexo 4: Impacto en reducción de pérdidas de agua del Escenario 3 y 4 respecto al Caso

Base

Región	Agua desperdiciada Base [m³]	Agua desperdiciada Propuesta [m³]	Reducción de desperdicio
Región de Arica y Parinacota	2.557	2.557	0%
Región de Tarapacá	662	662	0%
Región de Antofagasta	622	622	0%
Región de Atacama	2.916	528	82%
Región de Coquimbo	6.539	2.010	69%
Región de Valparaíso	10.221	2.875	72%
Región Metropolitana de Santiago	30.833	5.611	82%
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	42.290	7.844	81%
Región del Maule	82.247	15.133	82%
Región de Ñuble	36.581	36.581	0%
Región del Biobío	26.454	26.454	0%
Región de La Araucanía	16.922	16.922	0%
Región de Los Ríos	5.195	2.753	47%
Región de Los Lagos	4.387	2.256	49%
Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	1.148	1.148	0%

Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	1.873	1.873	0%
Total	271.446	125.827	54%

Anexo 5: Evaluación económica del escenario 2

Región	Superficie reemplazada [ha]	Costo Riego [UF]	Costo Sensor de Humedad [UF]	Costo total [UF]
Región de Arica y Parinacota	3.955	14.732.753.110	348.139.547	15.080.892.657
Región de Tarapacá	962	3.583.852.780	84.687.558	3.668.540.339
Región de Antofagasta	932	3.471.968.424	82.043.696	3.554.012.120
Región de Atacama	3.516	13.097.104.265	309.488.656	13.406.592.921
Región de Coquimbo	6.179	23.019.740.702	543.963.647	23.563.704.349
Región de Valparaíso	9.494	35.367.058.493	835.734.614	36.202.793.108
Región Metropolitana de Santiago	40.235	149.887.778.356	3.541.894.915	153.429.673.271
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	55.487	206.706.859.086	4.884.547.501	211.591.406.587
Región del Maule	105.770	394.023.167.151	9.310.890.238	403.334.057.390
Región de Ñuble	41.823	155.803.938.275	3.681.695.618	159.485.633.893
Región del Biobío	28.276	105.336.908.469	2.489.143.976	107.826.052.445
Región de La Araucanía	15.865	59.101.993.719	1.396.598.531	60.498.592.250
Región de Los Ríos	720	2.681.355.642	63.361.269	2.744.716.911
Región de Los Lagos	2.877	10.718.213.215	253.274.719	10.971.487.933
Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	1.449	5.397.960.446	127.555.488	5.525.515.934
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	3.369	12.551.270.329	296.590.430	12.847.860.759
Total	320.909	1.195.481.922.463	28.249.610.403	1.223.731.532.866

Anexo 6: Evaluación económica del escenario 3 y 4

Región	Superficie reemplazada [ha]	Costo Riego [UF]	Costo Sensor de Humedad [UF]	Costo total [UF]
Región de Arica y Parinacota	-	-	-	-
Región de Tarapacá	-	-	-	-
Región de Antofagasta	-	-	-	-
Región de Atacama	3.463	12.901.708.555	304.871.394	13.206.579.949
Región de Coquimbo	5.639	21.006.471.608	496.389.471	21.502.861.078
Región de Valparaíso	9.243	34.432.466.405	813.649.912	35.246.116.317
Región Metropolitana de Santiago	39.766	148.141.077.573	3.500.619.832	151.641.697.405
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	54.095	201.520.977.362	4.762.003.500	206.282.980.862
Región del Maule	98.207	365.852.279.795	8.645.203.390	374.497.483.186
Región de Ñuble	-	-	-	-
Región del Biobío	-	-	-	-
Región de La Araucanía	-	-	-	-
Región de Los Ríos	320	1.192.657.775	28.182.875	1.220.840.650
Región de Los Lagos	488	1.816.783.361	42.931.157	1.859.714.518
Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	-	-	-	-
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	-	-	-	-
Total	211.222	786.864.422.435	18.593.851.531	805.458.273.965