

Plantaciones de *Aristotelia chilensis* (maqui) en base a sistemas de captación de aguas lluvias (SCALL): una respuesta a los escenarios de escasez hídrica y los desafíos de la gobernanza del agua en Chile

Autores:

Roberto Pizarro
Carlos Estévez
Carlos Vallejos
Alfredo Ibáñez
Claudia Sangüesa
M. Paulina Fernández
Ursula Doll
Romina Mendoza
David Campos

Fondo de Innovación para la Competitividad de la Región del Maule

Código BIP: 30.388.074-0

2019

Plantaciones de *Aristotelia chilensis* (maqui) en base a sistemas de captación de aguas lluvias (SCALL): una respuesta a los escenarios de escasez hídrica y los desafíos de la gobernanza del agua en Chile

Autores:

Roberto Pizarro¹
Carlos Estévez¹
Carlos Vallejos¹
Alfredo Ibáñez¹
Claudia Sangüesa¹
M. Paulina Fernández²
Ursula Doll³
Romina Mendoza¹
David Campos¹

Editora de textos:

Maite Pizarro

Fondo de Innovación para la Competitividad de la Región del Maule
Código BIP: 30.388.074-0

¹ Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. Av. Lircay s/n, Talca. E-Mail: rpizarro@utalca.cl, estevezcarlos.valencia@gmail.com, cvallejos@utalca.cl, alibanez@utalca.cl, csanguesa@utalca.cl, rmendoza@utalca.cl, dcampos@utalca.cl

²Departamento de Ecosistemas y Medio Ambiente, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile, Av. Vicuña Mackenna 4860, Santiago, Chile; E-mail: pfernand@uc.cl

³Centro de Plantas Nativas de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca. Av. Lircay s/n, Talca. E- Mail: udoll@utalca.cl

ISBN: 978-956-329-110-0



PRÓLOGO

Durante mi papel como alcalde de Maipú y posteriormente como ministro de obras públicas durante el mandato 2014-2017 de la presidenta Michelle Bachelet, siempre me pregunté cómo la ciencia y la tecnología podían abrir mejores rutas de trabajo y oportunidades a las personas más simples, aquellas que veían pasar el progreso, progreso que a veces las acompañaba y en otras definitivamente no. Pero también me surgía la pregunta de cómo podríamos ayudar a las personas que quedaban fuera de las grandes obras, aquellas gigantescas que posibilitaban el desarrollo país, pero que no incluían directamente a los más pobres o a los más abandonados. Debo confesar que esa pregunta hasta el día de hoy me da vueltas, sin desconocer el hecho de que esas grandes obras son parte del desarrollo completo de un país y de una sociedad. Pero es claro que falta algo para hacer el círculo más virtuoso.

Hace unos días mis amigos de la Universidad de Talca, en un café citado para discutir los temas del agua, me ofrecieron la oportunidad de prologar este libro que aborda la construcción de los sistemas de captación de aguas lluvias, con fines de aportar agua para el cultivo del maqui, una planta nativa que se ha puesto de moda por la cantidad de antioxidantes que presenta. Y debo confesar que el pensamiento que he expresado en las primeras líneas, vi que se podía concretar en esta propuesta tecnológica. Captar aguas lluvias, abastecer cultivos de maqui y transferir la tecnología a pequeños productores en terrenos degradados definía una posibilidad interesante, porque se recuperaban suelos erosionados, se daba oportunidad a la producción de un fruto proveniente de una planta nativa, que tenía que ver con nuestra historia y, desde una universidad del Estado se entregaba una propuesta tecnológica virtuosa y coherente con los escenarios de restricción hídrica y de cambio climático. Y me decidí a emprender este desafío de prologar un libro en el que se entrelazan las técnicas de la ingeniería hidrológica con la ingeniería forestal, con el objetivo de generar una oportunidad de uso de territorios degradados en base a una planta ancestral como lo es la *Aristotelia chilensis* o maqui.

Sin embargo, todo esto se enmarca en una concepción más amplia ligada a escenarios de escasez de recursos hídricos y de cambio climático, cuya principal expresión es una menor oferta de agua, al menos en el caso de Chile. Esto ha determinado que el parlamento nacional esté discutiendo desde el gobierno pasado una modificación al código de aguas, a lo que se suma que el país se encuentra en el marco de dar cumplimiento, al igual que la mayoría de los países del mundo, a los objetivos de desarrollo sustentable. De ahí ha surgido la necesidad de solicitar a uno de los investigadores asociados al Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental de la U. de Talca, el abogado Carlos Estévez, exdirector general de aguas y consultor de Unesco en materias de sustentabilidad hídrica, el desarrollar un capítulo sobre la gobernanza del agua. Este es un tema crucial para enfrentar escenarios de restricción en la oferta, por una parte, pero también para poder vislumbrar en un marco prospectivo cuáles son los escenarios que se deberían generar a futuro en el objetivo de otorgar sustentabilidad a la gestión del agua en un país como Chile, que depende de los recursos hídricos para su desarrollo productivo, pero también para su sustentabilidad ambiental.

En este marco el libro aborda en primera instancia la gobernanza del agua y la sitúa en el contexto de los objetivos de desarrollo sostenible de Naciones Unidas y en el marco de las modificaciones al código de aguas que se están discutiendo en el parlamento nacional. Seguidamente aborda el diseño y construcción de los sistemas de captación de aguas lluvias, bajo un esquema sólido y riguroso que da cuenta del acervo tecnológico desarrollado por la U. de Talca en estas materias. Posteriormente aborda aspectos ligados a la plantación de maqui y sus cuidados silviculturales, estableciendo recomendaciones y prácticas de uso. Finalmente el libro aborda la prospectiva de los sistemas de captación de aguas lluvias, sumergiéndose en las posibilidades que una tecnología de este tipo permite aportar en temas tan diversos como la recarga de acuíferos con aguas de calidad; el uso de las aguas lluvias para el combate eficiente de los incendios forestales; y el uso de las aguas lluvias urbanas para abastecer áreas verdes y disminuir la circulación de las mismas en zonas urbanas, reduciendo el impacto de las mismas sobre personas y obras civiles.

Al finalizar este prólogo, no me queda más que felicitar a los autores, académicos e investigadores de la Universidad de Talca y de la Pontificia Universidad Católica de Chile, esperando que estas propuestas se masifiquen de forma amplia y puedan ser la concreción de políticas públicas que den cuenta de la necesidad de incorporar a los más pobres de zonas rurales, al objetivo de generar riqueza y rescatar terrenos erosionados, en escenarios de cambio climático y restricciones a las ofertas hídricas. Este es un desafío país de la mayor importancia, porque a partir de los mismos surgen alternativas de actuación que pueden ser una respuesta válida frente a ambientes futuros que deberían ser más restrictivos en la oferta de agua y en donde como país debemos ser capaces de encontrar estrategias de adaptación que sean técnicamente válidas, socialmente transferibles y ambientalmente sustentables.

Alberto Undurraga Vicuña
Ingeniero Comercial, MsSc

Contenido

1. Introducción	7
2. Gobernanza de los recursos hídricos	9
2.1. Gobernanza, gestión sostenible y gestión integrada del agua	9
2.2. Brechas de gobernabilidad en las políticas del agua	11
2.3. Directrices para la gestión sostenible del agua	12
2.4. Desafíos de la seguridad hídrica	15
2.5. Sequía y escasez hídrica	17
2.6. Un marco regulatorio e institucional para el agua	18
2.7. Institucionalidad hídrica	20
2.8. Modificaciones al marco regulatorio de aguas	24
3. ¿Que son los Sistemas de captación de aguas lluvias?	29
3.1. Antecedentes de los SCALL a nivel nacional	29
3.2. Antecedentes de los SCALL a nivel internacional	30
4. Desarrollo del proyecto	31
4.1. Selección de los sitios	31
4.2. Diseño hidrológico de las obras	33
4.2.1. Recopilación de las series anuales de precipitación	33
4.2.2. Ajuste de series de datos a funciones de distribución de probabilidad	33
4.2.2.1. Función de Distribución de Probabilidad (FDP)	34
4.2.2.2. Bondad de Ajuste para las estaciones de la Región del Maule	34
4.2.2.3. Cálculo de la precipitación de diseño	36
4.3. Definición del área de captación	36
4.4. Cisterna de acumulación	37
4.5. Diseño de obras	37
4.6. Construcción de las obras	42
4.6.1. Replanteo en terreno	42
4.6.2. Construcción del área de captación	42
4.6.2.1. Preparación del terreno	42
4.6.2.2. Soporte de la geomembrana en el área de captación	44
4.7. Precipitaciones en la Región de Maule	45
4.7.1. Variación de las precipitaciones en el Maule	45
4.7.2. Evaluación de la lluvia caída en las unidades muestrales	48
4.8. Selección de plantas madres	50
4.8.1. Propagación de los individuos	52
4.8.2. Estado de las plantas de maqui	53
4.9. Plantación y sistema de riego	59
5. Resultados del proyecto	60
6. Conclusiones del proyecto	71
7. Prospectivas del maqui	73
7.1. Introducción	73
7.2. Antecedentes de la especie	73
7.3. Propiedades químicas del fruto de maqui	74
7.4. Usos	75
7.4.1. Productos comestibles	75
7.4.2. Usos en medicina humana	76
7.4.3. Productos cosméticos	77
7.5. Mercado	78
8. Prospectiva de los sistemas de captación de aguas lluvias	79
8.1. Sistemas de captación de aguas lluvias para el combate de incendios	79
8.2. Sistemas de captación de aguas lluvias para recarga de pozos	81
8.3. Sistemas de captación de aguas lluvias urbanos	85
9. Bibliografía	88

1. Introducción

La realización del presente libro nace a través de la ejecución del proyecto titulado “Establecimiento de plantaciones de *Aristotelia chilensis* (maqui) con fines productivos en zonas rurales pauperizadas de la Región del Maule a través de la utilización de sistemas de captación de aguas lluvia (SCALL)”. Dicho proyecto fue financiado por el Fondo de Innovación para la Competitividad FIC-R 2015 del Gobierno Regional del Maule y su ejecución fue en base a dos problemas fundamentales que afectan a las zonas rurales de la Región: por una parte, el aumento de la escasez de agua, y por otra, la degradación de los suelos, hecho que genera pérdidas de rendimiento y empobrecimiento de los sistemas productivos.

De acuerdo con FAO (s/f), alrededor del 50% del territorio de la Región del Maule presenta condiciones de erosión, generadas por la acción de la agricultura, el sobrepastoreo y la erosión hídrica con la consecuente disminución de la flora y fauna típica de la región, así como por el cambio en el comportamiento de las precipitaciones, las cuales han ido disminuyendo paulatinamente. De acuerdo con Valdés *et al.* (2014), los caudales en cuencas de clima semiárido y templado han presentado un comportamiento diferente en los últimos decenios, ya que han mostrado una disminución de los valores de caudales punta, posiblemente como resultado del cambio climático.

Dados estos antecedentes, es que cada año es más común que varias comunas de la región sean declaradas zonas de escasez hídrica, lo que determina que se intente asegurar a la población un adecuado abastecimiento de agua potable mediante el reparto en camiones aljibes, así como también con la implementación de medidas de emergencia para apoyar a los habitantes afectados.

En este sentido, cada vez son más prolongadas las épocas de sequías o escasez hídrica, por lo que se ha ido produciendo una pauperización de los sectores rurales y de manera acentuada en aquellas zonas donde existen suelos degradados. Así, lo que se busca son nuevas alternativas productivas que se puedan adaptar a estas nuevas condiciones, en las que se requiere de un uso eficiente del agua. Para ello, el proyecto planteó el desarrollar Sistemas de Captación de Aguas Lluvias (SCALL), que dieran la posibilidad de captar y almacenar aguas de las precipitaciones para su posterior uso en la época estival, momento en que serán usadas para el riego de plantaciones de maqui, *Aristotelia chilensis*.

Cuando se inició el proyecto, se buscó una alternativa agrícola o forestal, la cual debía tener una adaptación a las condiciones locales y mostrar un potencial productivo y/o comercial. Por tales motivos se seleccionó al maqui (*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz), especie nativa de la Región del Maule y de otras de la zona centro sur, cuyo fruto presenta una creciente demanda, tanto nacional como internacional, debido a su extraordinaria concentración de antioxidantes, entre otros aspectos.

El proyecto tuvo como objetivo general definir un modelo de establecimiento de plantaciones de *Aristotelia chilensis* (maqui), a través del uso de Sistemas de Captación Aguas Lluvias, en áreas degradadas y de clima mediterráneo de la región del Maule, para aumentar la producción de frutos y generar una alternativa sustentable para familias rurales, desde un punto de vista económico y ambiental.

Así, se establecieron seis sistemas de captación de aguas lluvias con capacidad para almacenar 80 m³ de agua cada uno y dos unidades que ya contaban con un SCALL diseñado y construido por INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario). En total se dejaron operativas 8 unidades asociadas a una plantación experimental de maqui (200 plantas) con sistemas de riego por goteo, que serán abastecidas durante los meses sin lluvia, con riegos de mantención. Los ensayos se ubicaron en las comunas de San Clemente, San Javier, Empedrado, Constitución y Curepto.

Cabe destacar que, para la selección de los propietarios, se contó con el valioso apoyo de INDAP de la Región del Maule, quienes realizaron los contactos con los propietarios. Para dicha selección, se tomaron como criterios para instalar las unidades demostrativas, las siguientes características: buena accesibilidad en términos de tener un camino asequible durante todo el año, especialmente en invierno, con el fin de poder trasladar maquinaria para la construcción de las obras; tipo de tenencia de la propiedad, priorizando aquellos lugares que eran habitados por sus propios dueños; disposición del beneficiario para atender el cuidado y mantención de esta nueva tecnología, y para recibir visitas o delegaciones durante la ejecución del proyecto; factibilidad técnica y espacial para la instalación de las obras; disponibilidad y necesidad hídrica dirigido a aquellos sectores en donde los municipios realizan grandes inversiones en la distribución de agua; y finalmente que hubiese existencia de un SCALL, en al menos dos unidades, por lo que se seleccionaron 2 propietarios beneficiados con esta tecnología implementada por INDAP.

Como resultados del proyecto, se tienen hoy 8 unidades demostrativas en funcionamiento. Se espera que en el futuro estas unidades sigan siendo objeto de visitas y análisis, y que, por el aporte de este proyecto en particular, sea posible introducir en la Región los sistemas de captación de aguas lluvias como una herramienta sustentable para llevar agua a sectores remotos, y, por otra parte, abra la posibilidad de que la Región considere al maqui como una opción silvícola, en el contexto de un mercado tan promisorio por el que está atravesando la especie. A esto se suma la interesante disposición que muestran diversas zonas rurales a abrirse a la producción de una especie forestal, que hasta hace muy poco era considerada una maleza y que hoy abre espacios incluso entre los mercados internacionales.

2. Gobernanza de los recursos hídricos

2.1. Gobernanza, gestión sostenible y gestión integrada del agua

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (2015-2030) acordada por la Asamblea de Naciones Unidas, en comparación con los Objetivos del Milenio (2000-2015), implicó transitar, en materia de aguas, desde un planteamiento acotado a generar el acceso a fuentes de agua potable y saneamiento básico mejoradas, a uno más integral que incluye los derechos humanos de acceso al agua potable, saneamiento e higiene, como también la gestión de la totalidad del ciclo hidrológico de forma integrada y equitativa.

Destaca, dentro de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, el ODS 6, denominado “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.” Este objetivo cuenta con ocho metas, entre las cuales destaca, para los efectos de este apartado, la meta 6.5 “De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.”

La Gestión Sostenible del Agua (GSA) es un componente esencial del ODS 6, junto con la disponibilidad de agua dulce y el saneamiento universal. Este objetivo cuenta con 8 metas y sus respectivos indicadores, siendo una de ellas la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). Pues bien, existe más de una aproximación para entender la relación entre gobernanza del agua, gestión sostenible del agua y gestión integrada del recurso hídrico, particularmente porque sus fronteras son relativamente permeables y difusas.

Según el diccionario de la lengua española, gobernanza significa “arte o manera de gobernar que se propone como objetivo el logro de un desarrollo económico, social e institucional duradero, promoviendo un sano equilibrio entre el Estado, la sociedad civil y el mercado de la economía”.

La gobernanza del agua incluye, además de la gestión del recurso, las mejoras en la capacidad institucional, en los marcos regulatorios y en la modalidad de distribución, es decir, aquellos elementos fundamentales en la conformación del poder en torno al agua, propiciando la inclusión de todos los actores sociales en las decisiones que les conciernen. (Domínguez, 2006). De hecho, el Segundo Informe de la UNESCO sobre la Situación de los Recursos Hídricos en el Mundo se centra en el tema de su gobernabilidad, reconociendo que es el foco de la verdadera crisis del agua y no tanto la escasez o abundancia del recurso. Igualmente, el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO (WWAP) (2019), informa a los responsables de políticas y de toma de decisiones sobre cómo la mejora en la gestión de recursos hídricos y el acceso al suministro de agua y a los servicios de saneamiento son esenciales para combatir la pobreza, construir sociedades más prósperas y pacíficas, y asegurar que nadie se quede atrás en el camino hacia el desarrollo sostenible.

La relación entre la GSA y la GIRH es de carácter simbiótica. La gestión sostenible del agua acentúa el fin, el propósito o la razón de ser de la gestión del agua (que sea sostenible), mientras que el concepto de la GIRH acentúa su cualidad o el modo de hacer dicha gestión, es decir, integrando a los múltiples actores del agua, a distintas fuentes de aguas (nivales, superficiales, subterráneas, marinas, etc.) e integrando distintos enfoques, interdisciplinarios e interdependientes, donde el ámbito espacial de acción es la cuenca del río en vez de los cursos de agua, transitando desde una aproximación centrada en el dominio hacia una modalidad de gestión amplia e inclusiva, donde nadie puede quedarse atrás.

En consecuencia, la gestión sostenible del agua se encuentra en el corazón del ODS 6 y se complementa con al menos otras cuatro metas del ODS 11 y del ODS 15.

Cuadro 1. Metas de los ODS que posibilitan la Gestión Sostenible del Agua

N°	Descripción de la meta
6.1	<i>Acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos</i>
6.2	<i>Acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos</i>
6.3	<i>Mejorar la calidad del agua reduciendo su contaminación y aumentando el tratamiento de aguas residuales, su reciclado y reutilización en condiciones seguras</i>
6.4	<i>Aumentar la utilización eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren su falta</i>
6.5	<i>Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles</i>
6.6	<i>Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos humedales, ríos, acuíferos, lagos y otros</i>
11.5	<i>Reducir significativamente muertes y daños provocados por desastres relacionados con el agua</i>
11.b	<i>Implementar políticas y planes integrados para promover la inclusión, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres; junto con poner en práctica la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles</i>
15.1	<i>Velar por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y los servicios que proporcionan, en particular los bosques, los humedales, las montañas y las zonas áridas</i>
15.3	<i>Luchar contra la desertificación, la sequía y las inundaciones, procurando una degradación neutra del suelo</i>

Estas 10 metas conforman el cuerpo principal del horizonte del desarrollo sostenible desde una perspectiva hídrica. Algunas de ellas presentan una dualidad, es decir, son simultáneamente metas a lograrse y, a la vez, expresan las herramientas para su concreción, determinando no solo el para qué, sino también el cómo acabar con el enfoque tradicionalmente fragmentado del sector del agua, permitiendo una gestión coherente y sostenible (Unesco y Codia, 2019).

Las siguientes metas explican cómo hacer una gestión sostenible del agua:

- *Utilizar eficientemente los recursos hídricos en todos los sectores (6.4).*
- *Asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua para todos (6.4).*
- *Poner en práctica la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles (6.5).*
- *Abrir líneas de cooperación y creando capacidad en programas sobre agua y saneamiento (6.a).*
- *Mejorar la gestión del agua con un enfoque participativo (6.b).*
- *Asegurar la igualdad de oportunidades de liderazgo a todos los niveles decisorios.*
- *Garantizar los derechos humanos de acceso al agua potable y al saneamiento (6.1 y 6.2).*

Se estima por Naciones Unidas que la meta 6.5 (gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles y cooperación transfronteriza con los recursos hídricos compartidos), será el paso más complejo para cumplir con el ODS 6 y que, alrededor del 80% de los países tienen a la fecha cumplimientos parciales en esta materia¹.

¹ No existe un enfoque único para implementar esta meta ni una cadena lógica para aplicarlo, debiendo cada país o comunidad desarrollar su propio camino, a partir de sus circunstancias políticas, sociales, culturales, medioambientales y económicas.

La gestión integrada de los recursos hídricos tiene lugar en un marco holístico, es decir, uno que integra los ámbitos espacial, social, participativo, administrativo, organizativo (Jaspers, 2001) y, por cierto, el temporal. Para este propósito, la GIRH debe incluir a los distintos aspectos de la actuación política, como el medioambiental, político, social, cultural, económico, financiero y legal.

De acuerdo con la UNESCO y el CODIA (2019), la sostenibilidad en la gestión del agua requiere de la capacidad de integrar en dicha gestión a:

- *Toda el agua (superficial, subterránea; dulce y salada; líquida, sólida y gaseosa).*
- *Todos los intereses (dimensión social, económica, ambiental).*
- *Todos los grupos de interés (dimensión inclusiva y participativa).*
- *Todos los niveles (dimensión administrativa).*
- *Todas las disciplinas relevantes (dimensión interdisciplinaria, cognitiva).*
- *Todo el continuo temporal: pasado (data), presente y futuro (proyección y anticipación).*

2.2. Brechas de gobernabilidad en las políticas del agua

El agua con toda su transversalidad constituye un desafío que la sociedad no puede abordar parcialmente. El primer paso consiste en identificar correctamente cuáles son los principales desafíos para la gestión y gobernanza del agua desde el territorio que habitamos y, como todo desafío correctamente identificado, concluir de un modo inclusivo cuáles son las mejores alternativas de solución, teniendo a la vista al menos ocho criterios:

- a) El crecimiento económico y demográfico conduce a una mayor demanda y contaminación del agua.*
- b) La salud de las personas y del medioambiente son afectadas por aguas de mala calidad.*
- c) Es necesario incrementar la eficiencia productiva, utilizando cada vez menos agua.*
- d) Debe abordarse la fragmentación institucional y la divergencia de objetivos políticos.*
- e) El mercado suele fallar en la búsqueda de sostenibilidad económica y medioambiental.*
- f) Prevalece una gestión deficiente de las organizaciones de cuencas para resolver demandas competitivas de agua y los desafíos medioambientales relacionados.*
- g) La gobernanza del agua debe centrarse en la seguridad hídrica y en los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico.*
- h) Se precisa priorizar un acceso equitativo al recurso y la sostenibilidad social.*

Según la UNESCO y el CODIA (2019), los desafíos del agua convocan a distintos sectores productivos, a organismos públicos y privados, a toda la expresión social, cultural y económica, al mundo urbano y rural y a todos los actores que puedan colaborar frente a una situación crítica donde el acceso a agua suficiente y de calidad puede hacer la diferencia entre desarrollo y pobreza. Es conveniente que las políticas públicas identifiquen, prioricen y aborden las brechas de gobernanza del agua para abordarlas de un modo efectivo y evitar que se constituyan en amenazas contra una gestión del agua sostenible, eficiente, inclusiva y segura. Entre las principales brechas de la gobernanza del agua destacan:

- a) La de información, que afecta el proceso de definiciones políticas, su implementación y evaluación.*
- b) La de políticas, que resulta de la fragmentación institucional.*
- c) La de objetivos, que resulta de la tensión entre objetivos divergentes o contradictorios entre distintas reparticiones u organismos.*
- d) La de conocimiento científico y técnico.*
- e) La de inversión en infraestructura y mantenimiento preventivo.*
- f) La de financiamiento, para implementar las políticas del agua.*
- g) La de rendición de cuentas, referida a la falta de transparencia en la formulación e implementación de políticas del agua, que afecta la confianza en la institucionalidad y la participación de las comunidades locales en la gestión del agua.*

- h) *La administrativa, que resulta de la falta de coincidencia entre la competencia territorial de la administración política que contiene una cuenca y sus límites hidrográficos.*
- i) *La brecha ambiental, que denota una visión carente de largo plazo en sostenibilidad.*
- j) *La de género, que se expresa transversalmente en todas las áreas del desempeño económico, social, cultural y político.*

2.3. Directrices para la gestión sostenible del agua²

Ya se explicó que tanto la gestión sostenible del agua como su gestión integrada a nivel de cuencas son particularmente complejas, pudiendo variar sustantivamente entre un territorio y otro. Debido a ello, desde la particularidad de una región cuenca, se precisa realizar un ejercicio de definición y priorización de brechas. Complementariamente, a fin de que este ejercicio no se traduzca en una enorme diversidad de modelos, siempre es conveniente volver a la matriz, para lo cual se puede tener a la vista un marco de criterios o directrices como las siguientes:

2.3.1 Consolidar el compromiso de líderes, dirigentes y actores de una gestión del agua transparente y responsable ante todas las partes interesadas, quienes deberán:

- Generar políticas, marcos regulatorios e instituciones que incentiven y no obstruyan la gestión orientada al desarrollo sostenible, cubriendo las necesidades humanas sin transgredir los límites ecológicos ni comprometer las posibilidades de las generaciones futuras de cubrir sus propias necesidades ni incrementar las desigualdades sociales³.
- Comprometerse con los principios de la gestión sostenible en la definición de políticas del agua y en sus acciones, propiciando la creación de una cultura de desarrollo sostenible.
- Posibilitar la asociatividad público-privada y la inclusión de los distintos sectores de la sociedad, con especial atención en los más vulnerables.
- Implantar prácticas de buen gobierno, basadas en la transparencia y responsabilidad.
- Respaldar presupuestariamente el diseño e instalación de sistemas de información sobre el agua que permitan la vigilancia del recurso, el control de extracciones, su mejor aprovechamiento y la mejora de la calidad del agua, junto con una expedita accesibilidad y socialización de esos datos.

2.3.2 Implementar sistemas de gestión sostenibles basados en el conocimiento, la innovación y las buenas prácticas, que aseguren una mayor eficiencia y una mejor calidad de vida de las personas. Para ello se precisa:

- Conocer el ciclo hidrológico de las cuencas, incluyendo su comportamiento ante eventos extraordinarios, la disponibilidad del recurso y la relación entre aguas superficiales y subterráneas.
- Aprovechar tecnologías económicamente abordables; la experiencia comparada y aquellas prácticas consuetudinarias adaptables a las metas de gobernanza, tanto para conocer el comportamiento del ciclo hidrológico, como para saber con precisión quién, dónde y cuánta agua extrae.
- Innovar para reducir costos de organización, de infraestructura e impactos sobre el ecosistema.
- Generar y transparentar oportunamente información cierta, comparable y relevante para definir y evaluar políticas del agua, objetivos sostenibles y metas (efectividad).
- Maximizar beneficios (eficacia).
- Crear confianza entre la población, garantizando su inclusión y participación.

² Para las directrices 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3, 1.3.4 y 1.3.5 ver <http://www.rumbosostenible.com/gestion-sostenible/que-es-la-gestion-sostenible/>. Para las directrices 1.3.6, 1.3.7, 1.3.8 y 1.3.9 ver los Principios de la Gestión de los recursos hídricos de la Conferencia Internacional sobre Agua y el Medioambiente, celebrada en Dublín, Irlanda, 1992.

³ El informe de la Comisión Brundtland, de 1987, *Nuestro Destino en Común*, acuñó el término de Desarrollo Sostenible y definió que el desarrollo del presente no debe limitar las posibilidades de desarrollo de las generaciones futuras. La palabra “sostenible” se recoge en el Diccionario de la Lengua de la Real Academia Española con una acepción esclarecedora: “Especialmente en ecología y economía, que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente”.

2.3.3 Avanzar hacia una gestión de calidad y excelencia.

- Involucrar en todos los niveles a las organizaciones de cuenca y las autoridades públicas.
- Respetar a las personas y organizaciones de aguas en su ámbito de influencia.
- Enfocar la gestión del recurso hídrico desde una perspectiva de integralidad, posibilitando la coordinación de actores, usuarios y funcionarios de los distintos órdenes de gobierno.
- Establecer mecanismos formales de coordinación y concertación intra e intersectorial.

2.3.4 Impulsar la capacitación y adaptación de las personas a los desafíos del agua⁴.

- Abordar las brechas de capacidades existentes para la implementación de una GIRH.
- Abordar las brechas en planeamiento, formulación del marco regulatorio, gestión de proyectos, financiación, presupuestos, monitoreo, recolección de datos, gestión y evaluación de riesgos.
- Capacitar a técnicos y actores del agua para desempeñar sus tareas de forma eficaz y segura, estableciendo un plan de formación centrado en la gestión sostenible del recurso.
- Capacitar a las nuevas autoridades de aguas, en todos los componentes básicos de la gestión sostenible del agua, incluyendo su gobernanza, eficiencia y seguridad.
- Promover la contratación de funcionarios públicos y profesionales del agua sobre su mérito, utilizando mecanismos de concursos abiertos, independientes y transparentes.

2.3.5 Apoyar la prevención de la contaminación, promoviendo la responsabilidad ambiental, el uso eficiente de los recursos y el desarrollo y difusión de las tecnologías limpias⁵.

- Disponer de sistemas y programas para prevenir la contaminación del agua y ecosistemas, posibilitando el acceso a agua potable limpia y segura⁶.
- Promover la inversión en el tratamiento de las aguas residuales, reduciendo la brecha de las aguas servidas que se vierten directamente a ríos, lagos, acuíferos y océanos, sin tratar.
- Promover la actualización de normas de calidad respecto a los contaminantes emergentes, incluyendo su monitoreo, evaluación y control de esta amenaza.
- Promover el desarrollo de tecnologías limpias en el conjunto de la GSA.
- Promover soluciones políticas, científicas y tecnológicas para priorizar la mejora de la calidad del agua y controlar su contaminación (UNESCO, 2015).
- Comprender la afectación a la calidad del agua como un componente del problema de la seguridad hídrica, abordándose desde el marco de la GIRH (UNESCO, 2012).
- Derecho humano de acceso al agua potable y saneamiento. ONU. 2010.

⁴ Principio 4 de la gobernanza del agua OCDE, 2015: “Adaptar el nivel de capacidad de las autoridades responsables a la complejidad de los desafíos del agua que deben afrontar, y a la serie de competencias necesarias para llevar a cabo sus funciones”.

⁵ Meta 6.a del ODS 6: Ampliar la cooperación internacional (...) para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización”.

⁶ Meta 6.3 del ODS 6: “Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial”.

Meta 6.6 del ODS 6: “De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.”

2.3.6 Generar conciencia de que el agua dulce es un recurso limitado y esencial para la vida.

- La demanda por agua es incremental y no se ajusta a una disponibilidad limitada, por lo que se precisa limitar y controlar las extracciones para garantizar la sostenibilidad del recurso.
- El agua es esencial para el desarrollo, pero es vulnerable a ciertas modalidades de desarrollo.

2.3.7 El enfoque participativo es indispensable para una GSA, involucrando a todos los usuarios, funcionarios, políticos y ciudadanos, cualquiera sea su género y jerarquía⁷.

- Cuando el agua está involucrada, todas las personas son grupos de interés.
- La capacidad de participación necesita ser creada o, según el caso, reforzada.
- Se debe crear un entorno facilitador para los grupos sociales marginados o priorizados.
- La participación:
 - a) es real cuando los grupos de interés son parte de la toma de decisiones,
 - b) posibilita la integración e inclusión en la toma de decisiones en el nivel más factible, posibilitando proyectos exitosos en su diseño, operación y mantenimiento,
 - c) favorece que los recursos medioambientales sean protegidos y que los valores culturales y los derechos humanos sean respetados,
 - d) aumenta la transparencia y responsabilidad en la toma de decisiones,
 - e) no siempre logra consensos, debiéndose implementar procesos de arbitraje u otros mecanismos de resolución de conflictos.

2.3.8 Las mujeres tienen un papel central en la provisión, gestión y cuidado del agua.

- Es necesario cuestionar aquellas tradiciones sociales y culturales que justifican la marginación de la mujer en la gestión del agua.
 - Los administradores del agua deben considerar la urgente necesidad de una integración de género en la gestión del agua, a fin de lograr el objetivo de la GSA⁸.
 - Es necesario reforzar el vínculo entre género y sostenibilidad del medioambiente.
 - Los desastres hídricos tienen mayor impacto sobre las mujeres.
 - Se debe facilitar el acceso a financiamiento a mujeres pobres y campesinas para que desarrollen emprendimientos agrícolas prósperos y eficientes en relación con el agua.
- Un enfoque de género permite un uso más eficiente de los recursos hídricos y financieros, posibilitando inversiones más efectivas y una mejor recuperación de estas.
- La consideración de género en la gestión puede ayudar a reducir los conflictos potenciales relacionados con la asignación de los recursos hídricos y tarifas⁹.

⁷ Meta 6.b del ODS 6: “Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.”

⁸ Cap-Net y la Alianza de Género y Agua (Gender and Water Alliance, GWA) han desarrollado un tutorial para los administradores del agua en el que se explica “¿Por qué el género tiene importancia?”.

⁹ Reconocer las diferencias en la posibilidad de pago y entender quién paga la factura del agua dentro de una comunidad puede reducir la posibilidad de conflictos, así como la falta de pago. Como generalmente las mujeres pagan el agua, un enfoque sensible al género permite sistemas de tarifas mejor diseñados, asequibles y económicamente más sostenibles (Taylor *et al*, 2008).

2.3.9 El agua es un bien social con un valor económico (Taylor *et al.*, 2008).

- Su valor económico resulta de ser un bien escaso por el cual compiten distintos usos.
- Que sea un bien económico no implica que deba transarse como un bien de mercado.
- Los principios de eficiencia y eficacia se desprenden de su valoración económica.
- Tratar al agua como un bien económico posibilita adoptar decisiones lógicas en la asignación de un recurso escaso entre sectores diferentes y competitivos¹⁰.
- El valor económico de los usos alternativos del agua provee una guía para priorizar inversiones y asignar y distribuir activos con mayor eficiencia¹¹.
- Pero, simultáneamente, el agua es un bien social y el acceso al agua para consumo humano y saneamiento es un derecho humano.
- La asignación del agua debe considerarse como un medio para alcanzar metas sociales de equidad, paliación de la pobreza y cuidado de la salud.
- La seguridad hídrica y la protección del medioambiente son parte de la consideración del agua como un bien social.

2.4. Desafíos de la seguridad hídrica¹²

La aproximación tradicional a la seguridad hídrica suele acotarse a ciertos aspectos de la gestión del agua, como disponibilidad, contaminación y seguridad alimentaria (Cook y Bakker, 2012). Ese enfoque posibilitó importantes avances desde la ingeniería hidráulica, traducándose en infraestructura para el riego, la provisión de agua potable y otros fines; aunque a veces se hizo a expensas del medio ambiente, de soluciones innovadoras o de un abordaje eficiente de la variabilidad del sistema hidrológico o sin recoger adecuadamente la diversidad social, cultural y política (Zeitoun *et al.*, 2016).

ONU Agua define la seguridad hídrica como “la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para mantener los medios de subsistencia, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico; para garantizar la protección contra la contaminación hídrica y los desastres relacionados con el agua, y para preservar los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política” (UN Water, 2013).

Esta definición equilibra las metas relacionadas con el bienestar humano con aquellas relacionadas con la conservación de los ecosistemas, incorporando los elementos de sostenibilidad y de gestión de riesgos asociados a eventos extremos. En consecuencia, un componente central es la capacidad humana para “salvaguardar” o transformar una realidad incierta.

Esta capacidad de una población para gobernar el agua constituye el factor de cambio para transformar la inseguridad hídrica en seguridad hídrica. El segundo componente de la definición es de carácter teleológico, es decir, explicita el para qué de esta gobernanza, lo que se traduce en hacer las cosas bien, anticipando o previendo; estudiando, conociendo, invirtiendo y realizando obras; reaccionando, adaptando y preservando un conjunto de elementos con el propósito de asegurar determinados fines.

¹⁰ En regiones con abundancia de recursos hídricos es más difícil que el agua sea entendida como un bien económico ya que la necesidad de racionalizar su uso no es tan urgente.

¹¹ Los instrumentos económicos para la GIRH son reglas de racionalización o incentivos que influyen la asignación y distribución del agua o a los activos e ingresos relacionados con el agua. Los precios, las tarifas, los derechos y las políticas y regulaciones relacionadas con el agua se encuentran dentro de los instrumentos económicos más importantes, los que deben ser evaluados en términos de impactos sobre la eficiencia, la equidad y los resultados medioambientales para la sociedad.

¹² Se ha utilizado como contrapunto para este acápite a UNESCO-CODIA 2019, Op. Cit.

Los tres ejes principales para alcanzar la seguridad hídrica son:

- salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua, de calidad aceptable, para mantener el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico;
- protección contra la contaminación hídrica y contra los desastres relacionados con el agua;
- preservar los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política.

Para reducir la brecha en seguridad hídrica, corresponde hacerse cargo de problemas como:

- Falta o escasez de agua.
- Desastres relacionados con el agua, como inundaciones o sequías.
- Contaminación del agua.
- Deterioro ambiental de las cuencas.
- Conflictos que se originan por el agua.

La gestión integrada del recurso hídrico es una poderosa herramienta para reducir el riesgo hídrico a un nivel que la población lo considere tolerable, estableciendo políticas públicas, herramientas de planificación, inversión en infraestructura hídrica e inversiones en soluciones basadas en la naturaleza y en sistemas de monitoreo hidrológico. Ello, con respaldo institucional y financiero para realizarlo de un modo sustentable¹³.

La Agenda 2030 mandata que instituciones y organizaciones trabajen con la gente, cooperando en la creación de capacidad en programas relativos a la desalinización, el uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización (ODS 6, meta 6.a), fortaleciendo la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento (ODS 6, meta 6b) y en la implementación de políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres (ODS 11, meta 11.b).

En América Latina y el Caribe la disponibilidad media de agua superficial por habitante para un año, se calcula en poco más de 22.000 m³, cuadruplicando la media mundial¹⁴. En Chile, la escorrentía per cápita en un año corresponde a unos 51.218 m³/persona/año, duplicando la media continental, pero el país contiene cuatro macrozonas hídricas muy diferenciadas¹⁵. De este modo, mientras la región de Aysén cuenta con una escorrentía per cápita de 2.950.168 m³/hab./año; en la región de Antofagasta corresponde a 47 m³/hab./año. Además, el 63,4% de la población chilena se emplaza en zonas crónicas de baja disponibilidad hídrica, desde la Región Metropolitana hasta la frontera norte con Perú¹⁶, las que participan en el PIB nacional con un aporte de un 68,8% (ODEPA, 2018).

Se suele asociar con la inseguridad hídrica a las inundaciones y aluviones (representan el 47% de todos los desastres relacionados con el clima desde 1995), cuyo riesgo puede aumentar tras un período de sequía, cuando estas lluvias caen sobre terrenos muy secos y endurecidos que el agua no puede infiltrar, afectando el escurrimiento superficial y el tipo de respuesta de una cuenca frente a los eventos meteorológicos. Lo anterior tiende a agravarse por las diferencias orográficas y el grado de la pendiente del suelo, favoreciendo escurrimientos torrenciales desde laderas montañosas con suelos secos y erosionados, como en el norte de Chile¹⁷.

¹³ Como no es posible eliminar totalmente los riesgos hídricos, incluso en los países más desarrollados, se define un límite de lo que se considera tolerable. Riesgos de la naturaleza que tienden a multiplicarse con extracciones ilegales de agua e intervenciones inadecuadas en los cauces.

¹⁴ El indicador nacional de escasez de agua más conocido es el del agua renovable per cápita al año, donde se utilizan los valores máximos para distinguir entre diferentes niveles de estrés hídrico (Falkenmark y Widstrand, 1992), determinándose que un área está bajo estrés hídrico regular cuando los suministros hídricos renovables caen por debajo de 1.700 m³ per cápita al año; sufren de escasez de agua crónica cuando el suministro de agua cae por debajo de 1.000 m³ per cápita al año, y habría escasez absoluta cuando el indicador cae por debajo de 500 m³ per cápita al año.

¹⁵ Las macrozonas Norte, Centro, Sur y Austral. Atlas del Agua-Chile 2016. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Santiago, diciembre de 2015.

¹⁶ Suma de la población de regiones XV, I, II, III, IV, V y Metropolitana. Fuente: INE, Censo 2017.

¹⁷ En marzo de 2015 hubo fuertes lluvias en el norte de Chile, entre Coquimbo y Calama, que resultaron en inundaciones y aluviones de lodo, especialmente en Copiapó, con más de 50 víctimas fatales, daños en 8.000 viviendas y con 35.000 damnificados (ONEMI, 2015).

2.5. Sequía y escasez hídrica

Cuando se parte desde la perspectiva de los promedios de precipitaciones o escorrentías, la aproximación a la seguridad hídrica tiende a omitir el desafío de lidiar con la falta de agua en determinadas zonas. Según el estudio Radiografía del Agua de la Fundación Chile, se estimó que el 76% de la superficie chilena estaría afectada por sequía, desertificación y suelo degradado¹⁸. Una gran proporción de la población que habita estos territorios vive en condiciones de pobreza, fundamentalmente debido a la escasez de recursos hídricos y a la falta de conocimientos adecuados en la gestión y conservación del agua, pero la conciencia de abordar el déficit hídrico se ha hecho cada vez más evidente.

Los patrones de cambio en curso, tales como ascenso de las temperaturas en los últimos 50 años, cambios en el número, intensidad y frecuencia de las precipitaciones o el aumento de la línea de la isoterma, requerirán una reevaluación de los supuestos sobre los caudales fluviales, las tasas de recarga de los acuíferos, los niveles de extracción sostenibles, el caudal ecológico y los rendimientos de las fuentes de aguas. Es necesario prepararse ante las sequías, diseñar estrategias de conservación del agua y adoptar políticas nacionales frente a la escasez hídrica y sus derivados, resultando conveniente trabajar con:

- Embalses de aguas superficiales, flujos fluviales y acuíferos, a fin de prevenir déficits de suministro para los servicios de agua.
- Evitar la salinización de algunos acuíferos (especialmente en el norte del país y cercanos al litoral costero) ya agravados por la sobreexplotación.
- Reducir la dilución de contaminantes y desechos que causan problemas de calidad del agua para los proveedores de servicios.
- Reducir al mínimo la dependencia de camiones aljibe o cisterna para el transporte de agua potable y el costo del suministro de agua a los consumidores.

Se recomienda poner atención a la experiencia de México y su Programa Nacional contra la Sequía (PRONACOSE) que da cuenta de un Monitoreo constante de la Sequía. El Monitor de Sequía de México se actualiza quincenalmente sobre la base de obtención e interpretación de diversos índices o indicadores de sequía, para determinar las regiones afectadas por este fenómeno y su escala de intensidad (CONAGUA, 2018)¹⁹. Para reducir esta brecha se sugiere partir desde la experiencia de “El Observatorio Agroclimático de Chile: Herramienta para la Gestión Integral de la Sequía”²⁰.

Resulta clave desarrollar capacidades para reducir la exposición y vulnerabilidad frente a las amenazas de origen hídrico. En principio, la incidencia de eventos naturales que podrían causar desastres es un factor que está fuera del control humano, pero la vulnerabilidad y exposición de una población podrían ser controladas o reducidas con actuaciones y políticas públicas preventivas; razón por la cual es importante conocer las vulnerabilidades de los componentes de un sistema para minimizarlos y construir infraestructura reguladora, defensiva o mitigadora. Complementariamente, la actuación pronta y severa de las autoridades para evitar que la población se instale en zonas peligrosas, como quebradas o terrenos con fácil saturación freática, sumado a la implementación de sistemas de alerta temprana, puede reducir la magnitud de un desastre.

¹⁸ Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile. Escenario Hídricos 2030. Santiago, 2018.

¹⁹ La escala define cinco estadios: Anormalmente seco (D0), que no alcanza a ser catalogado como sequía; Sequía moderada (D1), Sequía severa (D2), Sequía Extrema (D3) y Sequía excepcional (D4).

²⁰ Este observatorio, que depende del Sub Departamento de Información, Monitoreo y Prevención IMP, del Ministerio de Agricultura se constituyó como una herramienta de información agroclimática.

Una herramienta interesante para la reducción del riesgo de desastres hídricos la desarrolló la Asian Water Development Outlook (AWDO) que tiene como objetivo el logro y mantenimiento de la seguridad hídrica, creando un sistema de valoración de la seguridad hídrica a nivel nacional que ha sido aplicado en 49 países de la región del Asia Pacífico. Este sistema utiliza un índice de seguridad hídrica que integra información de cinco dimensiones, las que a su vez son valoradas por un índice que integra información de diferentes indicadores. Las cinco dimensiones son:

1. Seguridad hídrica a nivel de hogar.
2. Seguridad hídrica económica.
3. Seguridad hídrica urbana.
4. Seguridad hídrica ambiental.
5. Vulnerabilidad y resiliencia frente a eventos extremos.

Los índices de seguridad hídrica son calculados con información pública y de carácter científico, sin embargo, cuando se carece de información los datos se han estimado mediante un criterio experto (AWDO, 2013). Con el índice antes mencionado se ha calculado la seguridad hídrica de los 49 países de esa región en dos ocasiones (2007 y 2013)²¹.

La resiliencia se define como “las capacidades de un sistema, persona, comunidad o país expuestos a una amenaza de origen natural, para anticiparse, resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, para lograr la preservación, restauración y mejoramiento de sus estructuras, funciones básicas e identidad”, siendo obvio que aumentar la resiliencia de un país frente a desastres de origen natural requiere de inversión económica (CNID, 2016).

Cada país debe identificar las amenazas o fenómenos naturales que pueden traducirse en situaciones críticas, como parte de una Estrategia y una Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, tal como recomienda el Marco de Sendai para la Reducción de Riesgos de Desastres. Desde esas amenazas, se recomienda trabajar las vulnerabilidades, incluyendo aquellas de carácter institucional o regulatorias que pueden explicar la ausencia o una presencia débil en el fomento del conocimiento en desastres, en la generación y socialización de datos fiables, en la capacitación especializada de capital humano, en el desarrollo de infraestructura y financiamiento para la innovación y en la socialización y entrenamiento de la población para enfrentar esas potenciales amenazas derivadas de excesos de aguas, de la carencia de estas u otras.

2.6. Un marco regulatorio e institucional para el agua

Jaspers (2003) define a la gobernanza del agua como “la capacidad social para movilizar los recursos hídricos de una forma coherente para lograr un desarrollo sostenible”. Esto incluye la capacidad de diseñar políticas públicas consensuadas y orientadas hacia un desarrollo sostenible, junto con la capacidad de realizar lo concordado con una institucionalidad apropiada y un sistema de gestión que permita, dentro de un marco sostenible, la implementación y el seguimiento de dichas políticas.

El papel de las instituciones es reflejar, representar y propiciar la generación y adaptación de los consensos en reglas del juego claras y ciertas. Cuando estas instituciones funcionan para un grupo acotado de usuarios o tienden a resistir la entrada de otros actores y/o la intervención de la administración pública, dejan de ser útiles, total o parcialmente, haciéndose necesario adecuarlas o reemplazarlas.

²¹ El observatorio asiático de desarrollo del agua (AWDO) es un proyecto patrocinado por el Banco de Desarrollo de Asia para incrementar la importancia del agua en distintos escenarios de desarrollo para Asia y la región del Pacífico. Un indicador de seguridad hídrica es una variable cuantitativa o cualitativa que provee información válida y confiable acerca del estado de la seguridad hídrica en un momento determinado, permitiendo valorar los cambios en la condición de las distintas dimensiones de seguridad hídrica, producto de la aplicación de medidas, planes o estrategias. Y se entiende por índice a una variable cuantitativa o cualitativa de carácter multivariado que integra información de dos o más indicadores. Es así como el método permite que cada dimensión de seguridad hídrica pueda ser cuantificada mediante el uso de uno o más indicadores, los cuales al integrarse en un índice generan un valor representativo de cada dimensión a nivel de cuenca.

En principio, el marco regulatorio del agua debiese converger en la sostenibilidad, ya que ese es el propósito de la gestión de los recursos hídricos, en consecuencia, tanto el marco regulatorio del agua como su marco institucional debiesen permitir:

- Entender y conocer el ciclo hidrológico en su conjunto, desde una perspectiva de cuencas.
- Implementar un enfoque intersectorial e integrado.
- Equilibrar distintas necesidades, usos y demandas.
- Abordar la inequidad social, cultural, económica y de género.
- Contar con la participación de múltiples servicios e instituciones públicas de todos los órdenes de gobierno (comunal, provincial, regional, estatal o nacional) capaces de interactuar con personas, empresas y organizaciones.
- Garantizar el cumplimiento de los derechos humanos de acceso al agua potable y saneamiento, la sustentabilidad ambiental y el desarrollo productivo.
- La eficiencia en la asignación y aprovechamiento del recurso, contando para ello con incentivos, fiscalización y control social.
- Prevenir, reducir o eliminar los riesgos relacionados con la contaminación del agua, la sequía y otros desastres naturales.
- Negociar las diferencias y facilitar su propia modificación o adaptación.

La GSA requiere de soluciones integradas de gestión que aseguren el aprovechamiento del recurso por las generaciones venideras²² y que desarrollen planes de implementación progresiva en donde se incluyan los objetivos y actividades a cumplirse en el corto, mediano y largo plazo; junto con los indicadores para medir y evaluar los avances y las herramientas de respaldo financiero.

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua de 1977, los países trazaron el Plan de Acción de Mar del Plata y concordaron: priorizar la gestión del agua para la mejora del riego; prevenir la degradación de la tierra y el agua; desarrollar una infraestructura hidroeléctrica multipropósito; controlar la contaminación; prevenir inundaciones y sequías; y proteger los ecosistemas. Y como instrumentos de acción frente a esos desafíos se pactó, hace cuatro décadas, contar con una participación efectiva en la planificación en la toma de decisiones y en las políticas nacionales; un marco legal e institucional que posibilite la coordinación y la GIRH; y recursos presupuestarios para respaldar esas políticas.

La gestión integrada de recursos hídricos es, además de una meta del ODS 6, el mejor instrumento para alcanzar todas las otras metas de ese objetivo. Por ello conlleva una tensión permanente entre medio y fin, cuya “eficacia” se mide según si efectivamente conduce a un cambio favorable en la gestión del agua en contextos sociales y políticos complejos. Esta dinámica no se fortalece si se entrega solo al mercado o si implica una atribución exclusiva y excluyente de la administración pública. Requiere de la integración de todos los actores y visiones con:

- un sólido entorno propicio: políticas, leyes y planes que ponen en marcha las “reglas del juego” para la gestión integrada del agua,
- un marco institucional claro, robusto y comprensivo para la gestión del agua utilizando la cuenca como unidad básica de gestión y descentralización de la toma de decisiones
- un uso efectivo de instrumentos técnicos y de gestión disponibles: evaluaciones, datos e instrumentos para la asignación de agua y el control de la contaminación, para ayudar a los tomadores de decisión a mejorar sus decisiones,
- inversiones en infraestructura de agua con financiamiento adecuado para lograr avances en disponibilidad, manejo de inundaciones, resistencia a la sequía, irrigación, seguridad energética y mantención de los servicios de los ecosistemas.

²¹ La provisión de los servicios de agua potable, saneamiento e higiene en el presente no debe comprometer los derechos de las generaciones futuras ni la sostenibilidad ambiental, evitando la contaminación del agua y las extracciones excesivas.

En general, los países de América Latina no son propensos a revisar con periodicidad su legislación de aguas y, en consecuencia, a adaptarse o anticiparse a los cambios que van derivando del Cambio Climático, los avances tecnológicos o del crecimiento demográfico y económico. El paso desde la resistencia al cambio, por usuarios y actores de aguas a una adecuación normativa e institucional, implica aceptar que sin adaptación a estos fenómenos se produce una exposición a daños y conflictos difícilmente reversibles. Esta transición puede graficarse en cuatro etapas²³:

- a) “negación” del componente integral del problema, como la falta de disponibilidad o la afectación a la calidad de las aguas;
- b) “apropiación o acumulación” (legal o ilegal) de aguas, como respuesta a la amenaza;
- c) “asimilación” de que la inacción puede ampliar la amenaza y vulnerabilidad; y
- d) “aceptación” a que, si no se trabaja mano a mano con otros actores, será imposible abordar de manera seria estos desafíos.

Naturalmente, en estos procesos suelen coexistir visiones contrapuestas en el mismo espacio y tiempo, con una importante resistencia anclada desde la “negación” o la “apropiación” o siguiendo la racionalidad descrita por Hardin en el dilema conocido como “La tragedia de los comunes”, es decir, aquella situación donde las acciones racionales de la suma de los individuos puede volverse en su contra, terminando por destruir un recurso natural finito, compartido y limitado, aunque a ninguno de ellos, como personas o colectividad, les convenga dicha destrucción (Hardin, 1968).

En Chile, el debate regulatorio vinculado con el agua ha estado centrado en múltiples propuestas de reforma constitucional, en los proyectos de ley de reforma al Código de Aguas, en el debate sobre una ley especial de glaciares y a nivel pre legislativo, en la necesidad de contar con una nueva institucionalidad hídrica.

2.7. Institucionalidad hídrica

En la estructura gubernamental de Chile no hay ningún ministerio o servicio que tenga las atribuciones legales para coordinar a los múltiples organismos públicos relacionados con la gestión hídrica; sancionar una política nacional del agua de carácter vinculante; planificar la gestión público-privada de este escaso recurso; introducir los enfoques de riesgo, eficacia, eficiencia y sustentabilidad del agua a los distintos actores que gestionan las aguas; orientar la investigación y la adaptación de tecnologías apropiadas; evitar duplicidades o puntos ciegos en iniciativas con respaldo financiero o liderar procesos de adaptación hídrica frente a los desafíos del cambio climático. Hasta la fecha no se cuenta con un plan de largo plazo que integre a todos los sectores y entregue las directrices para una gestión eficiente del recurso hídrico, ya que cada sector intenta resolver su problema hídrico por separado, conduciendo a propuestas de solución que inevitablemente refuerzan la fragmentación y heterogeneidad institucional.

En Chile, al menos 12 autoridades participan en la formulación de políticas del agua en el nivel de gobierno central, solo superado por Perú (13) y muy por encima de Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Brasil, que le siguen con siete autoridades involucradas. Y si se tiene a la vista cuántas autoridades participan en la regulación del agua a nivel central, Chile y Perú empatan con 10 organismos, seguidos por nueve autoridades en República Dominicana y siete en Panamá y Honduras (OCDE, 2011). Hay al menos siete ministerios relacionados con la Gestión del Recurso Hídrico en Chile (UNESCO y CODIA, 2019):

- A. Ministerio de Obras Públicas (MOP), a cargo de estudiar, planificar, proyectar, construir, conservar y explotar la infraestructura pública, que contiene cuatro servicios directamente relacionados con la gestión del agua:
 - Dirección General de Aguas (DGA), encargada de promover la gestión y administración del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente; mantener, operar y difundir los datos del servicio hidrométrico nacional, tanto en materia de cantidad como de calidad de aguas; coordinar las investigaciones sobre aguas que cuenten con recursos públicos; ejercer la policía y vigilancia de cauces y acuíferos; y supervigilar el funcionamiento de las organizaciones de usuarios, con el objetivo de contribuir a la competitividad del país y mejorar la calidad de vida de las personas.

²³ Axel Dourojeanni, 2016.

- Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), encargada de proveer de servicios de infraestructura hidráulica que permitan el óptimo aprovechamiento del agua y la protección del territorio y de las personas. De esta Dirección dependen la Subdirección de Agua Potable Rural, la División de Cauces y Drenaje Urbano, la División de Riego y la Subdirección de Gestión y Desarrollo.
 - Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), encargada de la fijación de las tarifas de los servicios de agua potable, alcantarillado y aguas servidas que prestan las empresas sanitarias, el otorgamiento de concesiones de servicios sanitarios, la fiscalización de las empresas sanitarias y la fiscalización de los establecimientos industriales generadores de residuos industriales líquidos.
 - Instituto Nacional de Hidráulica (INH) a cargo de la modelación de obras hidráulicas, marítimas y sanitarias y de centralizar datos de funcionamiento de obras útiles para futuros proyectos hidráulicos, además de realizar investigación científica y tecnológica en el campo de escurrimiento de fluidos.
- B. Ministerio de Energía, encargado de elaborar y coordinar los planes, políticas y normas para el buen funcionamiento y desarrollo del sector energético, incluyendo materias de generación hidroeléctrica, muy utilizada en el país.
- C. Ministerio de Agricultura, encargado de fomentar y coordinar la actividad silvoagropecuaria, junto con la conservación, protección y acrecentamiento de los recursos naturales renovables. Entre los servicios dependientes de este ministerio destacan:
- Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), a cargo de apoyar el desarrollo de la agricultura, bosques y ganadería, a través de la protección y mejoramiento de la salud de los animales y vegetales. Realiza acciones para conservar y mejorar los recursos naturales renovables, que afectan la producción agrícola, ganadera y forestal, preocupándose de controlar la contaminación de las aguas de riego.
 - Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), que tiene por objetivo fomentar y apoyar el desarrollo productivo y sustentable de la pequeña agricultura, promoviendo el desarrollo tecnológico para mejorar su capacidad comercial, empresarial y organizacional, ofreciendo bonos para subsanar problemas frecuentes de origen hídrico.
 - Comisión Nacional de Riego (CNR) que trabaja para asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país, además de la administración de la ley N° 18.450 que fomenta las obras privadas de construcción y reparación de obras de riego y drenaje.
 - Corporación Nacional Forestal (CONAF), encargada de contribuir a la conservación, incremento manejo y aprovechamiento de los recursos forestales del país y de la conservación y gestión de parques y reservas nacionales.
 - Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), depositario de la mayor base de datos georreferenciada de suelos, recursos hídricos, clima, información frutícola y forestal existente.
- D. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), vela por los Planes de Ordenamiento Territorial y los planes de inundaciones urbanas y otras materias relativas a la gestión de aguas lluvias en ciudades para redes secundarias, ya que las redes primarias están a cargo de la DOH.
- E. Ministerio de Defensa. De la Fuerza Aérea depende la Dirección General de Aeronáutica Civil, de la que a su vez depende la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), organismo responsable de la información y previsión meteorológica. Por otra parte, la Subsecretaría para las Fuerzas Armadas autoriza las “concesiones marítimas”, permiso que se requiere para instalar una planta desalinizadora, entre otras solicitudes.
- F. Ministerio de Salud, que, entre otras funciones, vela por el respeto a las normas de calidad primaria de las aguas, relacionadas con los niveles aceptados para su consumo por la población. A su vez, el Instituto de Salud Pública (ISP) es una institución científico-técnica que fiscaliza tomas de aguas para uso sanitario, particularmente en el ámbito rural.
- G. Ministerio de Medio Ambiente, encargado del diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia ambiental, así como en la protección y conservación de la diversidad biológica y de los recursos naturales

renovables e hídricos, promoviendo el desarrollo sustentable, la integridad de la política ambiental y su regulación normativa. Depende de este ministerio el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), instancia por la cual se evalúan los proyectos o actividades, públicas y privadas, susceptibles de causar impacto ambiental en cualquiera de sus fases, a que se refiere el artículo 10 de la Ley sobre bases generales del medio ambiente. La Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) fiscaliza el adecuado cumplimiento de las resoluciones de calificación ambiental de las distintas iniciativas sometidas al SEA.

Un octavo ministerio relacionado con la gestión del agua es el Ministerio del Interior, del cual depende la provisión de transferencias presupuestarias para la contratación de camiones aljibes como herramienta frente a la escasez hídrica.

El desafío de superar la fragmentación institucional ha sido abordado en diferentes momentos por diferentes gobiernos, pero sin que se instale como prioridad legislativa, tendiendo a diluirse en la lógica de establecer “coordinaciones necesarias” entre aquellas reparticiones vinculadas con la regulación y gestión del agua. En las dos administraciones que presidió Michelle Bachelet se implementó para la coordinación de sus políticas y acciones en materia de aguas, un Comité de Ministros del Agua presidido por el ministro de Obras Públicas. En el primer gobierno se trató de un comité interministerial, donde la coordinación la llevaban funcionarios delegados, con reuniones semestrales de ministros y ministras. En la segunda administración, a estas reuniones solo podían asistir ministros, acompañados por un profesional de apoyo y la Secretaría Ejecutiva²⁴, sesionando mensualmente, dirimiendo propuestas regulatorias y problemas de gestión que se arrastraban de objetivos muchas veces contradictorios. Estas instancias, si bien agregan valor, son insuficientes para abordar problemas de larga data y desafíos que requieren de una política pública en aguas²⁵.

Fue por esa razón que dicho comité elaboró y concordó una propuesta de Subsecretaría del Agua (un ante proyecto de ley y un borrador de informe financiero) que se remitió a SEGPRES y Hacienda para su evaluación, la que finalmente no prosperó en esas instancias. Sin embargo, con el tiempo se ha hecho evidente la necesidad de crear una nueva institucionalidad del agua que otorgue al sector hídrico una mayor jerarquía y capacidad político-institucional, relevando su decisión en los más altos niveles de decisión gubernamental. Con anterioridad se había discutido conceptualmente esta problemática, proponiéndose para ello distintas alternativas, las que se podrían resumir en la creación de:

- Un Ministerio del Agua
- Una Subsecretaría del Agua
- Una Agencia Nacional del Agua

El Banco Mundial en su informe del año 2014 denominado “Plan para el mejoramiento institucional del agua en Chile: propuesta de creación de una Subsecretaría de Recursos Hídricos”, reafirma la necesidad de la creación de una Subsecretaría de Aguas al interior del Ministerio de Obras Públicas, dadas las evidentes ventajas desde la perspectiva de su posición al interior del Gobierno, las competencias técnicas existentes y su implementación práctica. La implementación de esta medida institucional fue compartida por el Senado, el cual solicitó en octubre de 2014 a la presidencia de la república, mediante un proyecto de acuerdo unánime, la creación de una Subsecretaría de Recursos Hídricos, como un órgano dependiente del Ministerio de Obras Públicas²⁶.

²⁴ Presidía el ministro de Obras Públicas, subrogaba el Ministro de Agricultura y participaban los ministros de Energía, Minería, Medio Ambiente y el Delegado Presidencial de Recursos Hídricos, dependiente del Ministerio de Interior; siendo su Secretario Ejecutivo el Director General de Aguas.

²⁵ Recientemente (30 de enero de 2019), el Gobierno envió una indicación al proyecto de ley de reforma al Código de Aguas para constituir por ley un Comité de Ministros del Agua. Pocos meses después se conformó un Comité de Ministros para hacer frente al fenómeno de la sequía, en el cual no participan los ministerios de minería, energía o medio ambiente y, en su reemplazo, sí lo hace Interior.

²⁶ El acuerdo señala: “Una Subsecretaría de Recursos Hídricos cumple con los requerimientos necesarios, tanto para asegurar el incremento en la estatura institucional de las funciones que actualmente desempeña la DGA y otros organismos del Estado, posibilitando la presencia y la consideración de los intereses hídricos, con una visión integrada en los más altos niveles de decisión gubernamental, como también, para dar a los requerimientos presupuestarios asociados a tales funciones las instancias de proposición y de aprobación adecuadas para garantizar que se cuente con los medios económicos suficientes”.

Se desechó la fórmula de crear una Agencia Nacional del Agua (ANA), como lo existente en Brasil y Perú, como un organismo de aguas independiente del gobierno de turno, con una dependencia administrativa similar a las de las superintendencias. Esto, porque implicaba abrir un debate jurídico, político y experiencial sobre qué significaba una “Agencia”; segundo, porque no quedaban resueltos los mecanismos de coordinación político y financieros con las demás reparticiones públicas; y tercero, porque implicaba una inversión desde cero (edificios, plantas de funcionarios, equipamiento, etc.).

Crear un nuevo ministerio de aguas implicaba crear otro organismo de aguas en un mapa de alta fragmentación institucional, salvo que significase absorber servicios o funciones ya existentes, caso en el cual, se proyectó que podría tener alta resistencia política desde los ministerios o servicios que podrían ser centrifugados en la propuesta. Por ello la creación de una Subsecretaría del Agua se entendió como un primer paso que, de evaluarse positivamente, luego de dos o tres décadas, permitiría avanzar hacia la creación de un ministerio del agua. De aceptarse la idea de crear una Subsecretaría del Agua, corresponde definir dónde debiese instalarse, ya sea dentro del Ministerio de Obras Públicas, de Agricultura, de Medio Ambiente, del Ministerio de Interior o incluso dentro del Ministerio de Bienes Nacionales, toda vez que el agua es un bien nacional de uso público, aunque, por cierto, no es un bien fiscal.

Esta propuesta implicaría reducir brechas en materia de gobernanza del agua, particularmente aquellas relacionadas con la brecha de información, la brecha de políticas²⁷, la brecha de capacidades, la brecha de financiamiento, la brecha de objetivos²⁸, la brecha de rendición de cuentas o de acceso a la información y la brecha administrativa. Además, permitiría responder a:

- La elevada fragmentación y complejidad de la arquitectura institucional del sector Agua.
- La carencia de una institucionalidad coordinadora.
- Necesidades no cubiertas por la institucionalidad actual²⁹.
- Impedimentos para gestar una Política Nacional Hídrica vinculante.
- La necesidad de promover una Gestión Integrada del Recurso Hídrico por cuencas.
- La dificultad en la generación y difusión de investigación, estudios e información.
- La necesidad de una adecuada gestión de calidad y cantidad del recurso hídrico.
- La falta de financiamiento que se suma a las dificultades legales e institucionales para implementar mecanismos propios de recaudación, adicionales a las asignaciones presupuestarias, que contribuyan a una mayor autonomía y efectividad.

La institucionalidad que se defina debería, conforme a sus nuevas atribuciones:

- Posibilitar una visión integrada del agua (regulación, saneamiento, abastecimiento de agua potable, riego, defensas fluviales) en los más altos niveles de decisión gubernamental.
- Implementar una Política Nacional de Recursos Hídricos vinculante, integral y de largo plazo³⁰.
- Incrementar la eficiencia y coordinación entre organismos públicos para abordar los desafíos del agua; priorizar la formulación de proyectos y sus presupuestos; respaldar su desarrollo e implementación; y brindar seguimiento y monitoreo al comportamiento del ciclo hidrológico y al desarrollo de iniciativas en cuencas y acuíferos.
- Rendir cuentas e involucrar a los usuarios y la sociedad en el conjunto de las actuaciones del Estado en el área.

²⁷ La brecha de políticas resulta de la fragmentación institucional que conlleva aproximaciones segmentadas, desintegradas e incongruentes.

²⁸ La brecha de objetivos resulta de la coexistencia de objetivos divergentes o contradictorios entre las reparticiones públicas, que ponen en riesgo las metas de largo plazo de una política integral del agua.

²⁹ Tales como la supervisión de seguridad de infraestructura hidráulica pública o privada, abandonada o en funciones; un sistema integrado de información, coordinación presupuestaria, etc.

³⁰ Incluyendo la elaboración o actualización de un catastro de infraestructura hídrica, diferenciando aquellas abandonadas de las administradas por el Estado o particulares y estableciendo un plan de acción y responsables, según categorías, junto con la definición de protocolos ante imprevistos, en función de su emplazamiento, los ecosistemas y la proximidad de poblaciones.

El Banco Mundial en su informe del año 2014 denominado “Plan para el mejoramiento institucional del agua en Chile: propuesta de creación de una Subsecretaría de Recursos Hídricos” reafirma la necesidad de la creación de una Subsecretaría de Aguas al interior del MOP, dadas las evidentes ventajas desde la perspectiva de su posición al interior del Gobierno, las competencias técnicas existentes y la facilidad de su implementación. Esto, porque en su organigrama se encuentran la Dirección General de Aguas, la Dirección de Obras Hidráulicas (la Subdirección Nacional de Servicios Sanitarios Rurales), el Instituto Nacional de Hidráulica y, con una dependencia funcional, la Superintendencia de Servicios Sanitarios. De este modo, el Consejo de Ministros del Aguas respaldó la idea de cambiar el nombre a ese Ministerio por el de Ministerio de Obras Públicas y Aguas y agregarle a las actuales funciones del Ministro de Obras Públicas en el artículo 5 del DFL N° 850, literales a) y c), nuevas funciones referentes a la gestión de los recursos hídricos, junto con modificar la actual estructura y funciones de la Subsecretaría de Obras Públicas, en el artículo 6 del DFL 850 y en el DL 1028 de 1975.

2.8. Modificaciones al marco regulatorio de aguas

Es perentorio mutar desde un lenguaje legislativo retórico o declarativo en materia hídrica, a uno con fuerza de ley, vinculante y con respaldo presupuestario. Reducir y acotar las brechas en esta materia requiere de un consenso político y de un respaldo presupuestario que sobreviva a las distintas administraciones, junto con los espacios de encuentro, convergencia o incentivos, entre las instancias políticas y administrativas y la iniciativa privada.

El país comparte con sus vecinos la necesidad de hacerse cargo de problemas de escasez de recursos hídricos, producto de la disminución de las precipitaciones y del aumento de la demanda sobre el recurso. Debe también lidiar con garantizar el derecho humano de acceso al agua potable, las afectaciones a la calidad del agua, prestaciones de servicios de agua potable y saneamiento no siempre adecuadas, eventos meteorológicos extremos, la ampliación y el mejoramiento de los sistemas de drenaje urbano, así como eliminar las extracciones ilegales y la sobre explotación del recurso, al igual que la especulación en los aprovechamientos de aguas. En consecuencia, al igual que muchos otros países de América Latina y el Caribe, Chile debe hacer un giro en materia de gestión hídrica, incluyendo profundas adecuaciones y/o actualizaciones a su marco regulatorio.

Por ende, se debe abordar las contradicciones y trabajar en función de un nuevo paradigma. Dentro de esas contradicciones, se ha planteado resolver la tensión natural existente entre el hecho de que el agua es un recurso natural y un bien nacional de uso público (Art. 595 del Código Civil y Art. 5 del C. Aguas); y el hecho de que más de 100.000 personas tienen derechos de aprovechamiento de aguas concedidos de manera exclusiva y excluyente y que legítimamente desean mantenerlos o transmitirlos a sus herederos. Este y otros dilemas se buscan abordar con las propuestas de reformas al Código de Aguas, una de las cuales, fue recientemente sancionada y promulgada como ley³¹.

El marco regulatorio vigente se remonta a los inicios de la década de 1980, cuando, durante la dictadura militar, se promulgó una nueva Constitución Política de Estado (1980) y un nuevo Código de Aguas (1981). Si bien la Constitución no regula las aguas, se refiere tangencialmente a ellas en el artículo 19 (“La Constitución asegura a todas las personas”), numerales 23 y 24. En el número 24, así como en el Art. 19 N° 24 se asegura a todas las personas “el derecho de propiedad en sus diversas especies sobre toda clase de bienes corporales e incorporeales”, agregándose en el inciso 11 y final: “Los derechos de los particulares sobre las aguas, reconocidos o constituidos en conformidad a la ley, otorgarán a sus titulares la propiedad sobre ellos”.

Complementariamente, el artículo 6 del Código de Aguas de 1981 estableció que “El derecho de aprovechamiento es un derecho real que recae sobre las aguas y consiste en el uso y goce de ellas [...]”, agregando que el “derecho de aprovechamiento sobre las aguas es de dominio de su titular, quien podrá usar, gozar y disponer de él en conformidad a la ley”. El mismo artículo 19 establece en su numeral 23, que la Constitución asegura a todas las personas “la libertad para adquirir el dominio de toda clase de bienes, excepto aquellos que la naturaleza ha hecho comunes a todos los hombres o que deban pertenecer a la Nación toda y la ley lo declare así [...]”. Esta disposición

³¹ Ley 21.064 de febrero de 2018.

conversa con los artículos 595 y 589 del Código Civil que, respectivamente, señalan que todas las aguas son bienes nacionales de uso público y que el dominio de estos bienes pertenece a la nación toda.

Es decir, el agua en su fuente natural es un bien nacional de uso público y, por tanto, no es apropiable, pero el derecho de usar y gozarlas (derecho de aprovechamiento) se define como un derecho real (derecho sobre una cosa), respecto del cual, en consecuencia, existe la facultad de disponer o enajenar. Es obvio que el debate regulatorio en el seno de la Junta Militar de Gobierno, respecto al Código de Aguas de 1981, no recogió elementos que hoy inquietan a la sociedad, tales como la escasez hídrica, la preservación ecosistémica, la necesaria prioridad para el consumo humano y saneamiento, la fiscalización de las extracciones y de la calidad de las aguas, la transparencia de la información o la necesaria adaptación al cambio climático. Además, el contexto político de aquella época tampoco permitía la libre discusión de estos temas.

Entre 2011 y 2015, los congresistas iniciaron más de 11 mociones parlamentarias de reforma constitucional sobre el agua, sin embargo, a la fecha ninguna de ellas ha avanzado a un segundo trámite constitucional³², razón por la cual no nos detendremos en este punto.

El 28 de julio de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano de acceso al agua potable y al saneamiento (ONU, 2010). El mismo año Chile ingresó a la OCDE, organismo que le realizó al país, en 2016, una Evaluación de Desempeño Ambiental (CEPAL-OCDE, 2016) que contiene 54 recomendaciones para el período 2016-2025, a fin de que el país avance hacia un desarrollo sostenible³³. Las recomendaciones relacionadas con el agua, son complementarias con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 de la Agenda 2030, que propicia garantizar la disponibilidad y acceso a agua potable segura, su gestión sostenible y el saneamiento para todos; el ODS 12, que propugna garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, que posibiliten a las personas sobrevivir y prosperar, preservando los recursos naturales para los descendientes; y el ODS 15, proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, tales como bosques, humedales y montañas, luchando contra la desertificación, la degradación de las tierras y la pérdida de la biodiversidad biológica.

Entre las recomendaciones de la OCDE para Chile destaca la de concebir e implementar nuevas reformas del régimen de asignación de aguas, con el fin de:

- a) Establecer usos “esenciales” del agua –como el abastecimiento de agua potable, servicios de saneamiento y ecosistémicos– a los que se otorgue alta prioridad.
- b) Acelerar la regularización y el registro de los derechos de uso del agua, para que el registro público sobre la materia sea plenamente operativo y transparente.
- c) Evitar la asignación excesiva en cuencas y acuíferos en los que los derechos de uso del agua excedan la capacidad sostenible del cuerpo de agua.
- d) Intensificar los esfuerzos por elevar la eficiencia del uso del agua en todos los sectores económicos, especialmente en la agricultura y la minería.
- e) Asegurar la imposición de límites efectivos y exigibles a las extracciones, que reflejen las exigencias ambientales y ecológicas y la necesidad de un uso sostenible.
- f) Perfeccionar el monitoreo de la extracción de agua para proteger los ecosistemas, en particular los humedales.
- g) Reforzar las medidas de fiscalización y las sanciones aplicables a las extracciones ilegales.
- h) Monitorear sistemáticamente la extracción de agua dulce y el uso de agua de mar desalinizada, para evitar los efectos negativos en los ecosistemas hídricos.
- i) Recopilar y publicar sistemáticamente información sobre la calidad del agua.

³² En materia legislativa, un proyecto de ley avanza a un segundo trámite constitucional, cuando la iniciativa es aprobada en la Cámara de origen y pasada a la Cámara revisora.

³³ Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)/Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), Evaluaciones del desempeño ambiental: Chile 2016, Santiago, 2016.

Gran parte de estas sugerencias fueron recogidas en las indicaciones que introdujo el Ejecutivo en 2014 y 2016 a los dos principales proyectos de ley que se tramitaban en el Congreso y que reformaban al Código de Aguas, perfeccionando dichas iniciativas que se habían iniciado en 2011 (Boletín 7.543-12) y en 2012 (Boletín 8.149-08), respectivamente³⁴.

Las recomendaciones reseñadas bajo los literales e), f), g), h) e i) fueron recogidas, total o parcialmente en el proyecto de ley de reforma al Código de Aguas Boletín 8.149-09), que había sido aprobada en la Cámara de Diputados en diciembre de 2012, pero congelándose su tramitación en el Senado hasta octubre de 2016, fecha en que la nueva Administración lo reemplazó por otro texto. Las modificaciones fueron aprobadas sin votos en contra por la Sala del Senado, en agosto de 2017, para luego ratificarse en octubre de 2017, por la unanimidad de la Cámara de Diputados. Finalmente, concluido su examen de constitucionalidad, fue promulgada la Ley 21.064, en enero de 2018.

De este modo, se aumentó en 100 veces el umbral de las sanciones ante las contravenciones al Código de Aguas, tipificándose nuevas sanciones; incrementándose las atribuciones y herramientas de la Dirección General de Aguas en materia de fiscalización y protección de la calidad de las aguas en sus fuentes naturales; entregando herramientas a la autoridad para resguardar la sustentabilidad de los acuíferos; y propiciando un acceso expedito a toda la información necesaria para una mejor gobernanza del agua. Todo lo anterior con el objetivo de hacer frente a las crecientes demandas de información recogiendo, entre otros, los principios precautorios de transparencia y publicidad.

Hasta dicha publicación, el énfasis de la fiscalización de extracciones de aguas se solía centrar en las extracciones ilegales o en aquellas amparadas por derechos de aguas que incluyen un Plan de Alerta Temprana (PAT) o las respaldadas por esos derechos, pero que, por las características de la obra o proyecto, cuentan con una Resolución de Calificación Ambiental (RCA) que normalmente añade restricciones o condiciones a esas extracciones.

La modificación legislativa posibilita un tercer escenario, para el caso de aquellos que cuentan con derechos de aguas en iniciativas exentas del trámite ambiental, estableciendo una red de medición de extracciones que principalmente debe ser financiada por los usuarios de aguas. Es así como a la obligación de las organizaciones de usuarios de aguas y de los propietarios exclusivos de un acueducto, de instalar un sistema de medición de las aguas superficiales que se extraen, se agrega la obligación de mantener dicho sistema y, además, instalar y mantener un sistema de transmisión de la información de las aguas que se aforan (Art. 38 y 307 bis). La misma obligación se dispone para aquellos usuarios de aguas subterráneas que se hallen en Zonas de Prohibición o en Áreas de Restricción (Arts. 67 y 68), es decir, acuíferos sobre los que existe certeza o al menos un riesgo de grave disminución de sus niveles. De igual modo, se establece esta obligación de informar y generar un sistema de control de extracciones auditable por la Dirección General de Aguas en todos los acuíferos que alimenten vegas, bofedales, humedales y pajonales en la macrozona norte del país, prohibiéndose nuevas extracciones y estableciendo un sistema de control de las extracciones previamente autorizadas.

Complementariamente, las recomendaciones arriba reseñadas bajo los literales a), b), c), d) y nuevamente e), fueron recogidas, total o parcialmente, en la primera iniciativa de ley (Boletín 7.543-12), que dispone el equilibrio entre derecho humano de acceso al agua potable y saneamiento, preservación ecosistémica y desarrollo productivo. Este proyecto de ley, iniciado en 2011, fue objeto de indicaciones por el Ejecutivo en octubre de 2014, enero de 2015, octubre de 2015 y abril de 2017 (ya en el Senado), siendo aprobada en 2016 en la Cámara de Diputados por sus comisiones de Recursos Hídricos y Desertificación, de Agricultura y de Hacienda y, finalmente, en noviembre de ese año por la sala plenaria de esa Cámara, pasando al Senado donde, en agosto de 2017 fue votada en particular por su Comisión de Recursos Hídricos, pasando luego a la Comisión de Agricultura, donde reside desde entonces. Se destacan cinco énfasis de ese proyecto de ley:

³⁴ El Boletín 8149-09 fue el que alcanzó a tramitarse y promulgarse como ley a inicios de 2018, mientras que el Boletín 7543-12 se discute en segundo trámite constitucional en el Senado.

- a) Intensifica el interés público del agua y consagra el derecho humano de acceso al agua potable y saneamiento, priorizando estos usos, tanto cuando hay distintas peticiones sobre las mismas aguas, como cuando por escasez severa se hace necesario restar proporcionalmente agua a todos, a excepción de aquellas que se destinan para agua potable, especialmente rural. Además, a diferencia de los derechos ya concedidos (que son indefinidos), se establece que las nuevas concesiones serán temporales, aunque prorrogables. Este eje va en línea con la recomendación a) establecer usos “esenciales” del agua –como el abastecimiento de agua potable, servicios de saneamiento y ecosistémicos– a los que se otorgue alta prioridad. Recomendación que, a su vez, se relaciona con el ODS 6, cuyas metas a 2030 incluyen un acceso universal y equitativo al agua potable, acceso equitativo a servicios de saneamiento e higiene adecuados para todos, mejoramiento de la calidad del agua; aumento del uso eficiente de recursos hídricos, aseguramiento de la sostenibilidad de la extracción y del abastecimiento de agua dulce; aplicación de la gestión integrada de los recursos hídricos; y protección y restablecimiento de los ecosistemas relacionados con el agua³⁵.
- b) Profundiza la función ecosistémica de las aguas. Se protegen áreas de importancia patrimonial y ambiental. Se prohíbe la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas en glaciares, en áreas declaradas bajo protección oficial de la biodiversidad y en acuíferos que alimenten vegas, pajonales y bofedales andinos en toda la macro zona norte del país. Además, entre otras disposiciones, se consagra el principio de sustentabilidad del acuífero, facultándose a la autoridad para limitar la extracción de aguas subterráneas cuando su explotación produzca una degradación del acuífero y afecte su sustentabilidad.
- c) Fortalece las atribuciones de la Dirección General de Aguas (DGA) para distribuir aguas superficiales en caso de no existir Junta de Vigilancia (organización de usuarios) o por existir más de una junta de vigilancia en un mismo río, en caso que una de ellas se sintiere perjudicada por las extracciones de la otra y así lo solicitase (artículo 17) y para actuar frente a la afectación a la sustentabilidad de los acuíferos, pudiendo de oficio establecer la reducción temporal del ejercicio de los derechos de aprovechamiento a prorrata de ellos (artículo 62).
- d) Fomenta el uso eficiente de las aguas. Los titulares de derechos de aprovechamiento de aguas tienden a resaltar su propiedad sobre la concesión como un derecho, olvidando que el ejercicio del derecho conlleva una obligación. En consecuencia, es lógico que la ley exija que el derecho de aprovechamiento, efectivamente se aproveche y que quienes no construyan oportunamente sus obras de aprovechamiento, paguen una patente incremental por eso o, en su defecto, los devuelvan a la sociedad para ser redistribuidos entre quienes sí los necesitan. El argumento es que no sería justo que esos derechos se mantengan ociosos o queden en manos de especuladores. Este eje dialoga con la recomendación “h) Intensificar los esfuerzos por elevar la eficiencia del uso del agua en todos los sectores económicos, especialmente en la agricultura y la minería”³⁶. Complementariamente a lo anterior, se dispone en un nuevo artículo 66 bis, una normativa que hace posible la recarga artificial de acuíferos, simplificando sus permisos y preservando la calidad de las aguas que se reciben.

³⁵ Los nuevos artículos 5, 5 bis y 5 ter, que se proponen para el Código de Aguas, tanto por la Cámara de Diputados, como por la mayoría de la Comisión de Recursos Hídricos del Senado, consagran el derecho humano de acceso al agua potable y saneamiento; priorizan la función de subsistencia, tanto en la solicitud de derechos como en el reparto ante la escasez; establecen que las aguas son un bien nacional de uso público que pertenecen a la nación toda; que estas cumplen diversas funciones; que la Administración puede reservar anticipadamente aguas para garantizar ambos derechos humanos y la preservación ecosistémica; que los comités de APR, contarán con un permiso transitorio de extracción mientras tramitan sus respectivos expedientes; que no necesitarán tramitar expediente alguno para extraer aguas subterráneas para consumo humano cuando estas se encuentren en terrenos del Comité o de sus socios o en bienes fiscales con la servidumbre respectiva; que se eximen del pago de patentes y que, excepcionalmente, el Presidente de la República podrá otorgarles aguas contra disponibilidad, es decir, aguas que hayan sido concedidas para otros fines.

³⁶ La ley vigente permite multiplicar hasta cuatro veces el monto de la patente original cuando transcurren diez años desde el primer cobro sin que se hayan construido las obras. Sin embargo, se requeriría aumentar en 64 veces dicho pago para que tuviese el efecto deseado. La reforma de ley elimina ese techo de cuatro veces, estableciendo que cada cinco años el monto a pagar se duplica, es decir, dentro de un plazo de veinte años, ese monto se multiplicará por 32. Paralelamente, de forma complementaria, se establece que, transcurridos cinco o diez años, según si se trata de derechos consuntivos o no consuntivos, se dará inicio a un procedimiento de extinción del derecho.

- e) Facilita la regularización de usos históricos de aguas. Se propone un trámite administrativo sencillo, ante la DGA (erradicando esta competencia de los tribunales), posibilitando la actuación colectiva por las organizaciones de usuarios de aguas (juntas de vigilancia, asociaciones de canalistas y comunidades de aguas)³⁷. Actualmente, el artículo 2 transitorio dispone un procedimiento judicial para regularizar usos que se aprovechaban antes de entrar en vigor el Código en 1981. El Informe del Banco Mundial de 2011 reconoció que la norma no había cumplido con su propósito, pudiendo existir decenas de miles de usos sin haber formalizado su situación.

Sin perjuicio de que existen múltiples otras iniciativas de ley, ya sea iniciadas por mensaje presidencial o moción parlamentaria, el principal debate regulatorio en curso es la modificación al Código de Aguas que a la fecha se encuentra en segundo trámite constitucional (Senado), votándose en particular en la Comisión de Agricultura las indicaciones presentadas al texto aprobado por la Comisión de Recursos Hídricos del Senado. Se estima que antes del mes de enero concluirá su votación, pasando el Boletín a la tercera y última comisión revisora (de Constitución, Legislación, Justicia y Reglamento), estimándose, en consecuencia, que la iniciativa de ley pueda votarse por la Sala del Senado durante el mes de mayo de 2020, sin perjuicio de que se trata de un hecho incierto.

³⁷ Coincide con la recomendación b) acelerar la regularización y el registro de los derechos de uso del agua, para que el registro público sobre la materia sea plenamente operativo y transparente.

3. ¿Que son los Sistemas de captación de aguas lluvias?

Según lo expresado por Alfaro (2009), los sistemas de captación de aguas lluvias (SCALL), (*Rainwater harvesting* en inglés), corresponden a un conjunto amplio de prácticas tendientes a colectar el agua de la precipitación cuyo fin es satisfacer las demandas de abastecimiento de agua para consumo, tanto humano como animal, producción silvoagropecuaria o el funcionamiento de sistemas naturales. Según Ballén *et al.* (2006), los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia son el resultado de las necesidades (demanda), los recursos disponibles (precipitación, dinero para invertir y materiales de construcción) y las condiciones ambientales en cada región. Por otro lado, agrega que se buscan sistemas alternativos de abastecimiento, solo cuando la red de agua potable no existe, el suministro es deficiente o cuando el agua tiene un alto costo. Según lo expresado por Ruskin (2001), existen dos técnicas para la captura del agua lluvia.

La primera consiste en despejar una extensión de terreno, como la ladera de un cerro y cubrirla con un material impermeable; estos sistemas son generalmente conocidos como SCALL de ladera. El segundo tipo de técnica es mediante el uso del techo de una casa mediante el cual se atrapa el agua que cae sobre este, desde donde se desvía hacia una cisterna de acumulación. Este tipo de sistema se conoce como SCALL de techo.

3.1. Antecedentes de los SCALL a nivel nacional

Con el correr de los años, se han desarrollado varias formas para capturar y almacenar el agua proveniente de las lluvias. Actualmente en numerosas partes del mundo se han investigado y desarrollado los Sistemas de Captación de Aguas Lluvia (Ballén *et al.*, 2006). Es así como en Chile, el Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental de la Universidad de Talca ha llevado la delantera en el diseño y construcción de estas obras a través de la ejecución de proyectos financiados con fondos públicos concursables. De esta forma, la primera obra de este tipo fue diseñada y construida en el año 2009 para uso doméstico en la comuna de Ovalle, Región de Coquimbo, financiada a través de un proyecto Innova-Corfo (UNESCO, 2015). Dicha obra permitió acumular 24 m³ en una zona donde precipitan 150 mm al año. Posteriormente, se realizaron 12 unidades experimentales en la región del Maule mediante la ejecución del proyecto FIC Maule “Transferencia, diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias” financiado por el Gobierno Regional. Esta iniciativa tuvo gran relevancia, tanto para la región como para el país, ya que de él otras organizaciones gubernamentales, como por ejemplo el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), adquirieron el conocimiento y replicaron las obras. Así, entre los años 2014 -2016, sólo en la región del Maule se construyeron alrededor de 50 unidades repartidas entre las zonas que año a año sufren con el desabastecimiento de agua y deben subsistir gracias a la repartición de agua mediante camiones aljibes cada 2 o 3 días.



Figura 1: sistema de captación de aguas lluvias diseñado por el Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental de la Universidad de Talca

3.2. Antecedentes de los SCALL a nivel internacional

Según lo expresado por Hugues (2019), cerca de 100 millones de personas alrededor del mundo dependen parcial o totalmente de los SCALL, principalmente en zonas rurales. Para su construcción se utilizan principalmente estanques, presas de tierra, aljibes, motobombas, camiones cisternas, trampas de agua de lluvia y techumbres, entre otros. Por otro lado, los materiales usados para estas obras han sido polietileno, hormigón, cal, placas de cemento, bambú y materiales locales (Anaya, 1988).

Dado que las aguas lluvias se pueden capturar con relativa facilidad, en las últimas décadas se han llevado a cabo acciones que permiten su captura y almacenamiento en todo el mundo. Es así como en Tailandia se implementó un programa para mejorar el acceso a la red de agua a la zona rural, que representa aproximadamente al 80% de la población. Dicho programa consistió en la construcción de un tanque de hormigón reforzado con bambú conectado a cada casa particular (Anaya, 1988).

Durán *et al.*, 2010, señalan que en Bangladesh desde 1977 se han construido alrededor de 1000 SCALL por Organizaciones No Gubernamentales. Para estas obras han usado estanques de hormigón reforzado y de mampostería.

Anaya 2009, señala que, para la mitigación de la escasez hídrica, controlar inundaciones y asegurar agua para situaciones de emergencia, en Japón se han implementado los sistemas “Ronjinson”. Estos sistemas llevan el agua proveniente de la lluvia desde el techo de la casa, hasta un pozo subterráneo. Allí el agua es almacenada y es extraída mediante una bomba manual. Actualmente en las ciudades de Chennai y Nueva Dehli en India, estos sistemas son obligatorios. Por otro lado, en China se ha implementado el proyecto “1.2.1” para la captación de agua lluvia. Esta agua se destina para abastecer a millones de habitantes y para el uso en ganadería (Gnadlinger, 2015).

Asimismo, Duran *et al*, 2010, señalan que Alemania cada año incorpora 50.000 SCALL como parte de su política pública, debido a que la oferta de agua no crece en la misma proporción que la población. Para la construcción de estas obras se han utilizado los techos de edificios, calles y vías peatonales. Por otro lado, en Estados Unidos hay 15 estados en donde se utilizan los SCALL, siendo el estado de Texas donde es más común esta práctica, contando con más de 15 empresas especializadas en el diseño y construcción de este tipo de obras.

Según Anaya, 2009, el gobierno de Canadá incentiva la compra de estanques para el aprovechamiento de aguas lluvias mediante un subsidio. Así, el agua lluvia puede ser colectada desde los techos y usada para el riego de jardines y para uso doméstico.

4. Desarrollo del proyecto

4.1. Selección de los sitios

La selección de sitios para la instalación de las unidades demostrativas se realizó siguiendo los siguientes criterios:

i) Accesibilidad

Fue necesario que el predio y el sitio donde se ubicó la unidad demostrativa tuviera un camino de acceso transitable durante todo el año, especialmente en invierno, con el fin de que pudiesen trasladarse sin problemas la maquinaria y los materiales necesarios.

ii) Tipo de tenencia de la propiedad

Se priorizó a aquellos sectores en donde el propietario estuviera bien definido, de tal forma de contar con el compromiso del dueño y minimizar el riesgo por acción de terceros. Así se aseguró el buen desarrollo del proyecto y de la inversión pública.

iii) Disposición

En todo momento, durante el desarrollo del proyecto, se solicitó que debía existir la disposición y voluntad tanto del propietario como de su grupo familiar, para recibir esta nueva tecnología y adquirir el compromiso de cuidar y mantener las obras. Además, se mantuvo durante la ejecución del proyecto la disposición para recibir visitas y delegaciones para dar a conocer el proyecto de investigación. Por otro lado, se solicitó una buena disposición y compromiso hacia los profesionales que participaban del proyecto y que se les permitiese el acceso para la toma de datos, construcción de obras, mediciones, etc.

iii) Factibilidad Técnica y Espacial

Se debía contar con un área de libre disponibilidad y de fácil acceso para emplazar la zona de captación y acumulación de aguas lluvias y para la plantación de maqui, como también para la instalación de equipos registradores de precipitación. La superficie necesaria bordeó los 1.500 m².

Cada sitio contó con un 10% a un 30% de pendiente, de manera de utilizar la diferencia de cota para la distribución del agua desde la zona de acumulación del agua. Además, cada uno de los sitios se encontraba desprovisto de vegetación arbórea y arbustiva, con el fin de minimizar los trabajos de la maquinaria. Se determinó no seleccionar aquellos sitios en donde existía presencia de afloramientos rocosos, ya que se habrían dificultado las labores de despeje del terreno para la instalación de las obras.

iv) Disponibilidad y Necesidad Hídrica

Se priorizaron aquellos sectores en donde el Municipio hace cada temporada una gran inversión en la distribución de agua con camiones aljibes, que no cuenten con agua potable o esta no esté disponible durante todo el año.

v) Existencia de SCALL

Los recursos del proyecto permitían la implementación de 6 unidades. Por ende y para incorporar un mayor número de experiencias, se incorporaron dos unidades adicionales, pero en las cuales ya existiese un SCALL previamente construido. Así, de las 8 unidades demostrativas instaladas, 2 cuentan con un sistema de captación de aguas lluvias que estaba funcionando de forma previa al inicio del proyecto. Para ello se consideraron los SCALL construidos previamente por INDAP. Por ende, en estos predios, solo se instalaron las parcelas de plantación de maqui.

Una vez que fueron establecidos estos criterios de selección, se programaron reuniones con profesionales de INDAP, institución asociada al proyecto. Los profesionales a los cuales se les consultó fueron los Jefes de Área al año 2016 de San Javier, Mauricio Castro Vega y de San Clemente, Antonio Neira Araya. El fin fue dar a conocer el proyecto y también para contar con su apoyo y experticia para la selección de los propietarios que serían beneficiados con el proyecto.

En el mismo marco, en conjunto con el profesional de INDAP Alejandro Abarza Martínez, encargado de gestionar la comunicación entre INDAP y el CTHA, se visitaron potenciales lugares en donde se podrían construir las unidades demostrativas en las zonas de San Clemente, San Javier, Constitución y Curepto. Estas visitas se realizaron con la compañía también de Luis Molina, Ejecutivo integral de INDAP San Javier, Manuel Hormazábal, Ejecutivo Integral de San Clemente y Gyorgo Capetanopulos, funcionario Prodesal Constitución.

Luego de hechas las visitas a los potenciales sitios y según los criterios anteriormente mencionados, se seleccionaron los siguientes propietarios (Cuadro 2 y Figura 2).

Cuadro 2: propietarios seleccionados para la instalación de las unidades demostrativas

Nombre	Sector	Comuna	Coordenadas	
			Latitud Sur	Longitud Oeste
Héctor Jorquera	Rincón de los Muñones	San Clemente	35°26'57,10"	71°13'34,01"
Blanca Marabolí	Carrizalillo (*)	San Clemente	35°26'23,63"	71°14'44,74"
Enrique Abarza	Nirivilo	San Javier	35°27'1,35"	72° 5'50,67"
Elvira Villagra	Colmenares (*)	San Javier	35°32'22,10"	72°19'51,10"
Héctor Pérez	Ranchillo	San Javier	35°38'11,51"	71°59'22,91"
Rene Ramírez	El Trigal	San Javier	35°36'11,10"	71°51'0,70"
Gladys López	Macal	Constitución	35°12'28,40"	72° 8'47,30"
Vanessa Vergara	Pantanillo	Curepto	35°14'8,13"	72° 2'25,94"

(*): sitio que ya contaba con un SCALL construido.

UNIDADES MUESTRALES - REGIÓN DEL MAULE

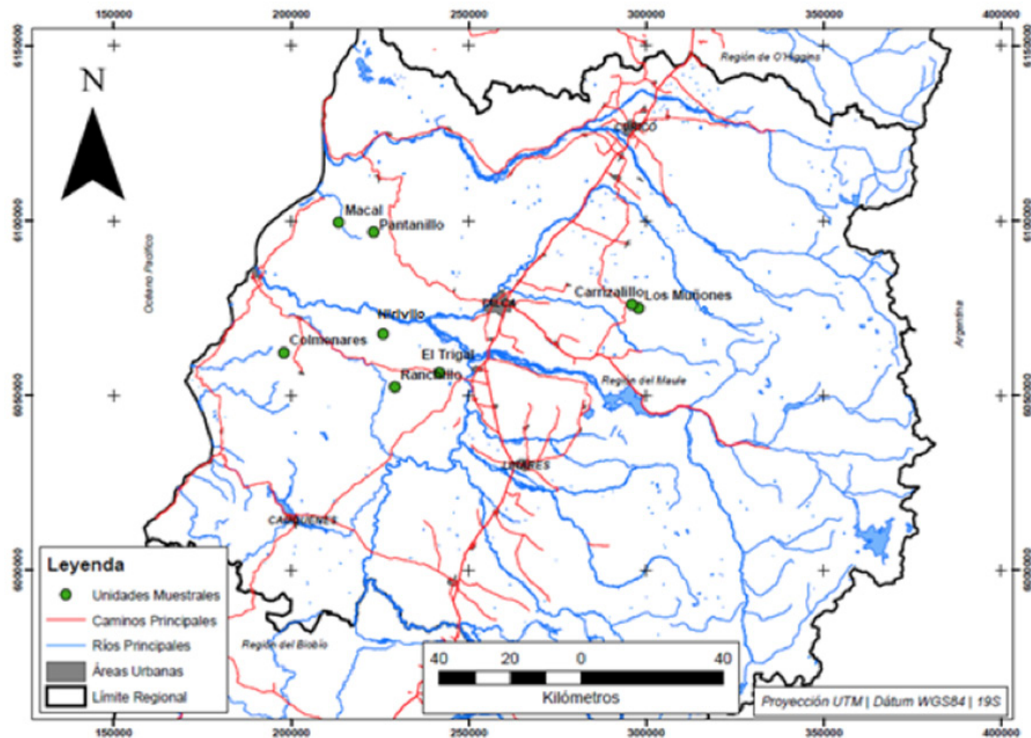


Figura 2: ubicación de los sitios seleccionados

4.2. Diseño hidrológico de las obras

4.2.1. Recopilación de las series anuales de precipitación

Cada sitio debió ser caracterizado hidrológicamente en términos de las ofertas de agua en periodos mensuales y anuales. Para ello se utilizó el registro histórico de estaciones pluviométricas cercanas a los sitios, información que fue proporcionada por la Dirección General de Aguas (DGA) de la Región de Maule, a través de su página web.

El diseño hidrológico de las obras se contempló solo para 6 sitios de los 8, ya que los sitios Carrizalillo y Colmenares, ya contaban con un sistema construido de captación de aguas lluvias.

Para los 6 sitios se encontraron 4 estaciones meteorológicas, como se muestra en el cuadro 3. Cabe mencionar que, en Rincón de los Muñones, perteneciente a la comuna de San Clemente, se consideraron 2 estaciones, a saber, el Huapi y El Durazno, por encontrarse ambas estaciones relativamente cercanas al sitio, obteniéndose 2 precipitaciones de diseño y posteriormente 2 valores de superficie de captura, las que finalmente fueron promediadas para obtener el valor de diseño.

La información utilizada corresponde a precipitaciones anuales de las cuatro estaciones pluviométricas las que se obtuvieron de los montos mensuales registrados a partir de la década del 60 hasta el año 2015. El detalle de las estaciones utilizadas se presenta en la siguiente tabla:

Cuadro 3: estaciones pluviométricas utilizadas

Sitio	Estación meteorológica	Ubicación estación		Distancia entre la estación y el sitio (km)	Período de registro
		Lat. S	Long. W		
Rincón de Los Muñones, San Clemente	El Huapi	35° 29' 11"	71° 17' 35"	11	1970-2015
	El Durazno	35° 29' 33"	71° 19' 06"	10	1993-2015
Ranchillo, San Javier	Nirivilo	35° 32' 20"	72° 05' 29"	19	1962-2015
El Trigal, San Javier	Nirivilo	35° 32' 20"	72° 05' 29"	23	1962-2015
Nirivilo, San Javier	Nirivilo	35°33'18.81"	72° 5'3.37"	3	1962-2015
Macal, Constitución	Gualleco	35° 14' 38"	71° 58' 48"	8	1962-2015
Pantanillo, Curepto	Gualleco	35° 14' 38"	71° 58' 48"	6	1962-2015

4.2.2. Ajuste de series de datos a funciones de distribución de probabilidad

Para cada sitio seleccionado, se definió la precipitación de diseño en términos de la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones a través de la función de distribución de probabilidad de Gumbel. Los ajustes obtenidos fueron contrastados con pruebas de bondad de ajuste definiendo la calidad de este. Posteriormente, con la precipitación de diseño se determinó el área de captura de las zonas seleccionadas.

4.2.2.1. Función de Distribución de Probabilidad (FDP)

Para la definición de una Función de Distribución de Probabilidad (FDP) es necesario definir los siguientes parámetros:

1. *Período de Retorno (T)*: se define como el período de tiempo que transcurre entre dos eventos o sucesos de similares características (precipitaciones, caudales, temperaturas, etc.). Generalmente se expresa en años (Pizarro *et al.*, 2004).
2. *Probabilidad de Excedencia*: se define como la probabilidad de que un valor de la variable aleatoria sea excedido. Se encuentra asociada de forma inversa al período de retorno (Pizarro *et al.*, 2004).

De esta forma,

$$\text{Probabilidad de Excedencia} = P(X) = \frac{1}{T}$$

Expresado de otra forma, la probabilidad de que la variable aleatoria tome un valor igual o inferior a cierto número X , está dado por la función de distribución de probabilidad definida como $F(x)$. (Pizarro y Novoa, 1986).

$$F(X) = \int_{-\infty}^x f(x)dx = P(x \leq X) = 1 - \frac{1}{T}$$

Donde $f(x)$ es la función de densidad de probabilidad. Por otro lado, la probabilidad de que x (valor de la precipitación de diseño) sea mayor que X (precipitación cualquiera), viene dada por la función complementaria, también conocida como probabilidad de excedencia:

$$P(x > X) = 1 - F(X) = \frac{1}{T}$$

Para el caso de este proyecto, se definió una probabilidad de excedencia de 0,1 es decir, la precipitación de diseño deberá ser superada en al menos 9 de 10 años, con lo cual se asegura que en esos años se contará con el agua disponible definida en el diseño.

En el cuadro 5 se presenta la expresión matemática del ajuste de la función de distribución de probabilidad de Gumbel, los coeficientes de determinación y los resultados de la aplicación del test de Kolmogorov-Smirnov, como medida de bondad de ajuste, para las estaciones consideradas.

4.2.2.2. Bondad de Ajuste para las estaciones de la Región del Maule

Como pruebas de bondad del ajuste se utilizaron el test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y el coeficiente de determinación R^2 ; de esta forma se analizó la validez de la calidad de los ajustes en todas las series de datos de las estaciones seleccionadas.

El Coeficiente de determinación, es una prueba estadística que permite visualizar la proporción de la varianza total de los datos que es explicada por el modelo.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}$$

Con:

y: valores observados.

\hat{y} : valores estimados.

El test de Kolmogorov-Smirnov, verifica si la distribución empírica de los valores concuerda con la distribución teórica. Para esto, utiliza el supremo de las diferencias absolutas entre la distribución teórica y la empírica.

$$K-S = \sup |Fn(x)_i - F(x)_i|$$

Con:

$F_n(x)$: frecuencia observada acumulada.

$F(x)$: frecuencia teórica acumulada.

El valor K-S (D_c), se compara con el estadístico de Kolmogorov-Smirnov tabulado (D_t) para un nivel de significancia del 5%, obteniendo los siguientes escenarios:

$$si \begin{cases} D_t \geq D_c; \text{No existen diferencias significativas } (H_0) \\ D_t \leq D_c; \text{Existen diferencias significativas } (H_1) \end{cases}$$

Cuadro 4: ajuste de la función de Gumbel para la precipitación anual

Estaciones Pluviométricas	Función de Gumbel ajustada	R^2	K-S		Resultado test K-S
			Dt	Dc	
Gualleco	$F(X) = e^{-e^{-0,004(x-649,20)}}$	0,995	0,185	0,069	Acepta H_0
El Durazno	$F(X) = e^{-e^{-0,005(x-735,24)}}$	0,970	0.260	0.101	Acepta H_0
Huapi	$F(X) = e^{-e^{-0.004(x-826,54)}}$	0,991	0,197	0,061	Acepta H_0
Nirivilo	$F(X) = e^{-e^{-0,004(x-656,13)}}$	0,988	0,185	0,084	Acepta H_0

4.2.2.3. Cálculo de la precipitación de diseño

En el cuadro 5 se detallan los valores de precipitación de diseño para cada sector y estación considerada.

Cuadro 5: precipitación de diseño y área de captación para cada unidad demostrativa

Sitio	Estación meteorológica	Pp. de diseño (mm)	Área de captación (m ²)
Rincón de los Muñoces, San Clemente	Huapi	615	161
	El Durazno	558	
Ranchillo, San Javier	Nirivilo	461	205
Nirivilo, San Javier	Nirivilo	461	205
El Trigal, San Javier	Nirivilo	461	205
Macal, Constitución	Gualleco	459	205
Pantanillo, Curepto	Gualleco	459	205

4.3. Definición del área de captación

El área de captación es una superficie impermeabilizada o tratada que tiene como función el capturar el agua proveniente de la lluvia. En el caso del presente proyecto se utilizaron 3 tipos de superficie:

- Ladera desprovista de vegetación e impermeabilizada con geomembrana
- Techos de casas
- Techos del estanque acumulador

Las dimensiones del área de captura dependen de la precipitación de diseño, del coeficiente de escorrentía asociado al material impermeabilizante y del volumen de agua que se quiera almacenar. Esto se resume en la siguiente expresión:

$$A_{cap} = \frac{V_c}{P * e}$$

(1)

Dónde:

A_{cap} = Área de captación en la ladera (m²);

V_c = Volumen de la cisterna (m³);

P = Precipitación de diseño (mm);

e = Coeficiente de escorrentía, que dependerá del material con que se impermeabilice la ladera.

Se planteó acumular 80 m³ de agua para lo cual se determinó la superficie de captura del agua lluvia para cada unidad demostrativa. En relación con el coeficiente de escorrentía, este varía con el material de la superficie y para una ladera impermeabilizada con geomembrana este coeficiente toma un valor de 0,85.

No obstante, en casi todas las unidades demostrativas la superficie de captación incluye techos de casa o del estanque acumulador, desconociéndose el valor del coeficiente para estos casos, por lo que se asumió el mismo valor (0,85). Cabe destacar que una de las investigaciones básicas que deben llevarse a cabo, es la referida a los diversos coeficientes de escorrentía que tienen que ver con las distintas materialidades usadas en diversos proyectos.

4.4. Cisterna de acumulación

Es el depósito donde se almacena el agua lluvia capturada, el que puede ser construido de diferentes materiales, tales como hormigón o geotextil. En el presente proyecto se utilizarán estanques flexibles de 80 m³.

4.5. Diseño de obras

En cada uno de los 8 sitios seleccionados se construyeron diferentes obras, dependiendo de las obras preexistentes y de lo especificado en el proyecto, de tal forma que en cada sitio debía existir un SCALL y una plantación de maqui.

En la siguiente tabla se muestran las obras construidas en cada sitio y se describe la zona de captación y el tipo de acumulador que se utilizó.

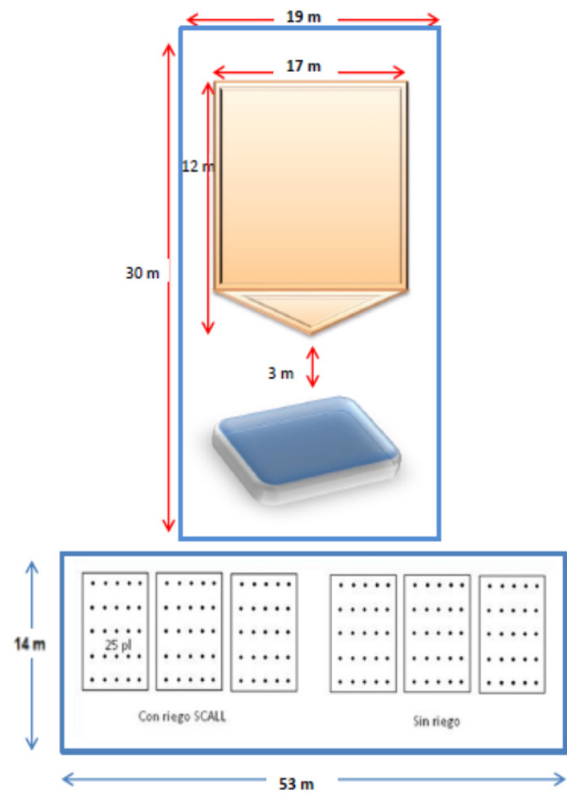
Cuadro 6: obras construidas y tipificación de la zona de captación y de la de acumulación de aguas lluvias para cada sitio

Comuna	Sector	Obra a construir	SCALL	
			Captación	Acumulador
San Clemente	Rincón de los Muñones	SCALL y Plantación de maqui	Geomembrana	Estanque flexible
San Clemente	Carrizalillo	Plantación de maqui	Techo casa + techo acumulador	Estanque con geomembrana
San Javier	Nirivilo	Acumulador y Plantación de maqui	Techo galpón	Estanque flexible
San Javier	Colmenares	Plantación de maqui	Techo casa	Estanque con geomembrana
San Javier	Ranchillo	SCALL y Plantación de maqui	Geomembrana	Estanque flexible
San Javier	El Trigal	SCALL y Plantación de maqui	Geomembrana	Estanque flexible
Constitución	Macal	SCALL y Plantación de maqui	Geomembrana	Estanque flexible
Curepto	Pantanillo	SCALL y Plantación de maqui	Geomembrana	Estanque flexible

A continuación, se detalla el diseño de las obras construidas y la configuración de la unidad demostrativa para cada sitio.

Sitio 1: Rincón de los Muñones (San Clemente)

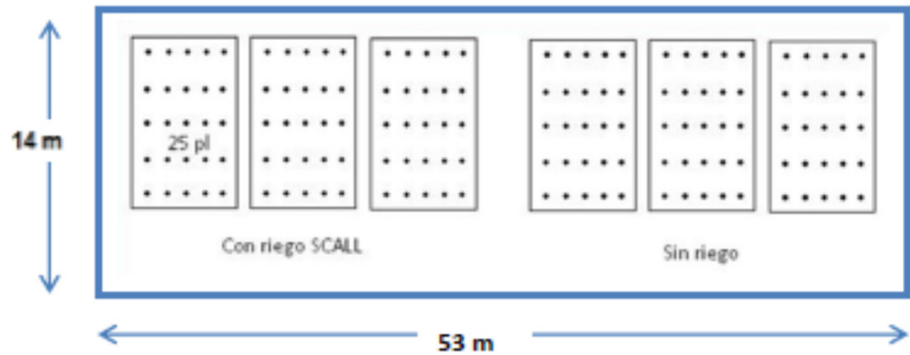
Área de captación: geomembrana en ladera; acumulación en estanque flexible



Superficie de Captura: 205 m², geomembrana en ladera.
Perímetro Zona Captación y Acumulación (estanque flexible): 98 metros lineales.
Perímetro Plantación: 134 metros lineales.

Sitio 2: Carrizalillo (San Clemente)

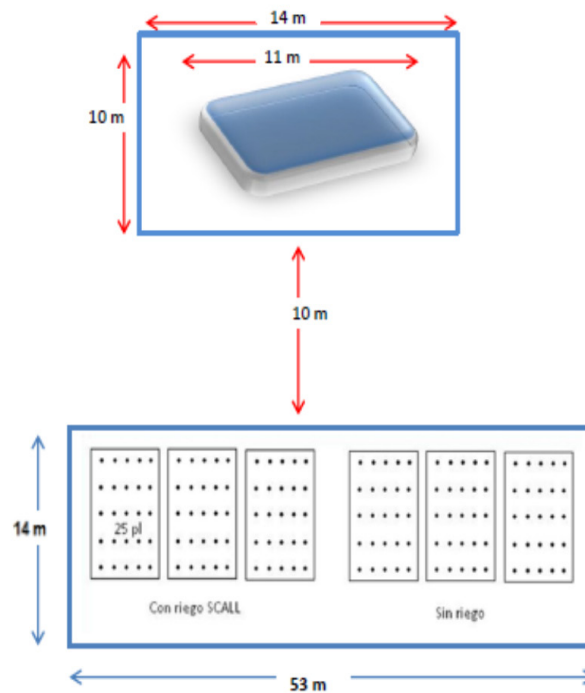
Área de captación: techo de casa y de acumulador existente; acumulación en hidroacumulador.



Perímetro Plantación: 134 metros lineales.

Sitio 3: Nirivilo (San Javier)

Área de captación: techo de galpón existente; acumulación en estanque flexible



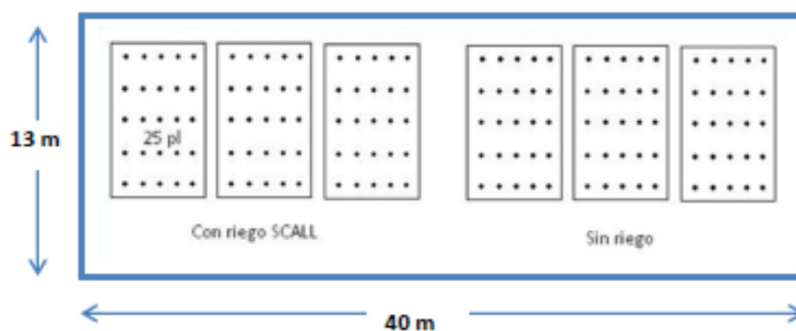
Superficie de Captura: 200 m², techo de galpón.

Perímetro Zona Acumulación (estanque flexible): 48 metros lineales.

Perímetro Plantación: 134 metros lineales.

Sitio 4: Colmenares (San Javier)

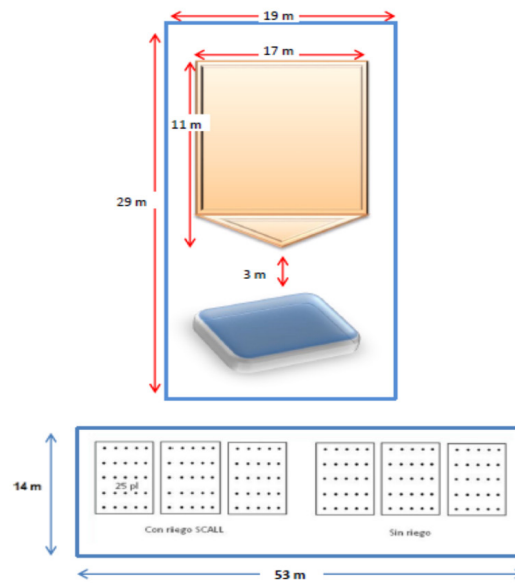
Área de captación: techo de casa existente; acumulación en estanque revestido con geomembrana existente.



Perímetro Plantación: 106 metros lineales.

Sitio 5: Ranchillo (San Javier)

Área de captación: geomembrana en ladera; acumulación en estanque flexible



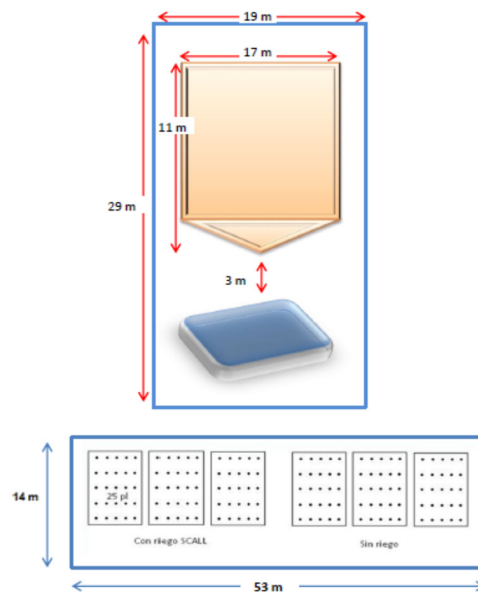
Superficie de Captura: 205 m² de geomembrana en ladera.

Perímetro Zona Captación y Acumulación (estanque flexible): 96 metros lineales

Perímetro Plantación: 134 metros lineales.

Sitio 6: El Trigal (San Javier)

Área de captación: geomembrana en ladera; acumulación en estanque flexible.



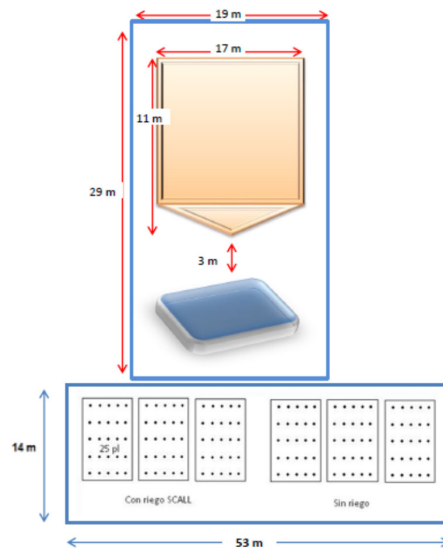
Superficie de Captura: 205 m², Geomembrana en ladera.

Perímetro Zona Captación y Acumulación (estanque flexible): 96 metros lineales.

Perímetro Plantación: 134 metros lineales.

Sitio 7: Macal (Constitución)

Área de captación: geomembrana en ladera más techo de casa; acumulación en estanque flexible.



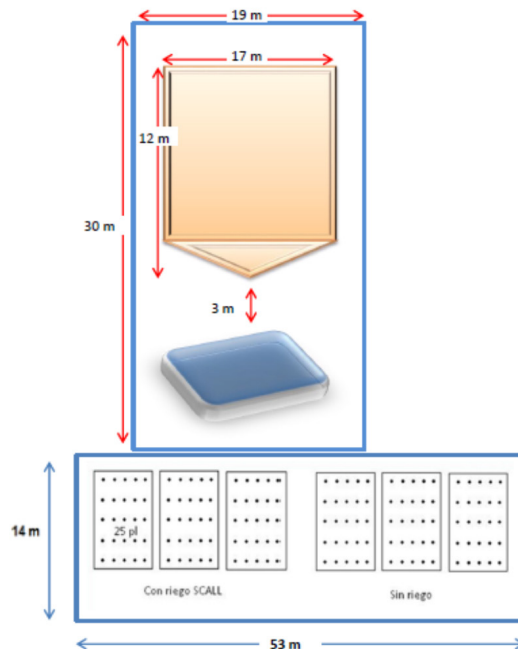
Área de Captación: 205 m² de geomembrana en ladera.

Perímetro Zona Captación y Acumulación (estanque flexible): 96 metros lineales.

Perímetro Plantación: 134 metros lineales.

Sitio 8: Pantanillo (Curepto)

Área de captación: geomembrana en ladera más techo de la casa; acumulación en estanque flexible.



Área de Captura: 205 m², 145 m² geomembrana en ladera + 60 m² techo de casa.

Perímetro Zona Captación y Acumulación (estanque flexible): 98 metros lineales.

Perímetro Plantación: 134 metros lineales.

4.6. Construcción de las obras

4.6.1. Replanteo en terreno

Una vez seleccionados los sitios y contando con el diseño de ingeniería de los SCALL, fue necesario realizar en terreno un replanteo de las obras, con el fin de asegurar una correcta construcción y verificar si los detalles de confección se enmarcaban con los aspectos específicos del terreno. Por lo tanto, es en el terreno donde se determinó el lugar de emplazamiento de las obras de captación y de acumulación, considerando las pendientes adecuadas, las distancias necesarias, los obstáculos del terreno y todo lo esencial para seleccionar de manera definitiva el espacio óptimo donde implementar el SCALL.

4.6.2. Construcción del área de captación

4.6.2.1. Preparación del terreno

La preparación del terreno consistió en la limpieza, remoción de tierra, aplanamiento y formación del talud para la instalación de la geomembrana y del hidroacumulador.

- a) Limpieza: una vez seleccionado el lugar idóneo para la construcción del SCALL, fue necesario limpiar y despejar el sitio de cualquier tipo de vegetación presente en el lugar de instalación de la zona de captación, como también de la zona donde se instaló el estanque acumulador. Como una forma de evitar cualquier impacto ambiental mayor, se buscó una zona mayoritariamente descubierta de vegetación.
- b) Remoción de tierra y aplanamiento: este punto considera el movimiento de tierra con pala y/o retroexcavadora, dependiendo de los volúmenes de tierra a movilizar, la disponibilidad de mano de obra en cada sector y la accesibilidad a cada sitio. El área de captación que se requiere para lograr llenar el hidroacumulador debe contar con al menos 3 o 5% de pendiente, haciendo posible de esta manera el escurrimiento del agua. En este punto, la empresa “AsiafChile” estuvo a cargo de la construcción de los SCALL.
- c) Formación de talud para geomembrana e hidroacumulador: a fin de contener el agua capturada por la geomembrana, se conforma un talud aguas abajo, el cual cumple el rol de detención en un tiempo mínimo de un volumen de agua, para posteriormente conducirla al desagüe. La construcción de este talud se realiza a partir de la misma tierra removida en un comienzo. Posteriormente, se da paso a la excavación donde se instala el hidroacumulador, excavación que otorga un diferencial de altura y permite, de esta manera, alcanzar los niveles de presión que permitirán el llenado del hidroacumulador.



Figura 3: remoción de tierra y aplanamiento de los sitios para instalación de la geomembrana.

4.6.2.2. Soporte de la geomembrana en el área de captación

A modo de determinar la mejor opción de soporte para la geomembrana, con respecto a la superficie donde será instalada, se determinó el excavar y conformar canaletas perimetrales. Adicionalmente se estableció un camellón, previo a la canaleta, con el fin de darle altura de contención potencial a la zona de captación. Así la geomembrana podría descansar sobre este camellón y posteriormente, ser enterrada y asegurada en la canaleta. Estas canaletas permitieron enterrar parte de la geomembrana que cubre el área de captación de aguas lluvias, a una profundidad de unos 30 cm, con el fin de otorgarle una mayor sujeción al terreno.



Figura 4: geomembranas enterradas en las canaletas

Posteriormente, se instaló el hidroacumulador, el cual es el encargado de recibir el caudal proveniente del área de captación ubicado en la zona alta. Luego, debieron conectarse las cañerías que conducen las aguas desde la zona de captación hacia el hidroacumulador; y, por último, se deja establecida la conducción desde el hidroacumulador al sistema de riego que abastecerá la plantación de maqui.



Figura 5: mangueras de conexión desde el área de captación hacia el estanque flexible.

4.7. Precipitaciones en la Región de Maule

4.7.1. Variación de las precipitaciones en el Maule

La Región del Maule presenta un clima del tipo oceánico mediterráneo (Sangüesa *et al.*, 2018), el que se caracteriza por concentrar las precipitaciones en el periodo invernal y presentar al menos 4 meses con temperaturas medias superiores a 10°C (Figura 6). A su vez, en la región se verifica una variación latitudinal, longitudinal y altitudinal de las precipitaciones. Lo anterior, define una situación heterogénea respecto de la oferta hídrica regional, concentrándose las mayores precipitaciones en la cordillera de los Andes y las menores en el valle central (Figura 6). Esta disparidad longitudinal en los montos de precipitación es explicada esencialmente por la orografía de la zona (Barret *et al.*, 2009). Sin embargo, es importante destacar que no se cuenta con información real de las precipitaciones de la Cordillera de los Andes, debido a que la mayoría de las estaciones pluviométricas se encuentran ubicadas en la depresión intermedia y sólo algunas están en la precordillera andina. Esto determina una carencia de información de precipitaciones cordilleranas, teniendo que ser completadas por medio de interpolación espacial, precipitaciones satelitales y modelos estadísticos, entre otros.

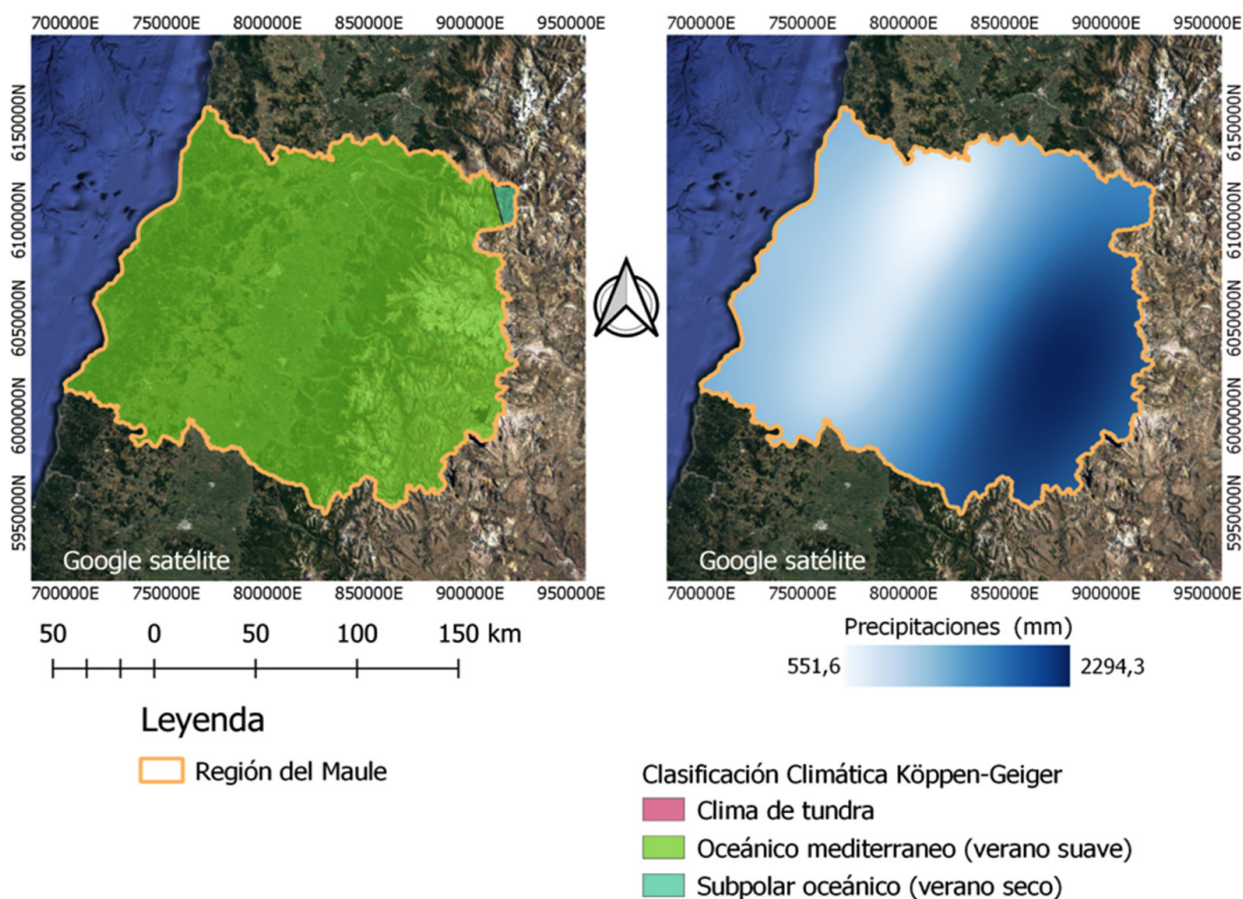


Figura 6: clasificación climática de la región del Maule y distribución espacial de las precipitaciones medias anuales (1970-2018).

Por otra parte, la variabilidad espacial de las precipitaciones se ve afectada por un componente temporal. Es decir, los montos anuales de precipitación no son constantes y esto se ve reflejado en las oscilaciones en las abscisas. Así, por ejemplo, la estación de Linares (Figura 7) muestra una variación temporal en sus precipitaciones, oscilando entre 312,5mm y 1378,7mm, situación que hace difícil prever el comportamiento de las precipitaciones. Esto determina que esta variable sea conocida como una variable aleatoria, es decir, que su comportamiento solo puede ser expresado en base a funciones de probabilidad.

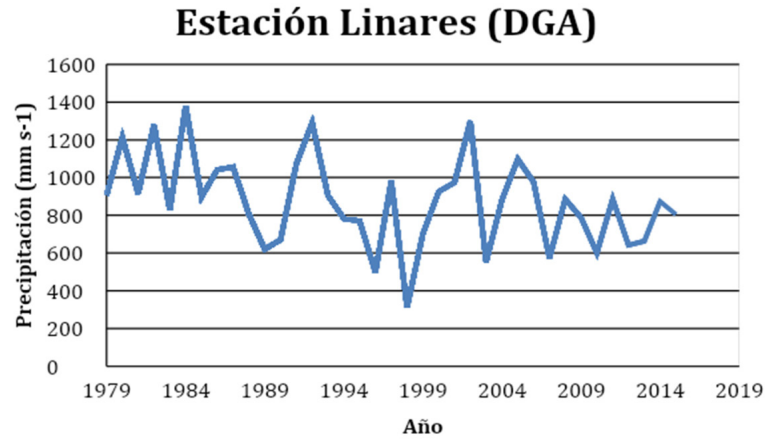


Figura 7: precipitación media anual para la estación de Linares.

Así, una forma de identificar el comportamiento actual y futuro de una variable es por medio de pruebas de tendencias, siendo las regresiones lineales el método tradicional para evaluar el sentido y significancia de la tendencia temporal. No obstante, derivado que las series hidrometeorológicas no se distribuyen normalmente, se requiere utilizar una prueba no paramétrica como el test de Mann-Kendall, que verifica la presencia de una tendencia, su dirección y si esta es significativa (Yue *et al.*, 2002).

La prueba considera el cálculo de los siguientes estadísticos:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{signo} (x_j - x_k)$$

Con:

$$\text{signo} (x_j - x_k) = \{1 \text{ si } x_j - x_k > 0; 0 \text{ si } x_j - x_k = 0; -1 \text{ si } x_j - x_k < 0\}$$

$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

Los valores de S y VAR (S) son usados para calcular la prueba estadística Z, como se muestra a continuación.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}; \text{ si } S > 0 & ; \text{ si } S = 0 \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}}; \text{ si } S < 0 \end{cases}$$

Los valores de Z superiores a 1,96 o inferiores a -1,96 son considerados como significativos para un nivel de significancia del 5% ($p < 0,05$).

En este contexto, se aplicó la prueba de Mann-Kendall a 42 estaciones pluviométricas (1970-2018) de la región del Maule, encontrando que 37 de las 42 tendencias realizadas son negativas, pero de estas sólo 13 son significativas. Dicho de otra forma, sólo 8 estaciones manifiestan un comportamiento fuera de las oscilaciones esperables en el tiempo. Así mismo, sólo 3 estaciones presentan tendencias positivas, aunque ninguna es significativa. Todo esto define que no se visualiza un comportamiento espacial que explique las tendencias temporales (Figura 8).

Finalmente, y dado que la mayoría de las tendencias encontradas en la Región del Maule son negativas (aunque no significativas), es posible en general trabajar con las series de datos de precipitación, dado que no existen quiebres significativos en torno a una mayor o menor oferta de agua vía las precipitaciones.

Cuadro 7: resumen de las tendencias encontradas.

Negativas	Negativas significativas	Positivas	Positivas significativas	Sin tendencia
24	13	3	0	2

En función de lo anterior se advierte que 13 de 42 tendencias (31%) son negativas y significativas, lo que implica que las lluvias estarían descendiendo en el tiempo en cerca de un tercio de las estaciones analizadas. De ahí la importancia de ajustar a funciones de distribución de probabilidad considerando los periodos en análisis.

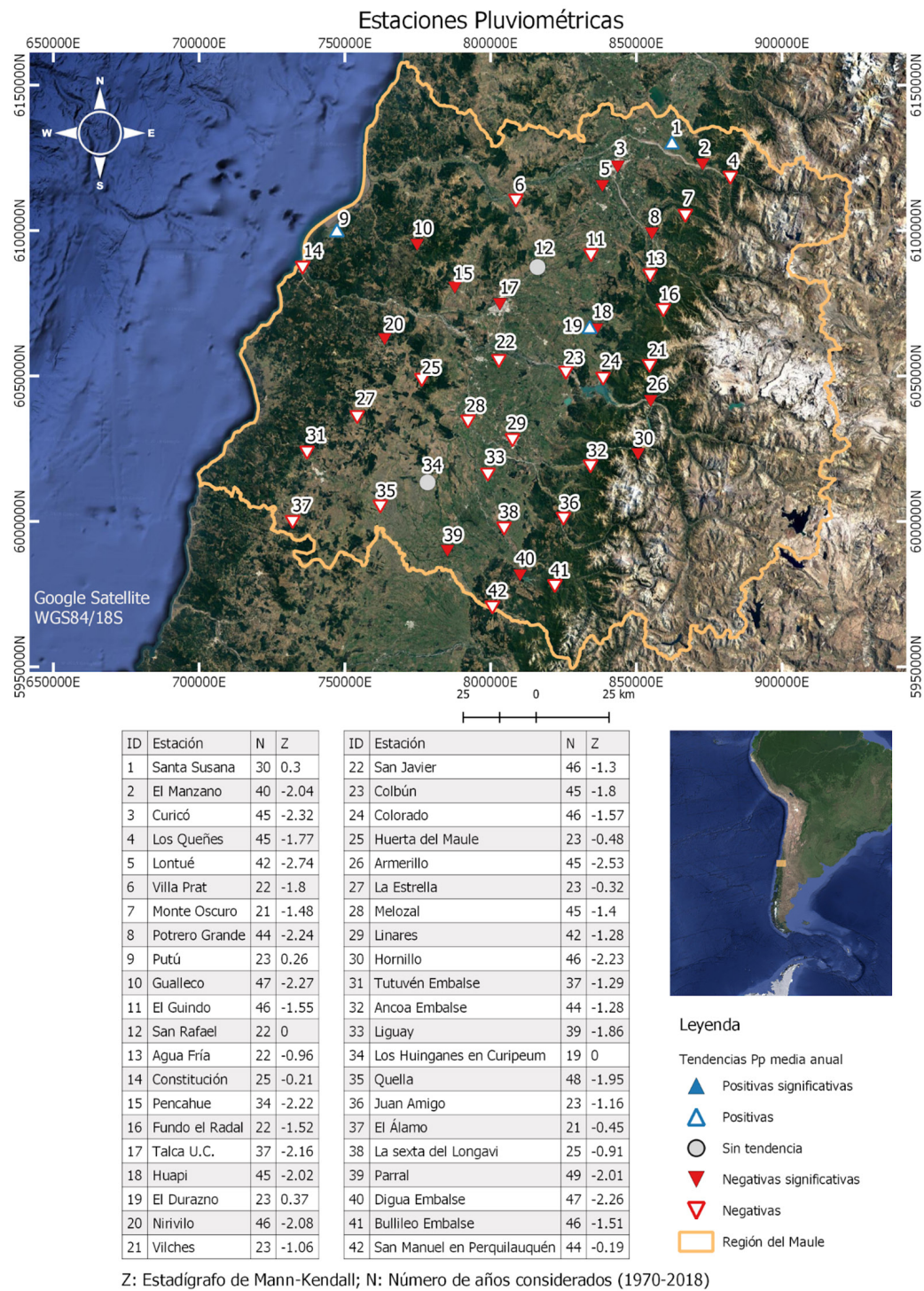


Figura 8: tendencias temporales de la precipitación en la Región del Maule.

4.7.2. Evaluación de la lluvia caída en las unidades muestrales

Para realizar la evaluación de los SCALL instalados, en 5 de las 8 unidades experimentales se instalaron estaciones pluviográficas con el fin de registrar la cantidad de lluvia que cae anualmente. En este sentido, las estaciones que se instalaron corresponden a las estaciones marca Davis modelo Vantage pro 2. Esta estación es resistente a la corrosión y a todas las inclemencias del tiempo, desde inviernos helados e intensas tormentas primaverales, hasta calurosos veranos y fuertes vientos otoñales. Posee un panel solar que alimenta al conjunto integrado de sensores durante el día, a la vez que carga una batería interna que proporciona energía por la noche. Para los días en que la radiación disminuye, la estación posee una pila de litio que sirve de respaldo en caso de necesidad.

La consola permite visualizar todas las variables meteorológicas de forma simultánea y configurar la estación sin necesidad de un computador. Presenta un cómodo teclado y una gran pantalla LCD con retroiluminación, para una lectura perfecta tanto de día como de noche.

El conjunto integrado de sensores envía los paquetes de datos a la consola de forma inalámbrica a una distancia de hasta 300 metros, con una frecuencia de actualización de 2,5 segundos.

Finalmente, las variables que pueden registrar estas estaciones son:

- Velocidad y dirección del viento.
- Temperatura y humedad interior y exterior.
- Temperatura de sensación y punto de rocío.
- Lluvia actual y acumulada diaria, mensual y anual.
- Intensidad de lluvia.
- Presión atmosférica actual y tendencia.



Figura 9: estación Davis Vantage pro 2.

Fuente: <https://instrumentosmeteorologicos.com/davis/davis-vantage-pro2-wireless-6152/>



Figura 10: estaciones instaladas.

A continuación, se presenta el gráfico de las precipitaciones registradas en las diferentes estaciones:

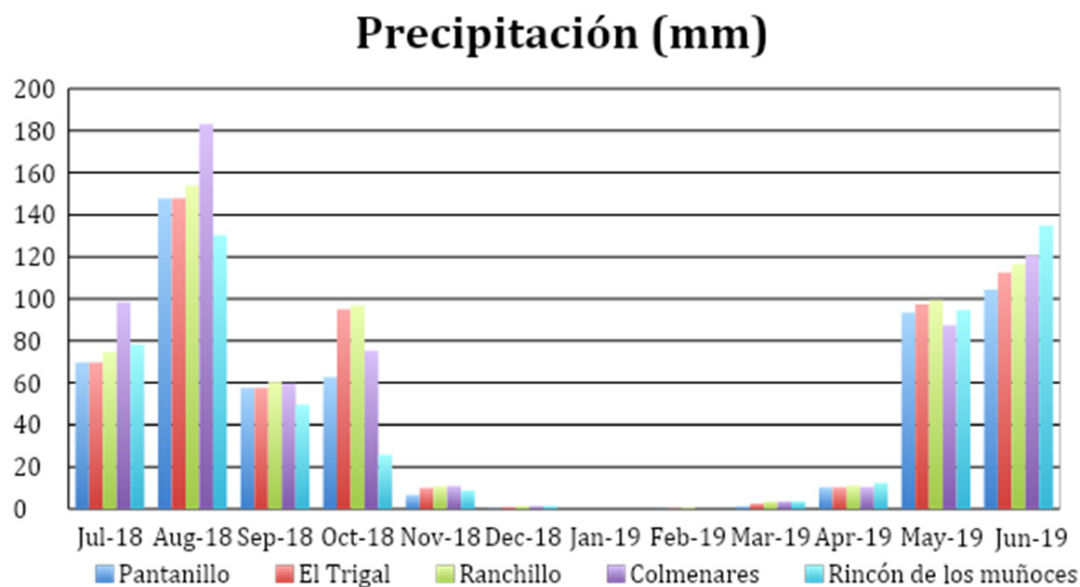


Figura 11: precipitación registrada por las estaciones instaladas.

En función de lo anterior, se verificó que en un periodo de 12 meses la precipitación caída para el total de estaciones instaladas sobrepasa el valor de precipitación de diseño de las obras, valor que se encuentra entre 459 a 538 mm. De esta forma, para la última temporada se logró almacenar el volumen de diseño de la obra (80.000 litros) sin problemas.

4.8. Selección de plantas madres

La obtención de las plantas de maqui para la plantación se realizó por vía vegetativa. Para ello, durante el mes de enero de 2016 se realizó la marcación de las plantas que fueron utilizadas para la propagación vegetativa a través de estacas de *Aristotelia Chilensis* (maqui) y que serían utilizadas en el proyecto. El objetivo de esta etapa fue encontrar individuos altamente productivos, además de seleccionar aquellos que presentaran una mayor cantidad de floración o frutos dependiendo de la época en que se realice la marcación. En este caso y dado por la fecha en que se realizó esta actividad, las plantas presentaron frutos maduros y resultó fácil de identificar si se trataba de individuos masculinos o femeninos.

La búsqueda se focalizó en un radio aproximado de 100 kilómetros, entre la zona de San Clemente y el camino que conduce hasta la ciudad de Constitución y contó con la participación de la Dra. Claudia Sangüesa, Coordinadora del Proyecto y la Dra. Úrsula Doll, Académica de Universidad de Talca y especialista en el tema. El camino seguido comenzó desde Talca por la ruta K-60. Esta misma vía une a la capital del Maule con la comuna de Curepto, con destino al sector Los Molinos, lugar en donde existe una unidad demostrativa de SCALL (implementado por el CTHA), cuyo propietario es Don Mario Concha. El Sr. Concha había señalado anteriormente la existencia de abundante maqui en el sector. Una vez en el lugar se procedió a marcar las plantas tanto masculinas como femeninas, para su futura utilización.

Luego y siguiendo por la ruta K-60 (Talca-Curepto) se encontraron plantas femeninas en el sector El Huapi. Estas se ubicaban en el borde de la ruta en ambos sentidos, y fueron marcadas para ser utilizadas próximamente.

Una vez recorrida la zona costera de la Región del Maule y pasando por las localidades de Putú y Constitución a través de la ruta K-24 hacia el sur, se tomó el camino de vuelta hacia Talca, pero esta vez por la ruta L-30-M, ruta que une Constitución con la ruta 5 sur, en la cual se encontraron plantas femeninas y masculinas, las cuales fueron seleccionadas y marcadas.

Por último, se visitó un sector llamado Cuesta Chamorro en el cual según funcionarios de INDAP existía un árbol de maqui que presentaba excelentes características genéticas. Este al igual que los anteriores, fue marcado para la posterior recolección de estacas.

A continuación, en la figura 12 se muestra el recorrido realizado y los lugares donde se realizó la marcación de las plantas que serían utilizadas para la propagación vegetativa.

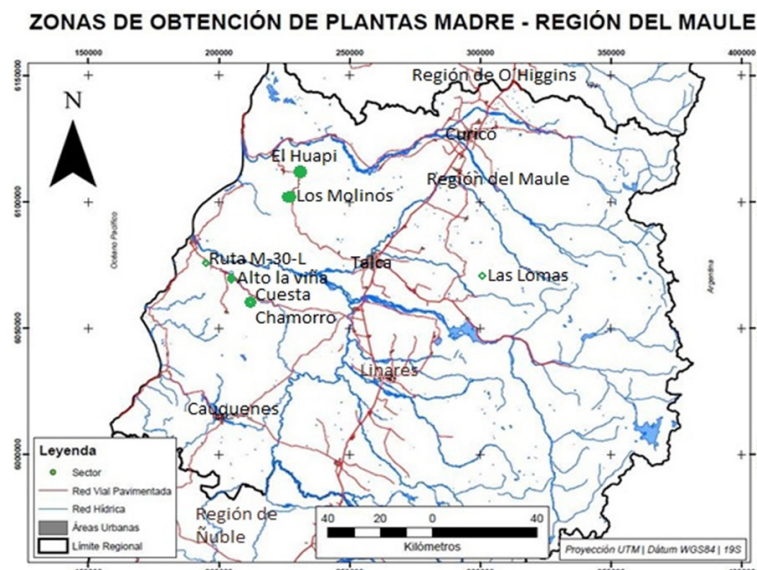


Figura 12: ubicación de los lugares donde se realizó la marcación de plantas de *Aristotelia chilensis*, para la recolección de material genético.

Cuadro 8: lugares donde se realizó la recolección del material vegetativo.

Sector	Comuna	Coordenadas	
		Lat.S	Long.O
Cuesta Chamorro	San Javier	35°33'50.52"	72° 9'36.41"
El Huapi	Curepto	35° 6'42.23"	71°57'11.04"
Los Molinos	Curepto	35°11'7.03"	71°59'38.83"
Alto La Viña	Constitución	35°27'59.22"S	72°15'8.22"O
Ruta L-30-M	Constitución	35°26'43.41"S	72°19'6.02"O
Las Lomas	San Clemente	35°29'20.49"S	71° 9'52.31"O

Luego, en el momento en el que se estaban realizando las visitas a los posibles propietarios, en el sector de Las Lomas Altas ubicado al Nor-orienté de la comuna de San Clemente, se encontró un individuo con excelentes características fenotípicas, el cual también se agregó a los anteriormente seleccionados.

La recolección del material vegetativo se realizó con al menos 2 visitas a cada individuo en cada sitio previamente marcado en verano, de los cuales se obtuvieron cerca de 500 estacas de unos 7 a 10 cm de largo. Estas fueron tratadas químicamente para evitar cualquier tipo de contaminación con agentes patógenos, para ser luego puestas en un sustrato de tierra de hojas, previa aplicación de enraizante en los esquejes.



Figura 13: recolección de estacas de maqui

4.8.1. Propagación de los individuos

Una vez definido el diseño de la plantación y teniendo clara la cantidad total de plantas que se necesitaban para cada unidad demostrativa, se buscaron viveros que ofrecieran el servicio de propagación y se llegó a acuerdo con un vivero en la comuna de Colbún, que desarrolló la propagación vegetativa a través de estacas de los diferentes individuos seleccionados previamente.

Una estaca se define como un fragmento de tallo con yemas (o esqueje) de consistencia leñosa que se separa de un árbol o de un arbusto y se introduce en el suelo o en un sustrato para que arraigue en él y forme una nueva planta. Las estacas, por consiguiente, son un medio para la propagación vegetativa o asexual de muchas variedades de especies arbóreas y arbustivas. El proceso de cortar la estaca y plantarla para su posterior enraizamiento se denomina estaquillado. Se trata de una clonación: la estaca es genéticamente idéntica a la planta madre.

Se optó por utilizar este tipo de propagación debido a la prontitud con la cual se necesitaba contar con las plantas y dada la ventaja que entrega el esqueje al obtener una planta genéticamente idéntica, (aunque no es necesariamente igual desde un punto de vista fenotípico), lo que no ocurre con las plantas provenientes de semillas.

Los esquejes se mantuvieron en invernaderos con camas calientes, tratamiento que permite un mejor y mayor enraizamiento. Así mismo, fueron diferenciadas por sitio en el cual fueron recolectadas, tal como lo indican las siguientes fotografías:



Figura 14: plantas propagadas en camas calientes de junio de 2016

4.8.2. Estado de las plantas de maqui

Como ya se señaló, la tarea de propagación la realizó un vivero de la comuna de Colbún. Es así como en la tabla siguiente se presentan las 19 procedencias y la cantidad de plantas obtenidas de cada una de ellas.

Cuadro 9: cantidad de plantas obtenidas a partir del material vegetal inicial.

Nº	Procedencia	Total
1	Aterciopelada (San Clemente)	4
2	Los Molinos (Curepto)	61
3	El huapi (macho) (Curepto)	14
4	El huapi 1 (Curepto)	79
5	El huapi 2 (Curepto)	81
6	F15 (Constitución)	281
7	Los Molinos F3 (Curepto)	56
8	Los Molinos (macho) (Curepto)	73
9	Cuesta Chamorro F3 (San Javier)	190
10	Cuesta Chamorro F2 (San Javier)	53
11	Cuesta Chomorro F1 (San Javier)	52
12	Cuesta Chamorro (macho) (San Javier)	52
13	El huapi 3 (Curepto)	50
14	Las Lomas (San Clemente)	87
15	Los Molinos F3 (Curepto)	146
16	Los Molinos F2 (Curepto)	98
17	Alto La Viña (macho) (Constitución)	177
18	Los Molinos F3 (Curepto)	7
19	Los Molinos F2 (Curepto)	42

En el mes de noviembre del año 2016, las plantas fueron identificadas por origen, de manera de que en cada uno de los sitios se plantasen individuos de cada una de las procedencias obtenidas; de esta manera sería posible advertir qué variedades de las plantas de maqui son más resistentes a las diversas condiciones edafoclimáticas a que se enfrentarían.



Figura 15: imágenes de las plantas propagadas en vivero noviembre 2016.

Las plantas fueron marcadas en vivero y fueron repartidas a cada uno de los propietarios para su cuidado, ya que el trato con el vivero duraba hasta mediados del mes de noviembre de 2016. Sin embargo, se tuvieron que dejar hasta el mes de diciembre para que estuvieran más desarrolladas, toda vez que había individuos muy pequeños y con escaso desarrollo.



Figura 16: imágenes de las plantas en los lugares donde se realizarían las plantaciones.

A raíz de los violentos y extensos incendios ocurridos durante los meses de enero y febrero del año 2017 en la región del Maule, varios beneficiarios del proyecto se vieron afectados por los siniestros, siendo evacuados de sus viviendas por varios días. Este hecho determinó que algunos de ellos pasaron más tiempo fuera de sus hogares, ya que no contaban con energía eléctrica. Pero este mismo aspecto definió un hecho determinante; no pudieron sacar agua desde sus pozos con sus bombas de extracción y por ello se hizo difícil la mantención adecuada de las plantas.

Bajo este escenario, varios propietarios perdieron parte o la totalidad de las plantas de maqui. En este sentido, fue necesario volver a reproducir plantas para reponer las faltantes. Para ello, se buscó plantas en las cercanías de los lugares desde donde se obtuvieron las originales, ya que fue imposible encontrar en los mismos sitios, dado que se quemaron producto del incendio forestal del verano del año 2017. Es por esto, que, de las 6 procedencias originales, 5 ya se encontraron calcinadas (Los Molinos, Cuesta Chamorro, Alto la Viña, Ruta L-30M y El Huapi). La única planta madre que se encontró en óptimas condiciones fue la ubicada en la zona de Las Lomas, comuna de San Clemente.



Figura 17: planta madre en Ruta L-30M (izquierda), sector Alto la Viña (centro) y sector Cuesta Chamorro (derecha), calcinadas por los incendios del año 2017.

Las plantas que sobrevivieron se encontraban en general en buenas condiciones, con aumento en su altura, alcanzando en algunos casos los 60 a 70 centímetros. Los propietarios les proporcionaron los cuidados necesarios de riego, dependiendo de la humedad que presentaba cada planta y en algunos casos realizaron podas radiculares para que la raíz no saliera de la bolsa que la contenía y finalmente, poda apical de manera de controlar la altura de las plantas.



Figura 18: estado de las plantas en sector Rincón de los Muñoces.



Figura 19: estado de las plantas en sector Colmenares.



Figura 20: estado de las plantas en el sector Ranchillo.



Figura 21: planta madre sector Rincón de los Muñoces (izquierda) y en el sector del Puente las Condes, Curepto (derecha).



Figura 22: planta madre en el sector Las Lomas, San Clemente (izquierda) y Estacas para enviar a vivero (derecha).

Estas estacas fueron enviadas a vivero en donde se obtuvieron plantas que fueron usadas para reemplazar las plantas perdidas por los incendios del año 2017.



Figura 23: plantas propagadas por estacas en vivero.

4.9. Plantación y sistema de riego

La plantación se realizó en casillas de 30 x 30 x 40 cm de profundidad, en las cuales se removió el suelo. Se agregó un mulch orgánico usando material vegetal encontrado en cada sitio, para mantener la humedad en el suelo, como se observa en la Figura 20.



Figura 24: planta de maqui establecida con protector plástico de fauna local.

Todas las plantas cuentan con protectores individuales de polipropileno para evitar que los roedores u otros factores las destruyan como se ve en la Figura 24. El diseño triangular del protector otorga estabilidad y resistencia frente a vientos y lluvias fuertes. Cuentan con tratamiento anti UV que aumenta la vida útil del protector, resguarda a la planta de la radiación solar e incluso acelera el desarrollo. Asimismo, actúan como invernadero y generan un microclima interno que disipa heladas y retiene humedad. Por otra parte, su material es 100% reciclable. Además, la plantación cuenta con un cierre perimetral compuesto de polines impregnados y reja de triple hebra.

En relación con el riego, se instaló un sistema de riego por goteo, con goteros autocompensados que liberan 2 litros de agua en 20 minutos, ubicados uno para cada planta. Cada planta recibe el aporte de un solo gotero.

5. Resultados del proyecto

Para la construcción de 6 de las 8 unidades piloto de los sistemas de captación de aguas lluvias con plantación de maqui, se utilizó geomembrana para el área de captación y tanques flexibles o flexitanq de 80 m³ como estanque acumulador. Esta configuración viene dada por los resultados alcanzados en el proyecto FIC Maule “Transferencia, Diseño y Construcción de Sistemas de Captación de Aguas Lluvias” ejecutado entre los años 2012 – 2015 por el Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental de la Universidad de Talca. A través del desarrollo de ese proyecto, se demostró que dicha configuración demostró ser la más efectiva en términos de movilización de materiales, de construcción y de calidad del agua almacenada. Las unidades que cuentan con dicha configuración son las siguientes: Rincón de los Muñoces (San Clemente), El trigal (San Javier), Ranchillo (San Javier), Nirivilo (San Javier), Macal (Constitución), Pantanillo (Curepto)

Respecto del uso de geomembrana, esta debió ser enterrada en canales de entre 30 a 40 centímetros para dar una adecuada forma a la zona y generar un correcto escurrimiento del agua lluvia hacia el estanque de acumulación. Las áreas de captación de cada una de las unidades bordean los 180 m², asegurando de esta forma la captura de 80 m³ anuales de agua lluvia. En las figuras 25 y 26 se muestran las zonas de captación de Rincón de los Muñoces (San Clemente) y Macal (Constitución).



Figura 25: área de captación de geomembrana, sector Rincón de los Muñoces, San Clemente.



Figura 26: área de captación sector Macal, Constitución.

Para el almacenamiento de las aguas capturadas, fueron usados estanques flexibles de 80 m³. El uso de este tipo de estanque estuvo dado por la experiencia adquirida previamente en el desarrollo del proyecto FIC Maule Código BIP 30.388.074-0, donde la configuración que entregó mejores resultados fue el uso de geomembrana y estanque flexible. Para ello, fue necesario licitar la compra de 6 de estos estanques, los que fueron adjudicados a la empresa Tarpulin, por ser el proveedor que presentaba el precio más conveniente, sin sacrificar la calidad del producto.

Para la instalación de los estanques, se tuvo que realizar una terraza sin pendiente. Para ello se utilizó maquinaria que fuera capaz de limpiar y emparejar el terreno. Posteriormente, a cada uno de los sitios donde se construyó el SCALL, se le dotó de un cerco que impide que entren animales a la zona de captura de agua y a la zona donde se instaló el estanque. Esto como medida de seguridad y para impedir que se destruya la obra. En las figuras 27 y 28 se muestran los estanques instalados en los sectores de Rincón de los Muñoces en San Clemente y Ranchillo de la comuna de San Javier.



Figura 27: estanque flexible del sector Rincón de los Muñoces, San Clemente.



Figura 28: estanque flexible del sector Ranchillo, San Javier.

Para los dos sistemas restantes, ubicados en los sectores de Colmenares (Empedrado) y Carrizalillo (San Clemente), se utilizaron SCALL contruidos previamente por INDAP Región del Maule los que captan el agua mediante techumbres de casa y galpón de los propietarios. Esta agua es conducida, en ambos casos, a estanques hechos por una excavación cubierta con geomembrana y techados por zinc. Estos sistemas fueron diseñados para almacenar 100 m³.

Para estos dos casos, los sistemas llevan funcionando como mínimo 3 años y su principal uso ha sido para el riego de huertas familiares. Ambos sistemas son capaces de almacenar 100 m³ de agua lluvia. Una característica adicional de estos mecanismos es que el techo del estanque también es usado como zona de captura de agua, ya que, por medio de canaletas, el agua que cae en esta zona es conducida hacia el interior. En las figuras 29 y 30 se muestran estas obras.



Figura 29: sistema de captación de aguas lluvias instalado por INDAP y usado en el proyecto. Sector Carrizalillo, San Clemente.



Figura 30: sistema de captación de aguas lluvias instalado por INDAP y usado en el proyecto. Sector Colmenares, Empedrado.

En relación con la plantación, estas se realizaron a continuación de la zona en donde se instaló el estanque acumulador de aguas lluvias. En general, se presentó el problema que en la zona donde se realizó la plantación, se encontró abundante material rocoso, por lo que fue necesario usar retroexcavadora en algunos sitios. Posteriormente se instaló el sistema de riego y el cierre perimetral. Del total de plantas de cada sitio (200 plantas), 1/3 de ellas, es decir, 65 plantas se encuentran sin riego. Esto con el fin de poder comparar las diferencias en crecimiento y producción de frutos entre las plantas que presentan riego y las que carecen del mismo.



Figura 31: plantación de maqui, sector El Trigal (San Javier).



Figura 32: plantación de maqui, Sector Rincón de los Muñoces (San Clemente).



Figura 33: plantación de maqui, sector Carrizalillo (San Clemente).



Figura 34: plantación de maqui, sector Macal (Constitución).



Figura 35: sistema de riego, sector Nirivilo (San Javier).

En cuanto a la transferencia de resultados, el proyecto contempló la realización de 4 cursos de capacitación orientados a fortalecer las capacidades de los funcionarios de las instituciones involucradas, tales como INDAP y Prodesal de las comunas donde se ubican las unidades demostrativas. En este sentido, las capacitaciones fueron orientadas al diseño y construcción de sistemas de captación y acumulación de aguas lluvias y al establecimiento de plantaciones de maqui. Los cursos fueron dictados en 4 jornadas de trabajo, las que fueron llevadas a cabo en la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad de Talca. A los cursos se convocó a un total de 45 personas provenientes de las comunas de Rauco, Curicó, Río Claro, San Clemente y San Javier pertenecientes a los equipos técnicos de Prodesal e INDAP, junto con agricultores de la zona. Para complementar estas jornadas técnicas, se realizaron días de campo de manera de observar en terreno lo expuesto de forma teórica. Los cursos estuvieron a cargo del Dr. Roberto Pizarro, la Dra. Úrsula Doll y el Ing. Carlos Vallejos.



Figura 36: curso dictado por el Dr. Roberto Pizarro.



Figura 37: curso dictado por la Dra. Úrsula Doll.



Figura 38: curso dictado por el Ing. Carlos Vallejos.



Figura 39: día de campo, sector El Trigal (San Javier)



Figura 40: día de campo, sector Rincón de los Muñoces (San Clemente).

En último término, se llevó a cabo el seminario “Uso eficiente de aguas lluvias para el establecimiento de plantaciones de maqui”, que fue una de las actividades de finalización del proyecto. El evento se desarrolló en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad de Talca y contó con la participación de destacados investigadores nacionales e internacionales.

La primera ponencia estuvo a cargo de la Dra. Paulina Fernández, académica de la Pontificia Universidad Católica de Chile. La Dra. Fernández expuso sobre las principales bondades del fruto del maqui, el cual presenta una cantidad importante de antioxidantes, además de un sinnúmero de productos derivados de él. El evento continuó con la presentación de la Dra. Ursula Doll, académica de la Universidad de Talca e investigadora del proyecto. La Dra. Doll expuso sobre las características de la planta, la forma de reproducir la especie y comentó detalles del manejo de la planta al ser usada como especie de plantaciones artificiales.

Posteriormente se dio paso a las hidrotecnias. Este bloque comenzó con la exposición del Ingeniero Forestal Carlos Rojas, experto a cargo de la construcción de las obras, quien mostró a los asistentes el proceso de construcción y las dificultades encontradas en algunos sitios. Sin embargo y pese a dichos problemas, el Ing., Rojas recomendó la instalación de este tipo de obras en una región como la del Maule, donde existen varias zonas con problemas de escasez hídrica y donde el maqui puede ser una importante oportunidad para generar ingresos adicionales a pequeños propietarios.

Más tarde expuso el Dr. Roberto Pizarro, director del proyecto, quien mostró a los asistentes una variación en los sistemas de captación de aguas lluvias, ya que son obras que no solo se utilizan en zonas rurales. De esta forma, se dieron a conocer las obras de captación de aguas lluvias que es posible realizar en zonas urbanas, y que tienen directa relación con la disminución de los costos asociados a la mantención de áreas verdes. Así, es posible utilizar el agua de escorrentía que se genera en las zonas urbanas, conducirlas hacia áreas verdes y almacenarla en estanques para la época más desfavorable. Otro de los usos que presentó, es el SCALL para el ataque de incendios forestales, en donde se debe hacer un cuidadoso diseño de la obra y ubicarla estratégicamente, de manera que permita optimizar el tiempo de ataque de un helicóptero equipado con helibalde.

Para finalizar el seminario, expuso el Dr. Christoph Lehmann, experto suizo en desastres naturales ligados al agua. El Dr. Lehmann resaltó que la carencia de una adecuada planificación territorial es la responsable en gran parte de los impactos causados por los desastres naturales, ya que lo normal es que las ciudades crezcan alrededor de los cursos de agua, afectando las redes naturales de drenaje. Y, por otra parte, agregó que existe una dificultad natural de las personas para planificar en un largo plazo, donde es importante la pérdida de la memoria histórica.

Al seminario asistieron cerca de 40 personas, provenientes de instituciones como INDAP, Prodesal, Aguas Nuevo Sur, consultores de ingeniería, alumnos de las carreras de Ingeniería Forestal y Agronomía de la Universidad de Talca, y agricultores de las comunas de San Clemente, San Javier y Río Claro, quienes pudieron escuchar a los diferentes expositores e intercambiar opiniones con ellos.



Figura 41: vista general de asistentes al seminario.



Figura 42: exposición Dra. Paulina Fernández.



Figura 43: exposición Dra. Úrsula Doll.



Figura 44: exposición Ing. Carlos Rojas.



Figura 45: exposición Dr. Roberto Pizarro.



Figura 46: exposición Dr. Christoph Lehmann.

6. Conclusiones del proyecto

En la construcción de las unidades de los sistemas de captación de aguas lluvias, se utilizaron geomembranas para el área de captación y estanques flexibles para la acumulación del agua. La elección de estos materiales se basó en los resultados del proyecto FIC Maule “Transferencia Diseño y Construcción de Sistemas de Captación de Aguas Lluvias” desarrollado por el Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental de la Universidad de Talca y ello tiene que ver básicamente con que son más fáciles de trabajar, reparar y transportar hacia los diferentes sitios. Otra situación que hizo escoger estos materiales fue que, al utilizar, por ejemplo, hormigón armado, la construcción de la obra se encarece y se requiere de constantes mantenciones futuras.

En relación con el diseño hidrológico de los SCALL, definido por la precipitación de diseño y la definición del área de captación, este resultó ser eficiente ya que se consiguió que los estanques de 80.000 litros tuvieran el agua suficiente para el riego de las plantaciones en verano. Lo anterior permite recomendar la metodología empleada de captación de aguas lluvias para su implementación en cualquier territorio de la Región del Maule.

Para el área de captación, la utilización de geomembrana resultó ser eficiente desde el punto de vista constructivo y desde el punto de vista de la captación y conducción de agua. Lo primero se vio ratificado porque fue factible encontrar personal para el sellado e instalación de la geomembrana en una ladera; lo segundo se confirmó porque en lluvias pequeñas, como las primeras lluvias anuales, fue posible captar volúmenes pluviales que llenaron los hidroacumuladores a un tercio de su capacidad.

La innovación que se realizó en este proyecto tiene relación a la instalación de la geomembrana. Para ello se realizó la construcción de un camellón de tierra y una canaleta para, en primer lugar, levantar el nivel de la geomembrana desde el piso y, en segundo lugar, empotrar la geomembrana a la ladera, para posteriormente cubrirla con tierra. En otros SCALL construidos con anterioridad en la región, la elevación del nivel de la geomembrana se había hecho con polines de madera que eran cubiertos por la geomembrana, lo que involucra mayores costos. La innovación que se comenta permite reducir los costos y asegurar una conducción eficiente del agua hacia el estanque de almacenamiento.

En términos del depósito de almacenamiento utilizado, la elección de los estanques flexibles de PVC fue altamente útil, dado que en un primer momento su traslado se puede realizar a un muy bajo costo, comparado con estanques armados, como, por ejemplo, aquellos de fibra de vidrio, en los cuales se requiere de una grúa para su instalación y de un radier de tamaño importante que lo soporte. A esto se suma que el montaje del estanque flexible es técnicamente fácil de realizar, ya que solo basta con extenderlo adecuadamente sobre una superficie sin pendiente y sin piedras, para luego conectar las mangueras. Por otro lado, este tipo de cisternas conserva de muy buena forma el agua, dado que son selladas y no permiten la entrada de luz y aire, lo que impide el desarrollo de agentes patógenos. Una interrogante que surgió tenía relación con la potencial subida de temperatura del agua al interior de los estanques por efecto de la insolación; sin embargo, se pudo verificar que dado el gran volumen de agua que se almacena en los depósitos (80.000 litros) y a la posición de la salida de agua, que está en la parte más baja, no se advirtieron incrementos de la temperatura del agua. Este hecho significa que es posible regar cualquier plantación, dado que la temperatura es la adecuada para realizar esa tarea. Por lo anterior, se valida la opción del hidroacumulador de PVC o tanque flexible, como una alternativa eficiente para la acumulación de aguas lluvias.

Ahora, respecto del establecimiento de las plantaciones de maqui, en todos los sitios seleccionados se advirtió que fue necesario reponer alrededor del 20% de las plantas por mortalidad. Esto se debió principalmente a las condiciones hídricas del suelo al momento de la plantación; por ende, se recomienda que, en futuras plantaciones, se otorgue un riego a la plantación al momento de su instalación.

Después de transcurrida la primera temporada de crecimiento, se ha observado un aumento en la cantidad de ramas y hojas, e incluso en el desarrollo de flores y frutos en las plantas más grandes de cada sitio. Esto indicaría que la infraestructura asociada a las plantaciones, como el cierre perimetral, los protectores individuales y el sistema de riego, han cumplido sus objetivos.

Finalmente, otro resultado de gran importancia para el proyecto corresponde a haber logrado mantener motivados e involucrados a los propietarios y beneficiarios, dado que ahora ellos son los responsables de mantener en funcionamiento del SCALL y la plantación. Así, se tiene la confianza en el compromiso que cada propietario demostró durante la ejecución del proyecto y en el trabajo que cada uno de ellos hará para obtener los mejores productos de esta experiencia.

7. Prospectivas del maqui

7.1. Introducción

El maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz), de la familia Elaeocarpaceae, es un árbol endémico de Chile y Argentina cuyos frutos se han hecho mundialmente famosos por su alto contenido en antioxidantes.

Con una amplia distribución geográfica desde la Región de Coquimbo hasta la Región de Aysén, la especie es parte de numerosos ecosistemas en Chile, en un amplio rango de condiciones climáticas y de suelos. Desde su uso medicinal en la etnobotánica mapuche hasta su posición actual como súper fruto, ha recorrido un largo y lento camino de reconocimiento.

La investigación de los últimos años expresada en artículos científicos relativos a maqui ha aumentado en más de seis veces, entre las publicaciones generadas el año 2000 y las publicadas el año 2018. Este incremento muestra una tendencia creciente y una interesante reconversión desde publicaciones principalmente chilenas hacia el año 2000, a un gran porcentaje de investigaciones provenientes de instituciones extranjeras en los últimos años; estas provienen de países tales como Canadá, Estados Unidos, Alemania, Japón, China, Argentina y España, entre otros.

Las áreas de investigación en los últimos años se han concentrado fuertemente en temas relativos a la composición química del fruto y sus potenciales usos tanto en medicina, como en cosmética, además de su procesamiento y uso como alimento. Por otra parte, las investigaciones silviculturales para seleccionar material genético de alta calidad, desarrollar protocolos de propagación y de cultivo, o mejorar las prácticas silvícolas y de cosecha en formaciones naturales, se han ido tomando la investigación nacional.

7.2. Antecedentes de la especie

El maqui (*Aristotelia chilensis*) pertenece a un género que comprende cinco especies distribuidas en regiones templadas del hemisferio sur, específicamente en Australia, Nueva Zelanda, Chile y Argentina (Coode, 1985). Dentro del género, el maqui se distribuye naturalmente sólo en Chile y Argentina. En Chile se encuentra desde la Provincia de Limarí (30°30'S; 71°00'W) hasta Aysén (44°55'S; 73°35'W), alcanzando los 2500 msnm (Donoso 2006). Se desarrolla en asociación con diversos tipos forestales, incluyendo esclerófilo, roble-hualo, palma chilena, ciprés de la cordillera y más al sur con el bosque siempreverde (Donoso 2006). A partir del Inventario Forestal Nacional, Salinas y Parra (2012) indican que en Chile existen 170.000 ha de formaciones más o menos densas de maqui, que podrían ser utilizadas potencialmente para la producción de frutos en rodales naturales.

En Argentina la especie se distribuye en forma natural en los bosques andino-patagónicos en las Provincias de Mendoza, Neuquén, Río Negro y Chubut (Coode, 1985; Chebez, 1999; Alonso, 2012). Es observado comúnmente en Parques Nacionales tales como el Lanín, Nahuel Huapi y Los Alerces.

Las mejores condiciones para su crecimiento corresponden a áreas húmedas con altos niveles de materia orgánica en el suelo. Sin embargo, es posible también encontrarlo creciendo en zonas degradadas, bordes de bosques, zonas de pendiente y suelos delgados, y en zonas afectadas por incendios o en suelos sobre-explotados. Debido a esto es considerada una especie pionera, capaz de invadir rápidamente áreas con escasa vegetación, formando muchas veces comunidades monoespecíficas llamadas “macales” (Rodríguez *et al.* 1983).

El consumo de sus frutos por aves (Martin-Albarracin *et al.*, 2017) ha contribuido a la dispersión de sus semillas incluso dentro de plantaciones productivas forestales (Ramírez *et al.*, 1984; Frank y Finckh, 1997). Lamentablemente, puede convertirse en especie invasiva en determinados ambientes, como por ejemplo en el Archipiélago de Juan Fernández (Vargas *et al.* 2013).

7.3. Propiedades químicas del fruto de maqui

El fruto de maqui presenta características químicas que lo hacen muy atractivo para los mercados internacionales. La principal característica de interés es su alto contenido de polifenoles y la gran variedad de antocianinas y flavonoides en sus frutos y hojas, que le otorgan una gran actividad antioxidante (Guerrero *et al.*, 2010) (Figura 47a, b y c).

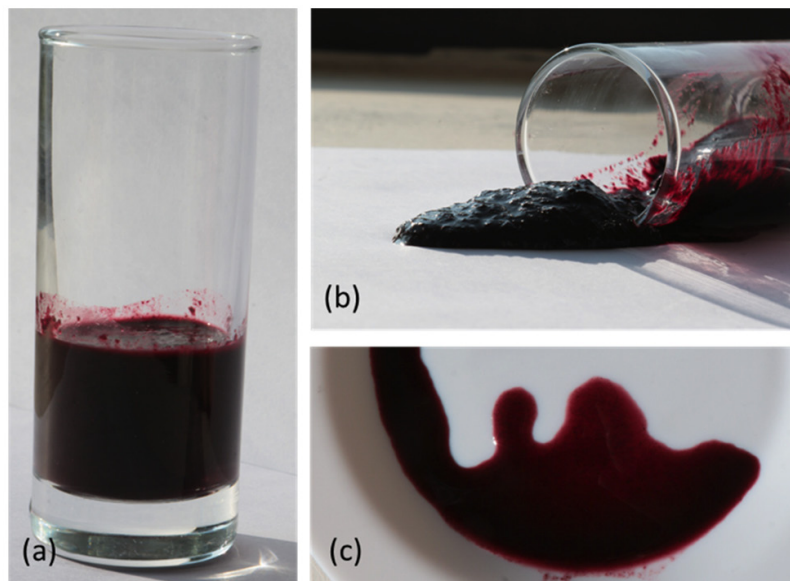


Figura 47: (a, b) pulpa de maqui; (c) jugo de maqui mostrando su intenso color púrpura.

Además, el fruto de maqui contiene alcaloides y taninos (Montes and Wilkomirsky, 1987; Echeverría and Niemeyer, 2012).

Lo que ha llamado particularmente la atención sobre el fruto de la especie son sus altos niveles de ácidos fenólicos, proantocianidinas y antocianinas, entre otros varios flavonoides (Ruiz *et al.*, 2010), superando con sus capacidades antioxidantes a muchos otros berries (Miranda-Rottmann *et al.*, 2002; Céspedes *et al.*, 2008; Céspedes *et al.*, 2010a). Junto con el calafate (*Berberis mycophylla*), presenta la mayor concentración de fenoles y actividad antioxidante de todos los frutos de Sudamérica (Speisky *et al.*, 2012), así como uno de los más altos niveles de antocianinas (Schreckinger *et al.*, 2010a).

El maqui contiene más de 20 compuestos fenólicos, de los cuales 8 son compuestos de antocianinas, así como ácidos fenólicos y flavonoides (10 compuestos) (Céspedes *et al.*, 2010a; Genskowsky *et al.*, 2016).

De acuerdo con Fredes *et al.* (2014a y b), el fruto de maqui contiene más de 12 g equivalente de ácido gálico por kilo de fruta fresca (g GAE kg⁻¹ fruta fresca), muy por sobre el contenido de fenoles de otras especies cultivadas como frutillas (*Fragaria x ananassa*), arándanos (*Vaccinium corymbosum*) y moras (*Rubus ulmifolius*). Por otra parte, Genskowsky *et al.* (2016) reportan valores de 49.74 g GAE kg⁻¹ al evaluar Contenido Total de Fenoles en frutos de maqui, con valores más altos que otros autores. La Fundación para la Innovación Agraria (2009) ha reportado 21 g equivalentes de ácido gálico kg⁻¹ de fenoles totales, 27.6 g equivalentes de procianamidas kg⁻¹ de taninos totales, y 21.7 g de malvidinas 3-glu equivalentes kg⁻¹ total de antocianinas, muy por sobre los valores observados en arándanos.

Un aspecto interesante es la variabilidad que se observa en términos de contenido de polifenoles, dependiendo de la procedencia, genotipo, ambiente y forma de almacenamiento (Fredes *et al.* 2012), observándose diferencias de hasta 10 g GAE kg⁻¹ entre individuos de zonas más mediterráneas y en relación con individuos del sur de Chile (Fredes *et al.* 2014).

El fruto de maqui contiene además las más altas concentraciones de antocianinas reportadas en berries en Sudamérica (Schreckinger *et al.*, 2010a), entre las cuales destacan las delfinidinas (8 diferentes), con capacidad para regular la glucosa de la sangre (Céspedes *et al.* 2010b; Rojo *et al.*, 2012).

Su fama de especie con una extraordinaria capacidad antioxidante (expresada en ORAC: Oxygen Radical Absorbance Capacity), es decir, capacidad de prevenir el daño oxidativo sobre el ADN, lípidos y otras moléculas (García *et al.* 2001), se debe a que presenta 19850 $\mu\text{mol ET } 100 \text{ g}^{-1}$ fruto fresco (ET, equivalentes Trolox), sólo superado por el calafate (*Berberis microphylla*) con valores de 25662 $\mu\text{mol ET } 100 \text{ g}^{-1}$ fruto fresco. En cambio, el arándano presenta sólo 5481 $\mu\text{mol ET } 100 \text{ g}^{-1}$ fruto fresco, un poco más de un cuarto del valor del maqui. Esto le ha valido la fama de ser el fruto con la mayor capacidad antioxidante en Sudamérica (Gironés-Vilaplana *et al.*, 2014a).

7.4. Usos

7.4.1. Productos comestibles

El maqui ha sido consumido tradicionalmente por los habitantes originarios en Chile, existiendo evidencias de su uso como bebida fermentada ya entre el 1000 a 1300 DC (Godoy-Aguirre, 2018). Su ingesta como fruto silvestre es parte de la cultura local.

En los últimos años, la creciente demanda por productos ricos en antioxidantes y la búsqueda de frutos exóticos o nuevas alternativas alimenticias puso en relevancia mundial al maqui, aumentando considerablemente su demanda.

Por otra parte, su intenso tinte azul oscuro ha sido usado desde tiempos inmemoriales como colorante de jugos de frutas y bebidas alcohólicas (Fernández 1998, Escribano-Bailón *et al.* 2006). Y el extracto de su pigmento se puede obtener a partir de técnicas artesanales de arrastre por vapor que permiten mantener sus propiedades antioxidantes (Araneda *et al.*, 2014).

Actualmente el maqui está siendo utilizado en diferentes formatos (Céspedes *et al.*, 2010b, Alonso 2012), a saber, líquido, en polvo o en cápsulas:

Formato líquido:

- Jugos a base de maqui, a menudo mezclado con otras frutas tales como el açaí, Granada, rosa mosqueta, naranjas, arándanos y cranberries, entre otros,
- concentrado de jugo de maqui,
- bebida isotónica,
- infusión en base a fruto deshidratado,
- polvo liofilizado que conserva el sabor, color, olor y propiedades nutricionales, y que es utilizado entre otras
- cosas para reconstituir jugos,
- licor de maqui fermentado (sin pérdida de la actividad antioxidante del fruto).

Formato en polvo:

- Como polvo liofilizado para su uso en alimentación

Formato en cápsulas:

- Como suplemento alimenticio y regulador de glucosa

De acuerdo con Genskowsky *et al.* (2016), el maqui tiene un gran potencial no solo directamente como alimento, sino que también como ingrediente de otros alimentos, actuando como bio-preservante, dadas sus altas cantidades de compuestos polifenólicos y sus prometedoras capacidades antibacterianas.

Se deben tomar precauciones en su procesamiento, ya que, según diversos investigadores (Brauch *et al.* 2015; Brauch *et al.* 2016), el secado del fruto sobre 40°C, o la producción de jugos, puede disminuir sustancialmente los componentes bioactivos y reducir la capacidad antioxidante del producto (en incluso más del 24%), por lo que se recomienda el procesamiento bajo condiciones frías y oscuras.

7.4.2. Usos en medicina humana

En el ámbito medicinal, el maqui ha sido usado desde tiempos inmemoriales en la medicina tradicional de los pueblos originarios de Chile. En medicina tradicional, se usa como relajante sobre la musculatura lisa, anti-inflamatorio, antiespasmódico, cicatrizante, antidiarreico, astringente, para calmar dolencias en la faringe y la inflamación de amígdalas, el alivio de úlceras bucales, contra la fiebre y también contra la disentería (Fernández 1998; Molares y Ladio 2009).

Actualmente su potencial medicinal ha despertado fuertemente el interés de investigadores nacionales e internacionales, por lo cual está siendo investigado para una amplia gama de usos. A continuación, se presentan algunas de las líneas de investigación en el uso de compuestos activos del fruto de maqui en medicina humana, o de sus efectos medicinales (Cuadro 10).

Cuadro 10: propiedades de maqui en medicina humana (Elaboración propia).

Propiedades o usos bajo investigación de compuestos activos del fruto	Referencia
Actividad cardioprotectora (compuestos fenólicos)	Céspedes <i>et al.</i> 2008
Prevenir disfunción endotelial (flavonoides)	Miranda-Rottmann <i>et al.</i> 2002; Fuentes <i>et al.</i> 2015
Enfermedades cardíacas	Miranda-Rottmann <i>et al.</i> 2002; Fuentes <i>et al.</i> 2015
Inhibir acumulación de lípidos	Schreckinger <i>et al.</i> , 2010b; Céspedes <i>et al.</i> , 2010b
Anti-inflamatorio	Schreckinger <i>et al.</i> , 2010b; Céspedes <i>et al.</i> , 2010b
Poder fitofarmacéutico en contra del Alzheimer	Gironés-Vilaplana <i>et al.</i> , 2012
Demencia senil	Gironés-Vilaplana <i>et al.</i> , 2012
Enfermedad de Parkinson	Gironés-Vilaplana <i>et al.</i> , 2012
Inhibir enzimas relacionadas con el metabolismo de carbohidratos	Rubilar <i>et al.</i> 2011
Reducir problemas de obesidad	Reyes-Farías <i>et al.</i> , 2014
Efecto terapéutico sobre desórdenes inflamatorios	Céspedes <i>et al.</i> 2017
Podría ser usado como agente anti estrés oxidativo	Céspedes <i>et al.</i> 2017
Podría aumentar la resistencia a problemas respiratorios y disminuir el estrés oxidativo en pacientes fumadores	Vergara <i>et al.</i> 2015
Capacidad para regular glucosa en reacciones metabólicas a nivel del hígado y del sistema muscular (delfinidinas)	Jara <i>et al.</i> , 2012; Rojo <i>et al.</i> , 2012
Prevenir enfermedades a la retina reduciendo muerte de células de la retina por daño por luz (delfinidinas)	Tanaka <i>et al.</i> 2013
Para la recuperación de la producción de lágrimas	Nakamura <i>et al.</i> 2014
Reducir el riesgo de arterioesclerosis (delfinidinas)	Watson and Schönlau, 2015
Neuroprotector (delfinidinas)	Watson and Schönlau, 2015
Fotoprotector contra enfermedades de la piel (delfinidinas)	Watson and Schönlau, 2015
Propiedades antidiabéticas	Schrenking <i>et al.</i> 2012

No sólo el fruto ha sido usado en medicina humana. Las hojas tradicionalmente eran usadas para combatir problemas a la garganta, para curación de heridas y contra tumores, con propiedades analgésicas, anti-inflamatorias, antimicrobianas y antioxidantes (Farías 2009). Hoy en día diversas propiedades están siendo investigadas. Sin embargo, existe preocupación por los potenciales efectos secundarios negativos de su uso, como el efecto nocivo de los flavonoides de las hojas sobre los eritrocitos humanos (Suwalsky *et al.*, 2008).

Al igual que el fruto, las hojas de plantas creciendo bajo fuerte estrés hídrico presentan mayor concentración de antocianinas (González-Villagra *et al.*, 2018). Esto corrobora el potencial productivo en el área medicinal de formaciones naturales localizadas en zonas mediterráneas bajo mayor estrés hídrico, que los macales más productivos del sur de Chile.

En el Cuadro 11 se presenta un compendio de los usos medicinales de las hojas, que han sido estudiados en los últimos años.

Cuadro 11: usos de las hojas en medicina humana.

Propiedades o usos bajo investigación de compuestos activos de las hojas (Elaboración propia)	Referencia
Como antioxidante natural	Avello <i>et al.</i> , 2009
Agente antimicrobiano (con efecto inhibidor sobre <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Enterobacter aerogenes</i> , y <i>Candida albicans</i>)	Avello <i>et al.</i> , 2009
Agente antibacteriano contra <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Bacillus subtilis</i>	Mølgaard, 2011
Propiedades analgésicas de extractos de hoja de hexano (EH, 3.5%p/v), dichlorometano (EDCM, 4.5%p/v) y extractos de metanol (EM, 2.7%p/v)	Farías (2009)
Potencial inhibidor de acetilcolinesterasa, butircolinesterasa y tirosinasa, con potencial como tratamiento fitoterapéutico contra el deterioro colinérgico, evitando así los efectos colaterales de las drogas sintéticas	Céspedes <i>et al.</i> 2017

7.4.3. Productos cosméticos

Sus propiedades antioxidantes también han llamado la atención del mundo de la cosmética. Así es como se le atribuyen propiedades de recuperación de tejidos, ralentizando el envejecimiento de la piel y consiguiendo una significativa mejora en la firmeza, elasticidad y grosor epitelial, dada su alta concentración de delfinidinas (Scapagnini *et al.* 2016).

Esto ha derivado en una creciente cantidad de productos de belleza en el mercado nacional e internacional que indican contener extractos de maqui. Así es posible encontrar cremas de mano, rostro y cuerpo, serum facial, champú, gel, aceites cosméticos, protectores labiales, tratamientos de barro con extractos de maqui, máscaras de belleza y jabones, entre otros. En muchas de sus presentaciones, maqui viene combinado con extracto de açai, rosa mosqueta, vitamina C y colágeno, entre otros, combinando de esta manera las propiedades de distintos compuestos.

En un análisis del avisaje de productos en internet, se puede constatar que el maqui en polvo, el extracto de maqui o el maqui en formulaciones cosméticas, es ofrecido por empresas en Chile, Alemania, Inglaterra, Corea, Holanda, Francia y Japón, entre otros países.

7.5. Mercado

El mercado actual del maqui en Chile comprende industrias locales donde se procesa maqui para jugo, maqui en polvo o en otros formatos; en tanto el mercado internacional, al cual el maqui es exportado, presenta como formatos a granel congelado, deshidratado, en polvo o como jugo concentrado (Salinas *et al.*, 2012).

Dentro de los principales mercados internacionales de maqui en la actualidad se encuentran Japón, Corea del Sur, Italia, Estados Unidos de Norteamérica, Alemania, Australia, Dinamarca, Francia, Brasil, Argentina y Suiza, entre otros (ODEPA, 2015).

Las exportaciones han ido aumentando sostenidamente desde la primera exportación de 10 toneladas realizada el año 1996. El año 2016 se exportaron 433 toneladas por 10.000 USD, principalmente a Japón, Corea del Sur, Italia, Estados Unidos de Norteamérica y Alemania (ProChile 2017). Permanentemente aparecen nuevos productos basados en maqui en el mercado internacional y ello correlacionado con el permanente aumento de las exportaciones chilenas (ODEPA, 2017).

El maqui ha sido catalogado como un alimento seguro para el consumo humano en Estados Unidos de Norteamérica, lo que ha aumentado su demanda no sólo en este país, sino que en otros a partir de esta información. Se pronostica, por lo tanto, un mercado cada vez más interesante para la especie. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la especie es objeto de interés por parte de productores extranjeros, y ya se observa una creciente oferta de plantas en viveros de distintos países (en base a revisión de diferentes páginas en internet).

Esto implica que Chile debe estar atento a aprovechar sus ventajas comparativas, por la vía de mejorar el manejo sustentable de sus formaciones naturales, y, por otra parte, continuar aprovechando la variabilidad genética de la especie para seleccionar de las distintas formaciones naturales, los mejores genotipos para su uso silvicultural, tal como ya se está haciendo y este proyecto es un ejemplo de ello.

8. Prospectiva de los sistemas de captación de aguas lluvias

8.1. Sistemas de captación de aguas lluvias para el combate de incendios.

De acuerdo con Fernández *et al.*, 2010, los incendios forestales representan una causa significativa de pérdida del patrimonio nacional. Anualmente se queman entre 20.000 y 85.000 hectáreas de vegetación, afectando principalmente vegetación natural, perdiéndose tanto su biodiversidad como los bienes y servicios ecosistémicos y sociales que presta esa vegetación. En este sentido, Conaf (2016) define a un incendio forestal como “un fuego que, cualquiera sea su origen y con peligro o daño a las personas, la propiedad o el ambiente, se propaga sin control en terrenos rurales, a través de vegetación leñosa, arbustiva o herbácea, viva o muerta”. Es decir, es un fuego injustificado y descontrolado en el cual los combustibles son en su mayoría vegetales y que, en su propagación, puede destruir asentamientos humanos y puede incluso cobrar vidas. Estos daños económicos, ambientales y sociales, provienen de los 5.000 a 6.000 incendios forestales anuales que se inician en Chile cuando las condiciones ambientales, como la carencia de lluvia y sequías prolongadas, la mayor temperatura del aire, la baja humedad atmosférica y la presencia de viento, condiciones que se dan desde la primavera de un año hasta el otoño del año siguiente, favorecen la ignición de la vegetación combustible a causa de una fuente de calor aportada por el ser humano. Así, en el último quinquenio en la Región del Maule se han registrado en promedio 533 incendios forestales anuales, los que han afectado una superficie aproximada de 1.688 hectáreas cada temporada. Sin embargo, lo ocurrido durante los meses estivales del año 2017, permitió constatar dramáticamente en terreno, que estas cifras podían más que duplicarse, llegando a números impensados hace algunos años por el costo humano, económico y ambiental que se produjo. Así, la temporada 2016-2017 arroja a nivel nacional un total de 606.259 ha, de las cuales 287.806 corresponden a la región del Maule, lo que señala el altísimo grado de impacto que puede y podría seguir recibiendo esta región en estas materias (Figura 48).

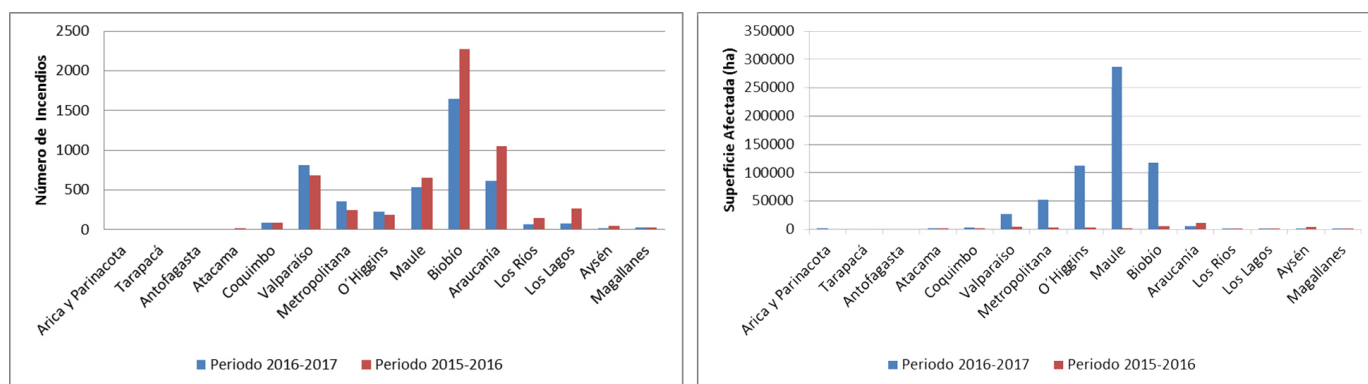


Figura 48: cantidad de incendios por Región (izquierda) y superficie afectada (derecha) para los periodos 2015-2016 y 2016-2017.

Para el control de un incendio forestal, el aspecto fundamental es el despacho (Granada, 2004), que se refiere a la decisión sobre la asignación de recursos que una central de operaciones debe tomar para el control de un incendio detectado. Por tanto, desde que se reporta un nuevo foco hasta que se emite la orden de despacho, deben transcurrir escasos minutos, porque el tiempo de traslado y ataque de las brigadas y otros medios pasa a ser de vital importancia en la efectividad de la extinción. Asimismo, para el control del incendio, Fernández *et al.*, 2006, señalan que el comportamiento del fuego (intensidad y la velocidad de propagación), las condiciones meteorológicas, las facilidades de acceso, los tipos de suelo y de combustibles, la disponibilidad y el rendimiento de los recursos, y el tiempo necesario para concretar las tareas, son los factores que deben ser tenidos en cuenta al momento de seleccionar la estrategia y táctica. Los mismos autores señalan que se reconocen dos sistemas de control: el método directo y el método indirecto.

El Método directo consiste en operar sobre el borde de llamas (perímetro), por lo que se aplica cuando los incendios, o parte de ellos presentan poco desprendimiento calórico y baja velocidad de propagación. Este método es usado casi siempre en las etapas del ataque inicial, cuando los fuegos son incipientes, y aún no han alcanzado gran intensidad. En este método se utilizan normalmente herramientas manuales, equipos de agua (motobombas) y medios aéreos para aplicación de agua. En el Método indirecto las operaciones se llevan a cabo a cierta distancia del borde del incendio, donde los trabajos consisten en construir líneas de fuego con la finalidad de detener o servir de apoyo para contener el avance y lograr su posterior control y extinción. Generalmente este método es aplicado en incendios rápidos, o los que desprenden abundantes focos secundarios y alta radiación calórica como los fuegos de copa, impidiendo la proximidad de personal y equipos. También cuando las condiciones de acceso a la línea de fuego son dificultosas o requieren un gran esfuerzo.

Por otra parte, León (2012) señala que una de las limitantes para el uso de helicópteros en el combate directo de un incendio, es la disponibilidad de sitios para abastecerse de agua en sectores cercanos a los incendios, lo que en algunos casos se traduce en varias horas de vuelo para que el helicóptero se aprovisione de agua y regrese al control del incendio. De esta manera el factor tiempo y la lejanía de las fuentes de agua inciden en la eficiencia del uso del helicóptero. En el mismo contexto, el combate terrestre si bien es cierto se realiza mediante métodos mecánicos (maquinaria y/o herramientas aplicadas por combatientes), necesita adicionalmente de fuentes de agua para alimentar bombas de espalda, usar motobombas que capturen y distribuyan el agua en el combate, además de generar la posibilidad de establecer zonas de resguardo hídrico para los combatientes.

Para suplir estas carencias de agua en sectores cercanos a los lugares con mayores riesgos de ocurrencia de incendios, Burkhard *et al.*, (2000) y De Winnaar *et al.*, (2007), señalan que los sistemas de captación de las aguas lluvias (SCALL) son tecnologías para concentrar, almacenar y coleccionar el escurrimiento del agua de lluvia que se implementan a nivel local. Por otro lado, Anaya (2011) señala que estos sistemas pueden proveer de este líquido para el abastecimiento oportuno de los helicópteros en el control de incendios forestales. Unesco (2015) caracteriza a los Sistemas de Captación de Aguas Lluvias (SCALL) como sistemas que pueden ser una herramienta que permita incrementar la disponibilidad hídrica en zonas urbanas y rurales en períodos estivales y de sequías, para así intentar satisfacer de mejor forma las demandas de agua potable, de agua para riego, para abastecimiento del consumo animal e incluso para el control eficiente de incendios forestales.



Figura 49: helicóptero abasteciéndose de agua desde un estanque autosoportante (Fuente: Conaf, Región del Maule).

Para la selección de sitios en la construcción de los SCALL para incendios, Durga-Rao y Bhaumik (2003) utilizaron un sistema espacial experto y árboles de decisión construidos con base en directrices técnicas e información de expertos, donde incluyeron las siguientes variables: uso del suelo, pendiente, escurrimiento potencial, proximidad a caminos, geología, suelos y drenaje. Por otro lado, Isioye *et al.* (2012) y Al-Adamat *et al.* (2010), identificaron la aptitud de sitios para SCALL en un SIG a partir de la combinación lineal ponderada como método de evaluación multicriterio, con el apoyo de un panel de expertos. Ello con el fin de integrar las variables de precipitación, pendiente, suelo, drenaje y uso del suelo, para ubicar los mejores sitios para los sistemas de captación del agua de lluvia.

La utilización de los SCALL en la región del Maule ha sido altamente exitosa en lo que respecta a su uso con fines agrícolas o de uso doméstico, a partir de una investigación tecnológica financiada por el FIC Maule y desarrollada por la Universidad de Talca. Esto se ha verificado en importantes proyectos desarrollados en otras regiones del país y que han tomado como base la innovación llevada a cabo en el Maule (Proyecto FIC Valparaíso 2015, FIC Los Lagos 2016, Proyecto Innova-Corfo Biobío 2017, Proyecto FIC Biobío 2018). Sin embargo, no han existido investigaciones relativas a la aplicación de los SCALL en los incendios forestales; ello es particularmente importante dada la situación de altísimo riesgo que estos incendios han generado al país y en particular a la Región del Maule. Basta señalar que según Castillo (2017), la velocidad de propagación normal de un incendio alcanza las 3,2 ha/h, pero el incendio de La Máquina (enero 2017), alcanzó velocidades de hasta 450 ha/h, cifra que habla por sí sola del problema que se avizora para los próximos años. De ahí la relevancia de investigar cómo los SCALL podrían ser diseñados de la mejor manera, para soportar altas temperaturas y resguardar fuentes de agua, que le den mayor pertinencia espacial y temporal al combate de los incendios, de tal forma de producir una mayor oferta de agua para el abastecimiento aéreo y terrestre. Así, se sabe que un helicóptero transporta en su receptáculo un promedio de 1 m³/ viaje; pero, la experiencia en grandes incendios señala que, por la lejanía a las fuentes de agua, no es posible pensar en un número mayor a 22 viajes por día. Si existiesen los adecuados SCALL, sería posible aumentar al doble el número de viajes, reduciendo el tiempo de actuación de los helicópteros y aumentando las posibilidades de éxito del combate del incendio.

En este marco, el uso de helicópteros es una práctica común en el control de incendios forestales en gran parte del mundo. Sin embargo, es conveniente identificar lugares con aptitud para la instalación de SCALL que permitan su recarga de agua. En este sentido, se podrían instalar SCALL para el combate tierra tierra, definido como el combate de incendios mediante la utilización de estanques autosoportantes alimentados mediante SCALL para combatir incendios directamente, mediante bombas y mangueras. Por otro lado, también pueden ser usados para el ataque tierra aire, el cual se define como el combate de incendios mediante estanques autosoportantes que alimentan de agua a helicópteros para el combate aéreo.

8.2. Sistemas de captación de aguas lluvias para recarga de pozos

La recarga de acuíferos es un proceso natural y parte esencial del ciclo hidrológico al interior de las cuencas hidrográficas. Su tasa de recarga se ve potenciada por la presencia de vegetación al interior de las cuencas, ya que esta disminuye la energía cinética de las gotas de lluvia, facilitando la infiltración. De esta forma, la recarga artificial de acuíferos busca emular y acelerar la tasa de recarga. En este contexto, Bouwer (2002) señala que una de las razones para implementar obras de recarga de acuíferos es la de almacenar agua para su uso en el periodo estival.

Para analizar y estimar el comportamiento de la disponibilidad hídrica de origen subterráneo en la temporada estival, es importante establecer relaciones precipitación-escurrimiento que permitan otorgar una alta precisión a la estimación de caudales recesivos. En este contexto, algunas investigaciones realizadas a nivel nacional han intentado vislumbrar posibles soluciones que permitan resolver la problemática de la disponibilidad de agua, a través de la infiltración de las precipitaciones y la recarga de acuíferos. Así, se han mencionado a estas metodologías, como una alternativa viable en Chile para reducir la diferencia que se produce, particularmente durante la temporada de riego, entre la oferta natural de agua y la demanda del recurso por parte de los diferentes sectores y actividades económicas.

En el país, algunas empresas y organizaciones, sin apoyo estatal, están levantando estudios e incluso desarrollan proyectos piloto para analizar la factibilidad de recargar acuíferos, de modo de infiltrar agua a un “embalse subterráneo” en épocas de abundancia, para extraerla en época de necesidad. En el ámbito del riego y de las organizaciones de regantes, la Sociedad del Canal de Maipo (SCM), la cual es apoyada por especialistas de la Universidad de Chile, está investigando la posibilidad de infiltrar agua en algunas zonas de su área geográfica de influencia. Sin embargo, lo anterior es sólo una parte del proceso total, por lo tanto, es importante agregar los distintos niveles que participan en el proceso de gestión de la recarga de acuíferos.

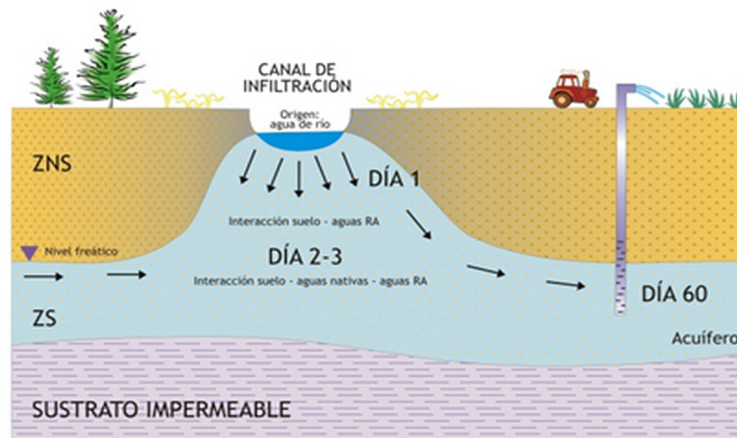


Figura 50: perfil tipo de un dispositivo de recarga artificial (canal) en “control lateral” en una zona recargable (Red Agrícola, 2012).

Por otra parte, experiencias a nivel internacional, hablan de la modelación del flujo de aguas subterráneas (acuíferos confinados), como una herramienta clave para la evaluación del estado de los flujos y el transporte de agua subterránea, y, por tanto, para una gestión adecuada de los recursos hídricos (Leyva, 2010).

Por otra parte, una de las iniciativas de mayor éxito a nivel mundial, lo constituye la realizada en el estado de Arizona, en donde en el año 1985 se completó el acueducto del Proyecto CAP (Central Arizona Project). Esta obra, hizo posible que agua del Río Colorado llegara a zonas agrícolas y urbanas de esta zona del desierto del suroeste de Estados Unidos. Para el almacenamiento y utilización más efectiva de este nuevo recurso hídrico, el Salt River Project construyó y opera la planta de recarga artificial Granite Reef Underground Storage Project (GRUSP, figura 51). Esta planta, ubicada en la zona metropolitana de Phoenix, suministra gran parte de la demanda de agua de cuatro millones de habitantes de esta ciudad, de la industria y de zonas agrícolas colindantes (Lluria 2009).



Figura 51: Granite Reef Underground Storage. Fuente: Lluria, 2009.

La aplicación del uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas no requiere planes elaborados ni grandes inversiones de capital. En países de escasos recursos económicos se pueden preparar y poner en práctica planes de bajo costo. Uno de los métodos simples de recarga se basa en la construcción de presas de tierra en cauces de ríos con alta permeabilidad (Bouwer, 2002). De lo anterior, se desprende que, para ejecutar este método, se debe intervenir el río, pues este procedimiento es muy susceptible a las crecidas del cauce (figura 52). Un ejemplo, de recarga artificial de acuíferos se da en Israel, donde se almacenan los excedentes de agua dulce producidos por la desalinización en los acuíferos (Guttman *et al.*, 2017). Por otra parte, en Europa existen 224 (figura 53) sistemas de recarga de acuíferos (al 2013), concentrándose en Alemania (n=64), Países bajos (n=41), Francia (n=21) y Finlandia (n=14), que en conjunto alcanzan aproximadamente un 63% de los sistemas activos de Europa y en casi todos estos países excepto Francia, esta tecnología contribuye considerablemente a la oferta de agua potable (Sprenger *et al.*, 2017). Cabe destacar que las tasas de recarga de los acuíferos oscilan entre $146 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ y $981 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$.

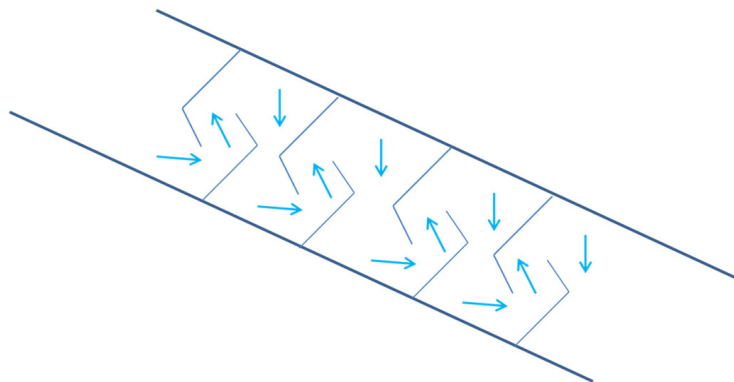


Figura 52: diagrama de presas de tierra en el cauce. Adaptado de Ravichandran *et al.*, 2011.

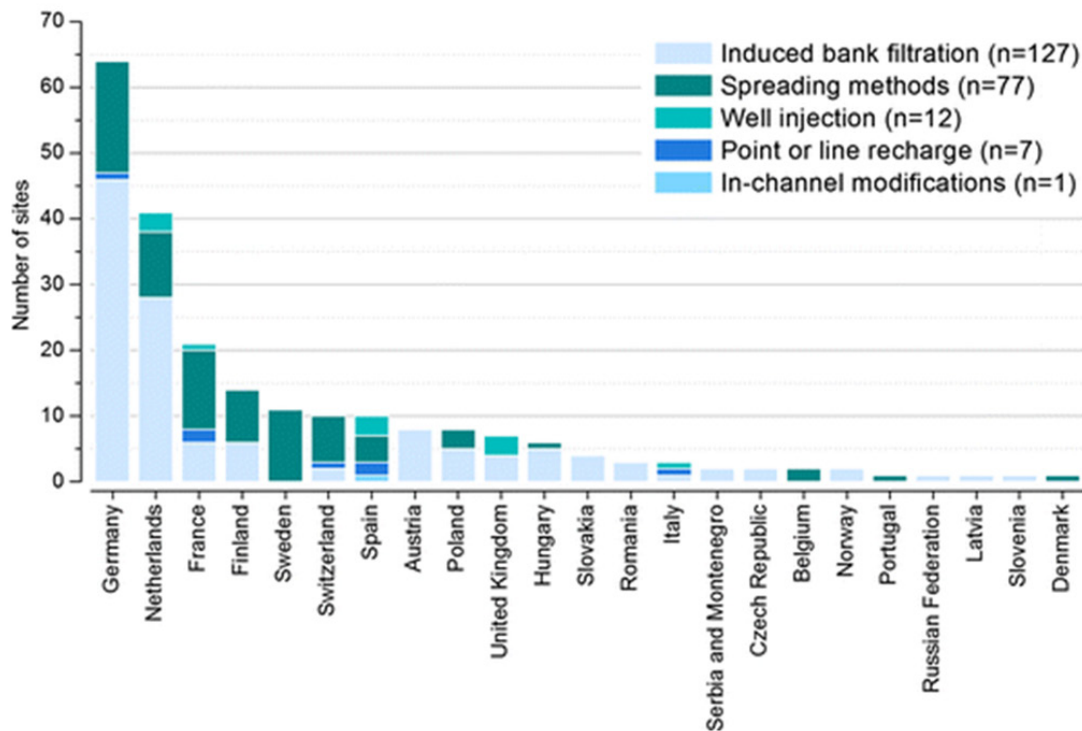


Figura 53: distribución de las recargas de acuíferos en Europa. Fuente: Sprenger *et al.*, 2017.

A su vez, Gupta (2011) e Islam y Talukdar (2016), señalan que, en los últimos años, la utilización de aguas lluvias para la recarga de acuíferos, ha surgido como una alternativa viable para incrementar la oferta hídrica. En este marco, la utilización de SCALL para la recarga de acuíferos, permite almacenar y redireccionar volúmenes conocidos de agua al interior de pozos deshabilitados o con bajo nivel de agua (figura 54). Una ventaja de utilizar SCALL para la recarga de acuíferos, se da en que el agua de los SCALL es de buena calidad y puede ser filtrada antes de ingresar al pozo.

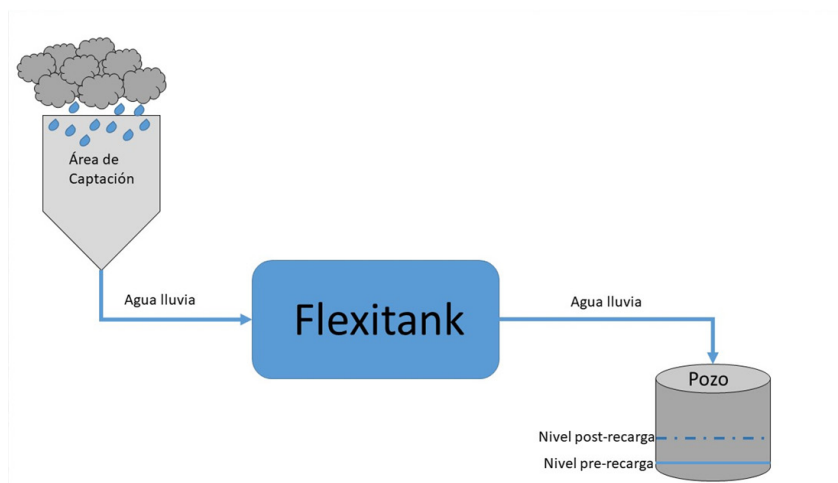


Figura 54: diagrama de captura y recarga artificial de acuíferos utilizando SCALL. Fuente: autoría propia.

Además, se puede capturar agua desde los tejados, con un bajo costo de implementación. Sin embargo, tiene la limitante que los techos pueden contaminar el agua lluvia con metales y coliformes fecales. Khediya (2016), describió métodos para la recarga de acuíferos utilizados en la India; en estos menciona la recarga a través de pozos abandonados. Esta aproximación a la recarga de pozos tiene la ventaja de ser de fácil implementación, empero se debe desechar la primera precipitación y para esto crean un baipás, garantizando así la calidad del agua acumulada. En este ámbito, Gusta (2011) describe un sistema de captura de escorrentía superficial en la India, donde esta es acumulada en un reservorio, pasa por un proceso de filtrado y es depositada en el acuífero

8.3. Sistemas de captación de aguas lluvias urbanos

Tras las recurrentes sequías, gobiernos locales como el del Estado de Arizona en los Estados Unidos, se percataron que la optimización del recurso no sólo se debe tratar a escalas mayores, sino que también en menor escala (cosa que no se ha desarrollado masivamente en Chile) (Jackson 2001, EPA 2009). De hecho, la experiencia internacional sugiere que el uso óptimo del recurso sólo se logra mediante la minimización del desperdicio de ésta, a nivel familiar o comunal (Gastón 2010). De este modo, existen otras formas en las que otros gobiernos han sabido desarrollar importantes cambios culturales en torno al agua, siempre bajo el principio de “no perder una sola gota”, es decir, valorando el recurso como se debe (Thomas *et al.* 2014). Así, en Arizona, el Estado norteamericano líder en el manejo del agua, se han desarrollado exitosos programas de incentivo no sólo para la captación, almacenamiento y uso del agua de lluvia, SCALL, sino que también para la reutilización de aguas grises, y más importante aún, la valoración del recurso por parte de la población (Phillips 2005). Este hecho se constituye en un componente importante para la mitigación del cambio climático (Panadey *et al.* 2003). Sin ir más lejos, el sólo hecho de tener pasto en Arizona es considerado una falta de ética, mayormente debido a los altos requerimientos hídricos que dicho tipo vegetal demanda diariamente. En lugar de césped, la población en general ha ido adaptando sus jardines a ambientes desérticos (Phillips 2005) (Figura 55).



Figura 55: la escorrentía que fluye libremente durante las tormentas se desvía hacia las zonas con vegetación mediante desniveles. Fuente: <http://www.harvestingrainwater.com/>

De este modo, en Arizona gran parte de las viviendas y parques cuentan con uno o más sistemas de captación de agua de lluvia, la que se utiliza para fines de irrigación y, en algunos casos, para agua potable, en donde se debe cumplir un riguroso sistema de regulaciones de calidad del agua (Phillips 2005, Thomas *et al.* 2014). Paralelamente, los Sistemas de Captación de Aguas Lluvias (SCALL) deben contar con un sistema de primer lavado, con el fin de minimizar la entrada de partículas no deseadas dentro del sistema (Kus *et al.* 2010). Adicionalmente, factores como el clima y el tipo de techo también influyen en la calidad del agua a almacenar, lo cual se soluciona mediante filtros especiales, según sea el caso (Chang *et al.* 2004, Lee *et al.* 2012). De hecho, la captación de aguas pluviales en Arizona no sólo se limita a la instalación de un tanque colector de agua captada sobre un techo (Morrow *et al.* 2010). Además, se han desarrollado programas de incentivo para la transformación de las áreas verdes tanto públicas como privadas, con el fin de dirigir los flujos superficiales durante las tormentas hacia áreas designadas para su infiltración (Bartens *et al.* 2008). Es en dichas zonas donde se establecen especies nativas forestales, arbustivas y/o herbáceas, las que cuentan con suficiente agua como para sobrevivir durante la época estival, gracias a la aplicación de técnicas de control de la evaporación (Cromell *et al.* 2003). Esto, junto con la selección de especies de baja demanda hídrica y la eliminación del césped, ha disminuido tremendamente el consumo de agua en áreas verdes urbanas, en donde se incluye el sector privado y municipalidades (Phillips 2005). De este modo, centenares de sistemas de este tipo contribuyen a la recarga de acuíferos locales y, al mismo tiempo, a la generación de menores volúmenes de escorrentía durante las tormentas, facilitando así la labor de las divisiones de obras hidráulicas de las ciudades del Estado (Bartens *et al.* 2008).

Desde comienzos del presente siglo se ha incrementado el interés de incorporar los SCALL en la legislación estatal de los Estados Unidos, permitiendo definir y clarificar cuándo la captura y acumulación de agua de lluvia puede realizarse. Según las leyes estadounidenses, la captura de agua de lluvia es el acto de utilizar un sistema de recolección de agua de lluvia para su uso doméstico, riego, ganadería e, incluso, doméstico. Algunos estados también han aprobado leyes que fomentan el uso de aguas grises para el riego y otras aplicaciones de conservación del agua (Thomas *et al.* 2014).

Cada estado debe garantizar los estándares de calidad del agua capturada, con el fin de asegurar la salud pública. Por ende, los estándares a cumplir se encuentran en función de qué uso se le dará al agua de lluvia. Para sistemas urbanos, lo más común es irrigación, por lo cual el nivel de exigencia es menor para estos casos. Sin embargo, puesto que cada Estado desarrolla su propio sistema legal, el concepto de captura de agua de lluvia varía dependiendo de dónde se instala el SCALL (Gaston 2010).

Texas, Ohio, Oklahoma y Arizona son algunos de los estados que han dedicado una considerable atención a este tema, hecho que se traduce en la promulgación de un alto número de leyes que regulan la práctica de la captura de aguas pluviales. Texas ofrece, por ejemplo, una exención del impuesto sobre las ventas en la compra de equipos de recolección de agua de lluvia. Y al igual que Ohio, permite abiertamente la captura pluvial para fines potables. Por otro lado, Oklahoma aprobó en el año 2012 la Ley del Agua para el 2060, con el fin de promover proyectos piloto para el uso de agua de lluvia y aguas grises. Similarmente, Arizona, uno de los estados líderes en el uso de SCALL, promueve exhaustivamente el uso del agua de lluvia para regadío, en combinación con una arquitectura del paisaje basada en especies de bajo requerimiento hídrico.

Con la excepción de Colorado, la mayoría de los estados norteamericanos que han incorporado la recolección de agua de lluvia en su sistema legal, tratan de promover la captura y almacenamiento del recurso, en base a reducciones de impuestos a pagar y, en algunos casos, considerando reembolsos monetarios directos según lo que haya gastado el propietario en la compra e instalación del sistema. Tal vez el más completo sistema legislativo relacionado con los SCALL se encuentra en Texas, ya que considera el almacenamiento de agua de lluvia para uso potable, doméstico e irrigación, siendo este obligatorio en la mayoría de las construcciones nuevas. También tienen instituciones financieras involucradas y estrictos estándares de calidad, lo que obliga a cada condado a promover el uso del agua de lluvia entre sus residentes. Adicionalmente, Utah cuenta con una ley en la que incluso los arrendatarios que alquilan una propiedad pueden instalar un SCALL, sin importar los deseos del propietario. Por último, Arizona ofrece hasta US\$ 2.000 en devoluciones de impuestos y, lo más importante, el Estado da incentivos para captar la lluvia no solo en el nivel del techo, sino también la escorrentía generada en el jardín residencial e incluso desde la escorrentía urbana que fluye por las calles.

Pese a su clara relevancia, en Chile solo se han desarrollado SCALL en base a la captación de agua pluvial y mayormente en sectores rurales y aislados. Sin embargo, hoy en día no existe en Chile una solución mediante la cual se aproveche al máximo el agua que escurre en techos, jardines y calles.

Dado a que no existe un sistema legal relacionado con los SCALL en la mayoría de los países, los registros de sequías y las mayores demandas por agua de calidad, relacionadas con el abastecimiento de agua, han servido como catalizadores para la creación de nuevas leyes que involucran captación y almacenamiento de agua de lluvia para distintos usos en muchos países, liderando indiscutiblemente este proceso los Estados Unidos ((Karim 2010, Huston 2012, Thomas *et al.* 2014).

9. Bibliografía

- Alfaro, C. W. (2009). Adaptación a los impactos en desertificación y sequía por efecto del cambio climático en Chile, mediante sistemas de cosecha de aguas lluvias. Punto Focal Nacional. Convención UNCCD. Chile
- Alonso JR, 2012. Maqui (*Aristotelia chilensis*): un nutracéutico chileno de relevancia medicinal. Revista de Farmacología de Chile, 5, 95-100
- Anaya M. (1998). “Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y El Caribe. Manual Técnico”, Ed. Agencia de Cooperación Técnica IICA-México, México.
- Araneda X, Quilamán E, Martínez M., Morales D, 2014. Elaboración y evaluación de jugo de maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) por arrastre de vapor. Scientia Agropecuaria, 5, 149-156
- Avello M, Valdivia R, Sanzana R, Mondaca MA, Mennickent S, Aeschlimann V, Bittner M, Becerra J, 2009. Extractos antioxidantes y antimicrobianos de *Aristotelia chilensis* y *Ugni molinae* y sus aplicaciones como preservantes en productos cosméticos. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 8, 479-486
- Ballén, Galarza y Ortiz (2006). “Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia”. VI SEREA – Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua. João Pessoa (Brasil), 5 a 7 de junio de 2006
- Barrett, B.; Garreaud, R.; Falvey, M. 2009. Effect of the Andes Cordillera on Precipitation from a Midlatitude Cold Front. Monthly Weather Review, 137(9), 3092–3109. doi:10.1175/2009mwr2881.1
- Brauch JE, Buchweitz M, Schweiggert RM, Carle R, 2016. Detailed analyses of fresh and dried maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) berries and juice. Food Chemistry, 190, 308-316.
- Brauch JE, Kroner M, Schweiggert RF, Carle R (2015) Studies into the stability of 3--Glycosylated and 3,5-O-Diglycosylated anthocyanins in differently purified liquid and dried maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) preparations during storage and thermal treatment. Journal of Agriculture and Food Chemistry 63, 8705–8714, <https://doi:10.1021/acs.jafc.5b03471>
- Céspedes C, El-Hafidi M, Pavon N, Alarcon J, 2008. Antioxidant and cardioprotective activities of phenolic extracts from fruits of Chilean blackberry *Aristotelia chilensis* (Elaeocarpaceae), Maqui. Food Chemistry, 107, 820-829, <https://doi:10.1016/j.foodchem.2007.08.092>
- Céspedes C, Alarcón J, Avila J, Nieto, A, 2010a. Anti-inflammatory Activity of *Aristotelia chilensis* Mol. (Stuntz) (Elaeocarpaceae). Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 9, 91-99
- Céspedes C, Valdez-Morales M, Avila J, El-Hafidi M, Alarcón J, Paredes-López O, 2010b. Phytochemical profile and the antioxidant activity of Chilean wild black-berry fruits, *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz (Elaeocarpaceae). Food Chemistry 119, 886-895, <https://doi:10.1016/j.foodchem.2009.07.045>.
- Céspedes CL, Balbontín C, Avila JG, Domínguez M, Alarcón J, Paz C, Burgos V, Ortiz L, Peñaloza-Castro I, Seigler DS, Kubo I, 2017. Inhibition of cholinesterase and tyrosinase by alkaloids and phenolics from *Aristotelia chilensis* leaves. Food and Chemical Toxicology 109: 984–995, <https://doi:10.1016/j.fct.2017.05.009>
- Chebez JC, 1999. Los que se van. Especies argentinas en peligro. Ed. Albatros, Buenos Aires, Argentina

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)/Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), Evaluaciones del desempeño ambiental: Chile 2016, Santiago, 2016.

Coode MJ, 1985. *Aristotelia* and *Vallea*, closely related in *Elaeocarpaceae*. *Kew Bulletin*, 40, 479-507

Domínguez, J. 2006. Progresos en materia de gobernanza del agua en México y el reto de la adaptación en zonas urbanas. En *Anuario de Espacios Urbanos*, N° 13, p. 273, año 2006. Universidad Autónoma

Donoso C, 2006. Las especies de los bosques templados de Chile y Argentina, *Autoecología*. Marisa Cuneo Ediciones, Valdivia

Duran P., Herrera L. y Guido P. (2010). "Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable", CONAMA10, Congreso Nacional del Medio Ambiente, México.

Echeverría J, Niemeyer HM, 2012. Alkaloids from the native flora of Chile: a review. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 11, 291-305

Escribano-Bailón MT, Alcalde-Eon C, Muñoz O, Rivas-Gonzalo J, Santos-Buelga C, 2006. Anthocyanins in Berries of Maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz). *Phytochem Analysis*, 17, 8-14, <https://doi:10.1002/pca.872>

FAO. s/f. Erosión de los suelos en Chile. En línea. Disponible en <http://www.fao.org/3/t2351s/T2351S0e.htm>

Farías M, 2009. Determinación de los mecanismos involucrados en la actividad analgésica de las hojas de *Aristotelia chilensis* en un modelo de dolor térmico agudo. Thesis, Universidad de Chile, Santiago, Chile

Fernández MP, 1998. Plantas Medicinales. In: J. Campos (Ed), *Productos Forestales No Madereros*. Serie Forestal N°10 FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italy, pp. 29-38

Frank D, Finckh M, 1997. Impactos de las plantaciones de pino oregón sobre la vegetación y el suelo en la zona centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 70, 191-211

Fredes C, Montenegro G, Zoffoli JP, Gómez M, Robert P, 2012. Polyphenol content and antioxidant activity of maqui (*Aristotelia chilensis* Molina Stuntz) during fruit development and maturation in Central Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72, 582-589, <https://doi: 10.4067/S0718-58392012000400019>.

Fredes C, Montenegro G, Zoffoli JP, Santander F, Robert P, 2014a. Comparison of the total phenolic content, total anthocyanin content and antioxidant activity of polyphenol-rich fruits grown in Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*, 41, 49-60, <https://doi: 10.4067/S0718-16202014000100005>

Fredes C, Yousef G, Robert P, Grace M, Lila MA, Gómez M, Gebauer M, Montenegro G, 2014b. Anthocyanin profiling of wild maqui berries (*Aristotelia chilensis* [Mol.] Stuntz) from different geographical regions in Chile. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 2639-2648, <https://doi: 10.1002/jsfa.6602>.

Fundación para la Innovación Agraria, 2009. Resultados y lecciones en productos agroindustriales ricos en antioxidantes a base de berries nativos. Serie *Experiencias de Innovación para el Emprendimiento Agrario*, Fundación para la Innovación Agraria – Ministerio de Agricultura, Santiago de Chile

García L, García LV, Rojo D, Sánchez E, 2001. Plantas con propiedades antioxidantes. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 20, 231-235

- Genskowsky, E., Puente, L. A., Pérez-Álvarez, J. A., Fernández-López, J., Muñoz, L. A., & Viuda-Martos, M, 2016. Determination of polyphenolic profile, antioxidant activity and antibacterial properties of maqui [*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz] a Chilean blackberry, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 4235-4242, <https://doi:10.1002/jsfa.7628>
- Gironés-Vilaplana A, Baenas N, Villaño D, Speisky H, García-Viguera C, Moreno D, 2014a. Evaluation of Latin-American fruits rich in phytochemicals with biological effects. *Journal of Functional Foods*, 7, 599-608, <https://doi: 10.1016/j.jff.2013.12.025>
- Gironés-Vilaplana A, Valentao P, Moreno D, Ferreres F, García-Viguera C, Andrade P, 2012. New Beverages of Lemon Juice Enriched with the Exotic Berries Maqui, Açai, and Blackthorn: Bioactive Components and in Vitro Biological Properties. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 60, 6571-6580, <https://doi: 10.1021/jf300873k>
- Gnadlinger J. 2015. “Agua de Chuva no manejo integrado dos recursos hídricos em localidades semiáridas: aspectos históricos, biofísicos, técnicos, económicos e sociopolíticos”, Instituto Nacional do Semiarido, ISBN 978-85-64265-13-4, Campina Grande. Brasil
- Godoy-Aguirre C, 2018. Evaluando el procesamiento vegetal y la elaboración de bebidas fermentadas en un contexto El Vergel de Isla Mocha (1000–Echever1300 d.C.). Chungará, *Revista de Antropología Chilena*, 50, 107-120, <https://doi: 10.4067/S0717-73562018005000401>
- González-Villagra J, Rodrigues-Salvador A, Nunes-Nesi A, Cohen JD, Reyes-Díaz MM, 2018. Age-related mechanism and its relationship with secondary metabolism and abscisic acid in *Aristotelia chilensis* plants subjected to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 124, 136–145, <https://doi:10.1016/j.plaphy.2018.01.010>
- Guerrero J, Ciampi L, Castilla A, Medel F, Schalchli H, Hormazabal E, Bensch E, Alberdi M, 2010. Antioxidant capacity, Anthocyanins, and Total phenols of wild and cultivated berries in Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70, 537-544
- Hardin, G. 1968. The Tragedy of the Commons. *Science*, New Series, Vol. 162, No. 3859 (Dec. 13, 1968), pp. 1243-1248
- Hugues, Ronnie Torres. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(2), 125-139.
- Jara E, Hidalgo J, Flores C, Pérez M, Yáñez A, Hidalgo A, Quiñones L, Hancke J, Burgos R, 2012. Estudio de un extracto estandarizado de maqui rico en delfinidinas en el mantenimiento del balance de glucosa. *Revista Farmacológica de Chile*, 5, 27-34
- Jaspers, Frank, G. W., (2001). *Institutions for Integrated Water Resources Management*. Manual de capacitación UNESCO-IHE, Delft, Holanda.
- Martín-Albarracín V, Nuñez MA, Amico GC, 2017. Non-redundancy in seed dispersal and germination by native and introduced frugivorous birds: implications of invasive bird impact on native plant communities. *Biodiversity and Conservation*, <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1629-4>
- Miranda-Rottmann S, Aspillaga A, Pérez D, Vasquez L, Martínez A, Leighton F, 2002. Juice and Phenolic Fractions of the Berry *Aristotelia chilensis* Inhibit LDL oxidation in vitro and protect human endothelial cells against oxidative stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 7542-7547, <https://doi: 10.1021/jf025797n>.

Molares S, Ladio A, 2009. Ethnobotanical review of the Mapuche medicinal flora: Use patterns on a regional scale. *Journal of Ethnopharmacology* 122: 251 – 260

Mølgaard P, Gitz Holler J, Betül A, Liberna I, Bakkestrøm R, Ploug Jebjerg C, Jørgensen L, Lauritzen J, Guzman A, Adersen A, Toft Simonsen H, 2011. Antimicrobial evaluation of Huilliche plant medicine used to treat wounds. *Journal of Ethnopharmacology*, 138, 219-227, <https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.09.006>.

Montes M, Wilkomirsky T, 1987. *Medicina Tradicional Chilena*. Editorial de la Universidad de Concepción, Chile.

Nakamura S, Tanaka J, Imada T, Shimoda H, Tsubota K, 2014. Delphinidin 3.5-O-diglucoside, a constituent of the maqui berry (*Aristotelia chilensis*) anthocyanin, restores tear secretion in a rat dry eye model. *Journal of Functional Foods*, 10, 346-354, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.06.027>

OCDE. 2011. Cuestionario de la OCDE sobre la Gobernabilidad del Agua 2010-2011.

ODEPA – Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, 2015, November 20. Exportaciones de maqui chileno suben 168% y alcanzan los US\$4,4 millones entre enero y septiembre. *Economía y Negocios*. Disponible en <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=202505> (Revisado 30. 11. 2015)

ODEPA – Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, 2017. Boletín de frutas y hortalizas procesadas. Disponible en <https://www.odepa.gob.cl/> (Revisado 13.06.2019)

ODEPA, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias 2018, Estadísticas Productivas disponibles en <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas>

ProChile 2017. Tendencias del mercado: Maqui en Alemania. ProChile Hamburgo. 25 pp.

Pizarro, R.; Balocchi, F.; Vera, M.; Aguilera, A.; Morales, C.; Valdés, R.; Sangüesa, C.; Vallejos, C.; Fuentes, R.; Abarza, A. y Olivares, C. 2013. Influence of climate on peak flow behavior in central Chile. *Revista Ciencia y Tecnología del Agua*, 4(2): 5-19

Pizarro, R.; Sangüesa, C.; Flores, J. y Martínez, E. 2004. *Diseño de obras para la conservación de aguas y suelos*. ISBN 956-299-418-X. Talca, Chile.

Pizarro, R; Novoa, P. 1986. *Elementos técnicos de hidrología*. Corporación Nacional Forestal (CONAF). La Serena. Chile. 78p

Ramírez C, Figueroa H, Carrillo L, Contreras D, 1984. Estudio fitosociológico de los estratos inferiores en un bosque de pino (Valdivia, Chile), *Bosque*, 5, 65-81

Reyes-Farías M, Vásquez K, Ovalle-Marín A, Fuentes F, Parra C, Quiral V, Jimenez P, García-Díaz D, 2014. Chilean native fruits extracts inhibit inflammation linked to the pathogenic interaction between adipocytes and macrophages. *Journal of Medicinal Food*, 18, 1-8, <https://doi.org/10.1089/jmf.2014.0031>

Rodríguez R, Matthei O, Quezada M, 1983. *Flora arbórea de Chile*. Editorial Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

Rojo L, Ribnicky D, Logendra S, Poulev A, Rojas-Silva P, Kuhn P, Dorn R, Grace M, Lila M Raskin I, 2012. In vitro and in vivo anti-diabetic effects of anthocyanins from Maqui Berry (*Aristotelia chilensis*). *Food Chemistry*, 131, 387-396, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.066>

- Rubilar M, Jara C, Poo Y, Acevedo F, Gutiérrez C, Sineiro J, Shene C, 2011. Extracts of Maqui (*Aristotelia chilensis*) and Murta (*Ugni molinae* Turcz.): Source of Antioxidant Compounds and $\alpha\alpha$ -Amylase Inhibitors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 1630-1637, [https://doi: 10.1021/ jf103461k](https://doi.org/10.1021/jf103461k)
- Ruiz A, Hermosín-Gutiérrez I, Mardones C, Vergara C, Herlitz E, Vega M, Dorau C, Weintherhalter P, von Baer D, 2010. Polyphenols and Antioxidant Activity of Calafate (*Berberis microphylla*) Fruits and Other Native Berries from Southern Chile. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 6081-6089, [https://doi: 10.1021/jf100173x](https://doi.org/10.1021/jf100173x)
- Ruskin R. 2001. "Recolección de agua con cisternas 2ª parte: dependencias de goteo". Agua latino América. Septiembre / octubre, 2001.
- Salinas J, Parra P, 2012. Antecedentes generales de la especie. In S. Benedetti (Ed.), *Información Tecnológica de Productos Forestales No Madereros del Bosque Nativo en Chile. Monografía de Maqui Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz., Instituto Forestal, Santiago, Chile, pp. 7-20
- Salinas J, Soto D, Fuentes V, 2012. Antecedentes de mercado. In S. Benedetti (Ed.), *Información Tecnológica de Productos Forestales No Madereros del Bosque Nativo en Chile. Monografía de Maqui Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz., Instituto Forestal, Santiago, Chile, pp. 46-50
- Sangüesa, C.; Pizarro, R.; Ibañez, A.; Pino, J.; Rivera, D.; García-Chevesich, P.; Ingram, B. 2018. Spatial and Temporal Analysis of Rainfall Concentration Using the Gini Index and PCI. *Water*, 10, 112.
- Scapagnini G, Zarrelli A, Youssef N, Davinelli S, 2016. Maqui (*Aristotelia chilensis*) berry and its major polyphenol delphinidin: Relevance for skin photo-protection and anti-aging. *European Journal of Aesthetic Medicine & Dermatology*, 6, 48-56
- Schreckinger ME, Lotton J, Lila MA, González de Mejía E, 2010a. Berries from South America: A comprehensive review on chemistry, health potential, and commercialization. *Journal of Medicinal Food*, 13, 233-246, [https://doi: 10.1089/jmf.2009.0233](https://doi.org/10.1089/jmf.2009.0233)
- Speisky H, López-Alarcón C, Gómez M, Fuentes J, Sandoval-Acuña C, 2012. First web-based databased on total phenolics and oxygen radical absorbance capacity (ORAC) of fruits produced and consumed within the Souths Andes Region of South America. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 60, 8851-8859, [https://doi: 10.1021/jf205167k](https://doi.org/10.1021/jf205167k)
- Suwalsky M, Vargas P, Avello M, Villena F, Sotomayor CP, 2008. Human erythrocytes are affected in vitro by flavonoids of *Aristotelia chilensis* (Maqui) leaves. *International Journal of Pharmaceutics*, 363, 85-90, [https://doi: 10.1016/j.ijpharm.2008.07.005](https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2008.07.005)
- Tanaka J, Kadokaru T, Ogawa K, Hito S, Shimoda H, Hara H, 2013. Maqui berry (*Aristotelia chilensis*) and the constituent delphinidin glycoside inhibit photoreceptor cell death induced by visible light. *Food Chemistry*, 139, 129-137, [https://doi: 10.1016/j.foodchem.2013.01.036](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.036).
- UNESCO, 2015. Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales de Chile. PHI – VIII. Documento Técnico n° 36.
- UNESCO y CODIA, 2019. Carlos Estévez, Patricia Herrera y Alessandra Tiribocchi "Garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Implementación de políticas públicas en América Latina y el Caribe."
- Valdés, R; Pizarro, R; García, P; Valdés, J; Olivares, C; Vera, M; Balocchi, F; Pérez, F; Vallejos, C; Fuentes, R; Abarza, A; Helwig, B. 2014. Water governance in Chile: Availability, management and climate change, *Journal of Hydrology*, Volume 519, Part C, 27 November 2014, Pages 2538-2567, ISSN 0022-1694, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.016>.

Vargas R, Gärtner S, Hagen E, Reif A, 2013. Tree regeneration in the threatened forest of Robinson Crusoe Island, Chile: The role of small-scale disturbances on microsite conditions and invasive species. *Forest Ecology and Management*, 307, 255-265, [https://doi: 10.1016/j.foreco.2013.06.049](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.049)

Vergara D, Ávila D, Escobar E, Carrasco-Pozo C, Sánchez A, Gotteland M, 2015. The intake of maqui (*Aristotelia chilensis*) berry extract normalizes H₂O₂ and IL-6 concentrations in exhaled breath condensate from healthy smokers – an explorative study. *Nutrition Journal*, 14, 27, [https://doi: 10.1186/s12937-015-0008-1](https://doi.org/10.1186/s12937-015-0008-1)

Watson R, Schönlaue F, 2015. Nutraceutical and antioxidant effects of a delphinidin-rich maqui berry extract Delphinol®: a review. *Minerva Cardioangiologica*, 63, 1-12

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO), 2019. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. París, UNESCO.

Yue, S.; Pilon, P.; Cavadias, G. 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259, 254–271

Zeitoun M; Cascão, A; Warner, J; Mirumachi, N; Matthews, N; Menga, F; Farnum, R. 2016. Transboundary water interaction III: contest and compliance. Springer link.

