

Soluciones de base Natural (SbN) para conflictos de escasez hídrica en la Ecorregión Mediterránea de Chile

Nature-based Solutions (NbS) for addressing water scarcity in the Mediterranean Ecoregion of Chile

Isadora Schneider-Valenzuela^{1,2,3} , Conny Brito-Escudero³,
Isabella Aguilera-Betti^{1,3,4,5} , Karin Klock-Barría^{1,3,6} ,
Andrea Saldes-Cortés^{1,7,8} , Juan L. Celis-Diez^{2,3,9} , Antonio Ugalde^{2,10},
Lorena Jorquera-Martínez^{3,11} , Alejandro Venegas-González^{3,12,13} ,
Gastón O. Carvallo^{3,14,15}  y Ariel A. Muñoz^{1,2,3,16} 

RESUMEN

Las Soluciones de base Natural (SbN) permiten enfrentar desafíos y riesgos socioambientales mediante la protección, restauración y gestión sostenible de los ecosistemas, proporcionando bienestar humano e incrementando la biodiversidad. En la última década, la Ecorregión Mediterránea de Chile (EMC, 29-37°S) ha experimentado una continua sequía y numerosos conflictos hídricos asociados al desarrollo de actividades industriales en zonas que proveen servicios ecosistémicos de aprovisionamiento y regulación hídrica.

¹ Laboratorio de Dendrocronología y Estudios Ambientales, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile. Correo electrónico: isadora.schneider@pucv.cl

² Centro de Acción Climática, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile.

³ Núcleo de Investigación en Soluciones de base Natural para Desafíos Ambientales Emergentes, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile. Correo electrónico: connybritoescudero@gmail.com

⁴ Centro de Investigación GAIA Antártica, Universidad de Magallanes. Punta Arenas, Chile. Correo electrónico: isabella.aguilera@gmail.com

⁵ Cape Horn International Center (CHIC), Puerto Williams, Chile.

⁶ Escuela de Graduados, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. Correo electrónico: karin.klock@gmail.com

⁷ Laboratorio de Conversación y Bienestar Humano. Instituto de Ecología y Biodiversidad, IEB. Concepción, Chile. Correo electrónico: saldes.cortes.a@gmail.com

⁸ Programa de Magister en Manejo de Recursos Naturales. Mención Análisis y Gobernanza de Sistemas Socioecológicos, Universidad de la Frontera. Temuco, Chile.

⁹ Escuela de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Quillota, Chile. Correo electrónico: juan.celis@pucv.cl

¹⁰ Departamento de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático, Ilustre Municipalidad de Quilpué. Quilpué, Chile. Correo electrónico: antonio.ugalde@quilpue.cl

¹¹ Escuela de Ingeniería en Construcción y Transporte, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile. Correo electrónico: lorena.jorquera@pucv.cl

¹² Instituto de Ciencias Agrolimentarias, Animales y Ambientales (ICA3), Universidad de O'Higgins. San Fernando, Chile. Correo electrónico: alejandro.venegas@uoh.cl

¹³ Hémera Centro de Observación de la Tierra, Escuela de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias, Universidad Mayor. Santiago, Chile.

¹⁴ Instituto de Biología, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile. Correo electrónico: gaston.carvallo@pucv.cl

¹⁵ Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), Barrio Universitario, Concepción, Chile.

¹⁶ Centro del Clima y la Resiliencia (CR)2. Santiago, Chile. Correo electrónico: ariel.munoz@pucv.cl

En este contexto se evaluó el uso de SbN en conflictos de escasez hídrica en la EMC como forma de sustentar el diseño de políticas públicas que incorporen esta aproximación. Para esto, se recopilaron conflictos asociados a la escasez hídrica en la EMC y se identificaron SbN para enfrentar conflictos similares en otras regiones del mundo. Se determinaron tres categorías de SbN: (i) restauración de cuencas e infraestructura verde, (ii) infraestructura ancestral y natural y (iii) prácticas agrícolas integradas. Este análisis indica que el uso simultáneo de estas tres estrategias puede contribuir a la solución de conflictos hídricos en la EMC. Las SbN se proyectan como una opción eficiente e integradora para enfrentar los problemas de escasez hídrica, toda vez que sean consideradas dentro de las políticas nacionales y diseñadas según las condiciones ambientales y contexto social de cada sector en conflicto.

Palabras clave: soluciones basadas en la naturaleza, escasez hídrica, adaptación al cambio climático, sequía, Ecorregión Mediterránea de Chile.

ABSTRACT

Natural-based Solutions (NbS) allow us to face socio-environmental challenges and risks through the protection, restoration and sustainable management of ecosystems, providing human well-being and increasing biodiversity. In the last decade, the Mediterranean Ecoregion of Chile (EMC, 29-37°S) has experienced a continuous drought and numerous water conflicts associated with the development of industrial activities in areas that provide ecosystem services of water supply and regulation. In this context, the use of NBS in water scarcity conflicts in the CME was evaluated as a way to support the design of public policies that incorporate this approach. For this, conflicts associated with water scarcity in the CME were collected and NBS were identified to face similar conflicts in other regions of the world. Three categories of NBS were identified: (i) watershed restoration and green infrastructure, (ii) ancestral and natural infrastructure, and (iii) integrated agricultural practices. This analysis indicates that the simultaneous use of these three strategies can contribute to the resolution of water conflicts in CME. NBS are projected as an efficient and integrating option to face the problems of water scarcity, since they are considered within national policies and designed according to the environmental conditions and social context of each sector in conflict.

Keywords: nature-based solutions, water scarcity, climate change adaptation, drought, Mediterranean Ecoregion of Chile.

Los cambios en los ecosistemas por actividades humanas han generado una crisis socioambiental sin precedentes en la historia del planeta (Vitousek *et al.*, 1997; Barnosky *et al.*, 2012; Ripple *et al.*, 2017). Esto ha disminuido la disponibilidad y el acceso al agua para comunidades humanas y los ecosistemas en todo el mundo (Jury & Vaux, 2007; Hohenthal & Minoia, 2017) produciendo escasez hídrica asociada a la extracción de agua, mayormente para agricultura, afectando al 57% de la población mundial (Huang *et al.*, 2021). En este contexto, las Soluciones de base Natural (SbN) permiten enfrentar los nuevos desafíos y riesgos socioambientales de manera eficaz y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad (Cohen Shacham *et al.*, 2016). Las SbN son acciones inter- y transdisciplinarias en su diseño y ejecución que usan la infraestructura natural y sus procesos generando resiliencia en los territorios donde se desarrollan a través de la protección, gestión sostenible y restauración de ecosistemas (European Commission, 2016; Frantzeskaki *et al.*, 2019). Las SbN se planifican y ejecutan como intervenciones sistémicas, eficientes y adaptadas localmente que pueden aplicarse en entornos rurales, costeros o urbanos (European Commission, 2016). Algunos ejemplos de SbN son los planes de gestión de cuerpos de agua, implementación de infraestructura verde en zonas urbanas (Cohen-Shacham *et al.*, 2016) y la intensificación ecológica de la agricultura (Bommarco *et al.*,

2013). Los servicios ecosistémicos se definen como los beneficios que las poblaciones humanas obtienen, directa o indirectamente, de las funciones de los ecosistemas (Costanza *et al.*, 1997). Por ejemplo, al utilizar SbN para recuperar la regulación hídrica, procesos como la filtración, retención y almacenamiento de agua se verán favorecidos, aumentando el servicio ecosistémico de provisión de agua para consumo humano. Las SbN permiten recuperar otras funciones ecológicas que proveen de otros servicios ecosistémicos como protección y fertilidad del suelo, regulación de plagas y nutrientes, polinización y producción de biomasa (De Groot, 2002; WWAP, 2018).

Las SbN pueden ejecutarse en forma individual o integrada con otras soluciones, deben ser implementadas a escala de paisaje, dentro de una planificación amplia que considere distintas escalas territoriales (haciendo coincidir la escala de la solución con la escala del problema), y deben integrarse con políticas y acciones para enfrentar desafíos sociales. Por estas razones, el enfoque de SbN puede integrar conceptos similares proporcionando flexibilidad y permitiendo abordar mayores escalas (Cohen-Shacham *et al.*, 2019). Las SbN difieren de los enfoques de conservación y promoción de la biodiversidad debido a su marcada orientación a lograr objetivos sociales amplios como el bienestar humano, la reducción de la pobreza y el desarrollo social (Seddon *et al.*, 2019; 2020).

En general las SbN minimizan la intervención en los sistemas naturales, utilizando elementos de la naturaleza para lograr beneficios territoriales, por lo que su implementación minimiza los impactos generados sobre la estructura y composición de los ecosistemas (e.g. biodiversidad) y su funcionamiento (e.g. regulación climática, ciclos de nutrientes; Franklin *et al.* 2016). La singular riqueza natural de los países latinoamericanos ha sido destacada por su potencial uso para generar SbN y propiciar procesos de adaptación al cambio climático (IPCC, 2014). En diversos países del mundo, al igual que en Chile, se han reportado conflictos de escasez hídrica, que pueden ser abordados incorporando SbN en políticas ambientales, prácticas agrícolas y ordenamiento territorial (WWAP, 2018).

Las SbN son una estrategia utilizada para enfrentar la escasez hídrica en diversos territorios alrededor del mundo (Cohen-Shacham *et al.*, 2016). Por ejemplo, las SbN se han utilizado para aumentar y regular la disponibilidad hídrica en un 8,6% de los proyectos de adaptación al cambio climático en Mesoamérica (Cohen-Shacham *et al.*, 2016). En Asia, las SbN han permitido almacenar agua en ríos secos mediante la construcción de estructuras de recolección a pequeña escala, que, en combinación con la regeneración y restauración de bosques, han incrementado el volumen y calidad del agua colectada (WWAP, 2018). Otras experiencias incluyen la instalación de techos verdes, paredes y pavimento permeable, revitalización de lagos y humedales degradados, experiencias que aumentan la seguridad hídrica además de favorecer la resiliencia climática (WWAP, 2018).

Ecorregión mediterránea de Chile

La ecorregión mediterránea de Chile (EMC, Figura N°1) corresponde al territorio comprendido entre los 29° y 37°S de la vertiente occidental de Sudamérica, siendo una de las cinco regiones mediterráneas del mundo (Esler *et al.*, 2018). En términos ecológicos, la EMC ha sido categorizada como un sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad, dado su alto nivel de endemis-

mo y gran proporción de su superficie (70%) que se encuentra impactada por actividades humanas (Myers *et al.*, 2000).

El uso y consumo del agua en actividades industriales asociadas a la agricultura, minería e industria han modificado el abastecimiento hídrico en la EMC, haciendo menos predecible el comportamiento de las fuentes y cursos de agua (Escenarios Hídricos 2030, 2018). La agricultura es el principal consumidor de agua en la EMC (Budds, 2012; EH2030, 2018; Webb *et al.*, 2020; Figura N°1), ocupando una superficie de monocultivos frutales que genera impactos en la disponibilidad de agua para otros usos en estos territorios (Muñoz *et al.*, 2020). El intenso cambio en el uso del suelo de las últimas décadas en la EMC (Armesto *et al.*, 2010; Schulz *et al.*, 2010) ha alterado la salud y el funcionamiento de los ecosistemas y la provisión de los servicios que éstos proveen, especialmente la producción de agua (Santibáñez, 2015). Esto genera que la población perciba a la agricultura de monocultivos de exportación junto con la urbanización y la minería como las causas principales de la sequía y escasez hídrica en la EMC (Aldunce *et al.*, 2017).

Varias actividades industriales se ubican en zonas prioritarias para la regulación hídrica, como cabeceras de las cuencas en zonas de montaña, laderas con vegetación nativa, áreas de drenaje (e.g. ríos, humedales, zonas de infiltración y recarga de acuíferos) y en los reservorios de agua (e.g., glaciares y ambientes periglaciares; Aedo & Montecino, 2006; Brenning & Azócar, 2010; Morales, 2017). Además, junto con el impacto de las actividades industriales, la urbanización también es percibida como un agente causante de escasez hídrica (Aldunce *et al.*, 2017). El 88% de la población de Chile vive en zonas urbanas (INE, 2018) generando una creciente demanda por agua en zonas urbanas (MOP, 2017; MMA, 2019). Según datos del último censo (INE, 2018), la EMC tiene 11.645.801 habitantes, el 66% de la población de Chile, con un 9,3% viviendo en zonas rurales y un 90,7% habita en zonas urbanas (Figura N° 1). Las regiones Metropolitana y de Valparaíso, insertas en la EMC, concentran la mayor densidad poblacional de Chile, con 462 hab/km² y 111 hab/km² respectivamente.

Chile lidera el ranking de estrés hídrico dentro de Latinoamérica y se ubica en el puesto 18 a nivel global (Gligo *et al.*, 2020). La EMC experimenta una reducción en las precipitaciones, aumento de temperaturas y aumento en la recurrencia de años secos, fenómenos que se han incrementado desde el año 2010, generando la mega-sequía más severa del último milenio (Boisier *et al.*, 2016, 2018; Garreaud *et al.*, 2017, 2020). Durante las últimas décadas la disminución de la acumulación de nieve (Stehr & Aguayo, 2017; Saavedra *et al.*, 2018) y el retroceso de glaciares (Rivera *et al.*, 2006; Le Quesne *et al.*, 2009; EH2030, 2018) se ha acompañado de la disminución en los caudales de ríos (Bustos *et al.*, 2015; DPRH, 2015; Muñoz *et al.*, 2016, 2020; Barría *et al.*, 2019) y de los niveles de aguas subterráneas (Garreaud *et al.*, 2017; Duran-Llacer *et al.*, 2020), afectando la disponibilidad de agua para distintos usos, y el vigor de la vegetación (Garreaud *et al.*, 2017, 2020). Entre los años 2019-2020 un total de 138 comunas han sido declaradas como zonas de escasez hídrica entre las regiones de Coquimbo y Maule (29-37°S, DGA, 2020). Considerando las proyecciones de cambio climático, que predicen una reducción en las precipitaciones de más del 30% hacia final de este siglo, se espera que el acceso y abastecimiento de agua se torne más compleja en el corto y mediano plazo (Bozkurt *et al.*, 2018; Rojas *et al.*, 2019). En los Andes centrales, se estima que 10 millones de personas en Chile y Argentina, dependen directa o indirectamente de los glaciares como fuentes de agua (Masiokas *et al.*, 2006), especialmente durante periodos secos (Crespo *et al.*, 2020). La vulnerabilidad de esta región frente a la escasez hídrica se agrava al

considerar que todos los glaciares de la EMC se encuentran en retroceso, aun antes del inicio de la mega-sequía (Rivera *et al.*, 2006). El cambio climático ha evidenciado la relación entre escasez hídrica y conflictos socioambientales en la región (Panez-Pinto, 2018; Panez-Pinto *et al.*, 2018; Alaniz *et al.*, 2019; Duran-Llacer *et al.*, 2020; Muñoz *et al.*, 2020) generado por el desbalance entre la demanda de agua por parte de la población y las actividades productivas, asociado a un sistema deficiente de gestión, gobernanza y políticas públicas en torno al agua en el país (Budds, 2012; Santibáñez, 2015; Muñoz *et al.*, 2020).

En Chile existe una política nacional de derechos de aprovechamiento de agua inadecuada, que no considera la variabilidad natural de las fuentes de agua y su uso a través del tiempo, ni las necesidades de los distintos tipos de usuarios dentro de una cuenca (Budds, 2020; Muñoz *et al.*, 2020). Los derechos de aprovechamiento de agua son derechos de uso expresados en volúmenes por unidad de tiempo que tiene el titular del recurso agua, asignados por el Estado a perpetuidad y sin costo a quienes los soliciten inicialmente (DFL 1122). Una vez asignados, el titular de los derechos puede comercializarlos como un bien de mercado (Prieto *et al.*, 2019). Bajo este sistema, los mecanismos públicos de regulación y supervisión del uso del agua son limitados, un factor que ha aumentado las inequidades en su acceso (Bauer, 2004; Hearne & Donoso, 2014, Prieto *et al.*, 2019). La falta de conocimiento del funcionamiento ecosistémico y la exclusión de principios técnicos en la elaboración de políticas públicas y planificación territorial, conforman un sistema de alta complejidad que reduce las posibilidades de desarrollo social para varios tipos de usuarios del agua en los territorios de la EMC. En este contexto las SbN pueden ser un elemento clave para lograr este objetivo.

Actualmente, las propuestas para enfrentar la sequía y escasez hídrica en Chile se basan en políticas asistencialistas como el abastecimiento de agua en camiones aljibes para el consumo urbano, subsidios a la agricultura y construcción de infraestructura para el almacenaje y distribución (DPRH, 2015; Aldunce *et al.*, 2016; Martínez, 2016). A pesar de la inversión en estas iniciativas, el impacto de la sequía y escasez hídrica no han logrado solucionarse. Bajo este contexto, evaluamos el uso potencial de SbN para enfrentar conflictos de escasez hídrica de la EMC. Específicamente, esta investigación fue conducida por la pregunta: ¿Qué SbN se han implementado en el mundo para enfrentar la escasez hídrica, que puedan ser utilizadas en la EMC? A partir de las experiencias recopiladas se evaluaron tipos de SbN para resolver conflictos asociados a la escasez hídrica en Chile. Para esto (i) se recopiló información de los conflictos de escasez hídrica en la EMC, (ii) se identificó el uso de SbN para enfrentar conflictos de escasez hídrica en otras regiones del mundo, y finalmente (iii) se discutió la aplicabilidad de los modelos de SbN usados en el mundo sobre los distintos conflictos de escasez hídrica de la EMC. El objetivo principal de este artículo es relevar conocimiento nacional e internacional que sirva de sustento en el diseño de políticas públicas y planes de gestión territorial que incorporen las SbN como mecanismo para enfrentar conflictos y problemas asociados a escasez hídrica en la EMC.

Conflictos de escasez hídrica en la EMC

De acuerdo a la plataforma digital “Mapa de Conflictos Socioambientales en Chile” (<https://mapaconflictos.indh.cl>) del Instituto Nacional de Derechos Humanos (INDH), existen a la fecha 127 conflictos ambientales a lo largo de Chile, que presentan disputas entre diversos actores del

territorio: personas naturales, organizaciones, empresas públicas y privadas, y el Estado de Chile. De estos conflictos, 56 (44% del total) se relacionan directamente con el agua como derecho humano. Además se incorporaron 34 conflictos ambientales recopilados de otras fuentes (Anexo 1): 26 en Larraín & Poo (2010), seis en Larraín *et al.*, (2012) y dos de Castro & León (2014). De estos trabajos se seleccionaron conflictos socioambientales ocasionados por la sobreexplotación del recurso hídrico que generaron déficit, escasez de agua o intervención de cauces de ríos en la EMC (Anexo 1). En total se identificaron 14 conflictos de escasez hídrica, de los cuales nueve están ubicados en zonas rurales (Figura N°1 y N°2, Cuadro N°1), dos en zonas pobladas, y tres en zonas naturales (Anexo 1). Para complementar la información sobre las causas y antecedentes de los conflictos seleccionados, se buscó artículos sobre los mismos en la plataforma Google Scholar (<https://scholar.google.com/>).

Cuadro N°1.

Conflictos de escasez hídrica identificados en territorios rurales de la Ecorregión Mediterránea de Chile (EMC). En negrita se destaca al principal actor involucrado en cada conflicto. El número asignado (C1 a C9) en la primera columna se asocia a la ubicación de los conflictos detallados en las Figuras N°1 y N°2.

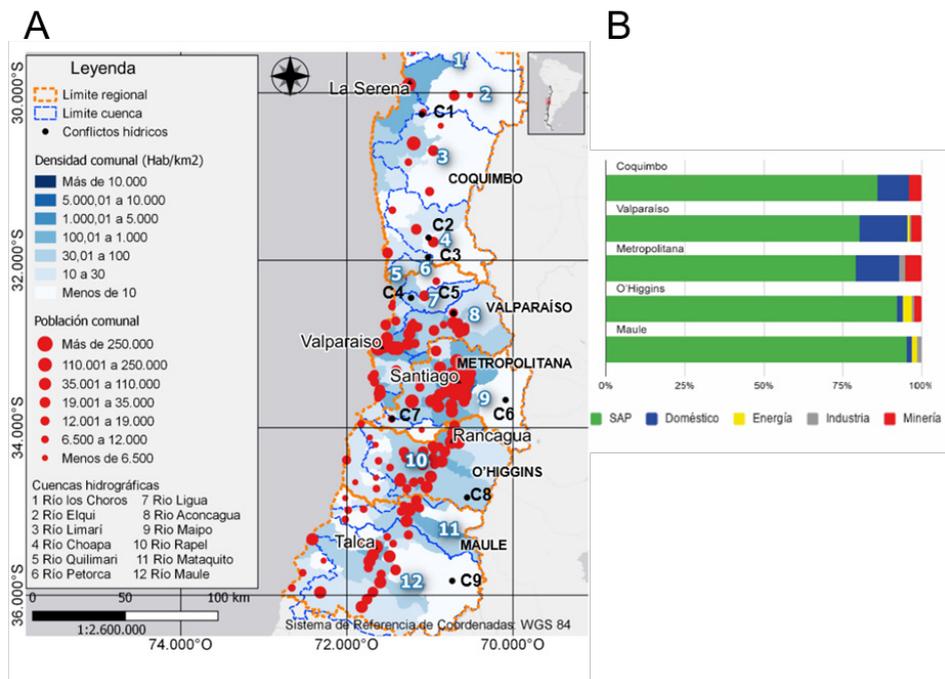
Nº	CONFLICTO	CUENCA, COMUNA	ACTORES INVOLUCRADOS	REGIÓN
C1	Reservas del acuífero agotadas	Subcuenca acuífero El Culebrón, Andacollo	-Minería -Agricultura -Comité agua potable rural -Comunidad local	Coquimbo
C2	Disminución de caudales de agua de pozo	Cuenca Choapa, Localidad Chuchiñi, Salamanca	-Minería -Agricultura -Comunidad local	
C3	Destrucción del sistema hidrológico y contaminación hídrica	Cuenca estero Pupío, Localidad Caimanes, Los Vilos	-Minería -Agricultura -Comunidad local	
C4	Pozos de agua subterránea agotados	Cuenca río Petorca y río La Ligua	-Agroindustria -Agricultores locales -Comité de agua potable rural	Valparaíso
C5	Agua destinada a la agroindustria y contaminación hídrica	Cuenca río Rocín y río Putaendo, Putaendo	-Agroindustria/Minería -Agricultores locales -Comunidad local -Comité agua potable rural	
C6	Alteración del ciclo hidrológico y contaminación hídrica	Cuenca río Maipo, San José de Maipo	-Hidroelectricidad -Agricultura -Comunidad local -Agua Andinas	Metropolitana
C7	Pozos de agua subterránea agotados	Subcuenca estero Yali, San Pedro de Melipilla	-Agroindustria -Agricultores locales -Comité agua potable rural -Comunidad local	

Nº	CONFLICTO	CUENCA, COMUNA	ACTORES INVOLUCRADOS	REGIÓN
C8	Variación de los caudales de río	Cuenca río Tinguiririca, San Fernando	- Hidroelectricidad -Agricultura -Comunidad local -Junta de vigilancia del río	O'Higgins
C9	Disminución de los niveles de agua del embalse	Cuenca Maule, San Clemente	- Hidroelectricidad -Agricultura -Comunidad local	Maule

Fuente: Elaboración propia.

Figura N°1

(A) Área de estudio y localización de conflictos hídricos en zonas rurales de la Ecorregión Mediterránea de Chile (EMC, C1 a C9), identificando densidad poblacional (habitantes/km²) y población (cantidad habitantes) comunales, y las cuencas hidrográficas (cuencas costeras excluidas).
(B) Distribución porcentual de la Huella Hídrica entre los principales consumidores de agua en las regiones administrativas de Chile que comprende este estudio. El consumo de agua del sector energético corresponde a centrales termoeléctricas en las regiones de Valparaíso y Metropolitana, y de hidroeléctricas de embalse artificial en las regiones del Libertador Bernardo O'Higgins y del Maule.



Fuente: Elaboración propia. (A) Datos de población obtenidos del Instituto Nacional de Estadísticas (www.ine.cl). Archivos de cuencas y división política-administrativa regional y comunal (n=168) obtenidos de Infraestructura de Datos Geoespaciales (www.ide.cl). (B) Datos de Huella Hídrica adaptados de Jaramillo (2017). SAP: actividades silvoagropecuarias.

Conflictos hídricos asociados a la agroindustria

En esta categoría se incorporaron los conflictos generados por el agotamiento de fuentes de agua superficiales y subterráneas generados por su extracción para usar en actividades agrícolas. Se identificaron conflictos en Petorca (Panez-Pinto *et al.*, 2018; Muñoz *et al.*, 2020), Cabildo, La Ligua (INDH, 2020), Melipilla (Larraín & Poo, 2010) y Putaendo (Faundez & Mundaca, 2019; INDH, 2020; Figura N°2). En general, para todas las regiones políticas-administrativas de Chile central, la actividad silvoagrícola presentó la mayor huella hídrica (Figura N° 1B).

En Petorca (C4, Figura N°2B), la actividad de pequeños agricultores y el abastecimiento de agua para las comunidades se encuentra en riesgo debido a que el flujo superficial del río ha desaparecido en algunas secciones de la cuenca, y muchos de los pozos no proporcionan suficiente agua para satisfacer la demanda de distintos usuarios. Esto es consecuencia de que una gran proporción de los derechos de agua pertenecen a empresas agroindustriales de paltos y cítricos (Duran-Llacer *et al.*, 2020) que actúan como grandes consumidores del recurso (Osorio, 2013). El sobre otorgamiento de derechos de aguas ha reducido significativamente el caudal del río Petorca en los últimos años (Muñoz *et al.*, 2020). Por su parte, en San Pedro de Melipilla (C7, Figura N°2C) la explotación de pozos para abastecer a la agroindustria ha agudizado los problemas de escasez hídrica para consumo humano y pequeña agricultura local. La comunidad señala que pozos y norias se encuentran secos, mientras que las grandes empresas poseen recursos y tecnología para acceder a acuíferos mediante pozos de mayor profundidad (Larraín & Poo, 2010). Para el embalse Chacrillas (C5, Figura N°2B), que recibe el agua del río Putaendo, los derechos de agua están concedidos a sólo 32 usuarios, seis de los cuales concentran el 52% de todas las acciones (Junta de Vigilancia, 2020).

La disminución de la recarga de acuíferos también se debe a factores como la extensión de las obras de impermeabilización de canales y acequias, y al cambio hacia prácticas y tecnologías de riego de mayor eficiencia, que no necesariamente equivalen a "ahorros reales del recurso agua" (Foster & Perry, 2010), considerando que implican reducir la infiltración y con esto la recarga de agua al subsuelo.

Conflictos hídricos asociados a la industria hidroeléctrica

Un total de 34 generadoras hidroeléctricas operan en la EMC (Generadoras de Chile, 2020), identificándose los principales conflictos en la cuenca del río Maule, cuenca alta del río Maipo y río Tinguiririca (Castro & León, 2014; Larraín *et al.*, 2012; Cuadro N°1, Figura N°2). En general, los conflictos de escasez hídrica generados por las hidroeléctricas y la construcción de represas producen cambios en las fluctuaciones normales de los ríos, imposibilitando una distribución equitativa del agua a los distintos usuarios de la cuenca (Castro & León, 2014).

En el río Maule, se emplazan seis centrales hidroeléctricas (C9, Figura N°2C). La disponibilidad de agua de la Laguna del Maule ha disminuido significativamente debido a la sobre extracción del recurso para la generación de electricidad por parte de empresas que no respetaron el acuerdo de 1947 (DS 3.341) que entrega el agua en mayor porcentaje a los agricultores en situaciones de escasez, reduciendo el suministro de agua para riego en zonas bajas de la cuenca (Larraín *et al.*, 2012; Castro & León, 2014).

En la cuenca alta del río Maipo (C6, Figura N°2B) se emplaza la construcción de la central Alto Maipo, que ya cuenta con cuatro centrales (Labra, 2020). En esta cuenca los estudios han proyectado la desertificación de una superficie mayor a 100.000 ha, generando inseguridad hídrica para cerca de seis millones de habitantes en la ciudad de Santiago y poniendo en riesgo la irrigación de 120.000 ha agrícolas de este valle (Castro & León, 2014; Larraín & Poo, 2010; INDH, 2020). Para el proyecto Alto Maipo se han reportado impactos sobre glaciares debido a las tronaduras, construcción de caminos y deposición de escombros en la alta cordillera (González *et al.*, 2015) poniendo en riesgo estas fuentes estratégicas que almacenan y entregan agua.

En la cuenca del río Tinguiririca (C8, Figura N°2C), se emplazan las centrales de pasada La Higuera y La Confluencia. La reducción del caudal de este río ha dificultado la captación de agua para riego, dejando los cultivos de los regantes expuestos a periodos sin riego (Larraín *et al.*, 2012; Castro & León, 2014). Esto se debe a que la empresa Tinguiririca construyó pequeños embalses para enfrentar la sequía (Larraín *et al.*, 2012; Castro & León, 2014), lo cual podría no ser legal considerando que la empresa no posee derechos de agua consuntivos, por tanto, no debe acumular las aguas del río.

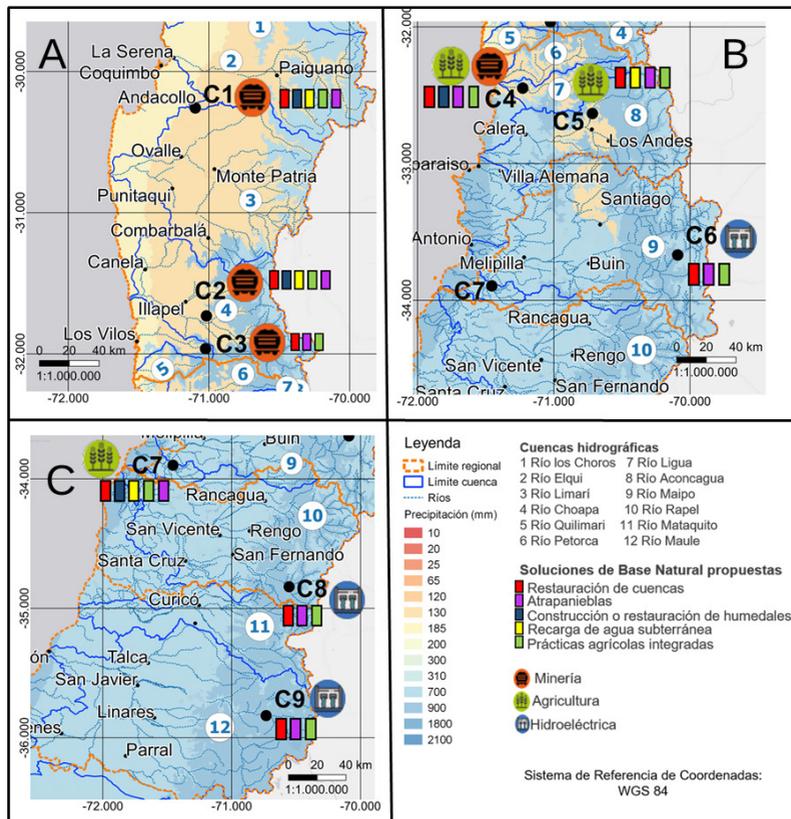
Conflictos hídricos asociados a la industria minera

Se identificaron tres conflictos en esta categoría localizados al norte de la EMC (Figura N°2A), zona cuyos recursos han estado históricamente comprometidos por la sequía y las escasas precipitaciones. Los grandes volúmenes de extracción de agua por parte del sector minero, además de la contaminación con sedimentos y compuestos tóxicos, han alterado la cantidad y calidad de diversas fuentes de agua.

La Mina Carmen de Andacollo (C1, Figura N°2A) ha contribuido al agotamiento de las reservas de agua en el acuífero El Culebrón debido al sobre otorgamiento de derechos de agua (Larraín & Poo, 2010). La sobreexplotación de aguas subterráneas restringe el acceso de otros usuarios (Bonelli *et al.*, 2016) como la empresa sanitaria Aguas del Valle y los agricultores locales (Larraín & Poo, 2010; Bonelli *et al.*, 2016). La minera Tres Valles (C2, Figura N°2A), localizada en la parte alta de la cuenca del río Choapa, provocó reasentamiento de familias, alteración de monumentos patrimoniales y daños en el sistema de producción agrícola y del ecosistema en general (Astorga *et al.*, 2017; INDH, 2020). La explotación minera de tres cuencas hidrográficas en esta región (Quebradas Manquehua, Cárcamo y Quilmenco), ha disminuido la disponibilidad de agua subterránea y alterado su calidad con sedimentos y minerales (Cordero, 2017; INDH, 2020). En el Valle de Pupío, el tranque de relaves El Mauro destruyó el sistema hidrológico (C3, Figura N°2A), irrigado por el estero del mismo nombre. Estas fuentes de agua pertenecían a los regantes de tierras aguas abajo, quienes poseían derechos de aprovechamiento inscritos por el total del caudal del estero de Pupío (Larraín & Poo, 2010; Bottaro *et al.*, 2014).

Figura N°2

Área de estudio y localización de conflictos hídricos en zonas rurales de la Ecorregión Mediterránea de Chile (EMC, Fig. 2A: Conflictos C1 a C3; Fig. 2B: Conflictos C4 a C6; Fig. 2C: Conflictos C7 a C9), identificando las cuencas hidrográficas (cuencas costeras excluidas), principales poblados y sector económico involucrado en cada conflicto (agricultura, hidroeléctrica o minería) y las Soluciones de base Natural propuestas.



Fuente: Elaboración propia. Datos de población obtenidos del Instituto Nacional de Estadísticas (www.ine.cl). Archivos de clima según Clasificación de Köppen (precipitación), cuencas hidrográficas y división política regional obtenidos de Infraestructura de Datos Geospaciales (www.ide.cl) y archivos de ríos obtenidos del Centro de Desarrollo Urbano Sostenible (www.cedeus.cl).

Soluciones de base Natural para conflictos de escasez hídrica

Se realizó una búsqueda de SbN que hayan sido utilizadas para resolver problemas de escasez hídrica en el mundo, y que tuviesen aplicación en zonas rurales. Para la búsqueda se utilizaron distintas las plataformas ScienceDirect (<https://www.sciencedirect.com/>), Google Scholar (<https://scholar.google.com/>) y Web of Science (<https://www.webofknowledge.com/>) utilizando las palabras “soluciones de base natural” y “escasez hídrica”, y su traducción al inglés “nature-based solutions” y “water scarcity”, seleccionando publicaciones que fueran desde 1990 a junio 2021.

Cuadro N°2.

Soluciones de base Natural (SbN) para conflictos de escasez hídrica en sectores rurales identificados en el mundo.

CATEGORÍA	SBN	PAÍS	TIPO DE CONFLICTO	REFERENCIAS
Restauración de cuencas	Conservación de ecosistemas	Guatemala	Sobreexplotación de acuíferos, contaminación, agricultura y deforestación	Guerra & Alvarado, 2006; GWP, 2013
		EE. UU	Embalse	Abell <i>et al.</i> , 2017
		China	Deforestación y agricultura	Jia <i>et al.</i> , 2017
		Perú	Ganadería	FAO, 2013
		Ecuador	Deforestación, agricultura y ganadería	WWAP, 2018; Trémolet, 2019
	Protección de tierras	Ecuador	Deforestación, agricultura y ganadería	WWAP, 2018; Trémolet, 2019
		India	Sequía y deforestación	WWAP, 2018
		Ruanda	Embalse, deforestación y agricultura	Cohen-Shacham <i>et al.</i> , 2016
		Kenia	Extracción de agua no regulada, agricultura, malas prácticas de uso de la tierra	Chiramba <i>et al.</i> , 2011; WWAP, 2018
	Reforestación/ Revegetación	Chile	Deforestación, agricultura y ganadería	Red Agua Chiloé, 2019
		China	Agricultura	World Bank, 2003, 2007; FAO, 2011
		Guatemala	Sobreexplotación de acuíferos, contaminación, agricultura y deforestación	Guerra & Alvarado, 2006; GWP, 2013
		Ecuador	Deforestación, agricultura y ganadería	WWAP, 2018; Trémolet, 2019
		México	Deforestación, ganadería e incendios	Sonneveld <i>et al.</i> , 2018
		Ruanda	Embalse, deforestación y agricultura	Cohen-Shacham <i>et al.</i> , 2016
		Tanzania	Sequía	Sonneveld <i>et al.</i> , 2018
		Costa Rica	Deforestación	Sánchez-Chaves & Navarrete-Chacón, 2017
	Humedales	Perú	Ganadería	FAO, 2013
		Ruanda	Embalse, deforestación y agricultura	Cohen-Shacham <i>et al.</i> , 2016
		Chile	Deforestación, agricultura y ganadería	Red Agua Chiloé, 2019
	Franjas de vegetación ribereña	Tanzania	Sequía	Sonneveld <i>et al.</i> , 2018
EE. UU		Agricultura	Sonneveld <i>et al.</i> , 2018	
Kenia		Extracción de agua no regulada, agricultura, malas prácticas de uso de la tierra	Chiramba <i>et al.</i> , 2011; WWAP, 2018	

CATEGORÍA	SBN	PAÍS	TIPO DE CONFLICTO	REFERENCIAS	
Infraestructura ancestral y natural	Atrapanieblas	Chile	Agricultura	Cereceda <i>et al.</i> , 2014	
	Amunas (recarga artificial de acuíferos)	Perú	Agricultura	Apaz <i>et al.</i> , 2006; Carpay <i>et al.</i> , 2019; MINAGRI, 2016	
	Pozos de recarga	México	Deforestación, ganadería e incendios	Sonneveld <i>et al.</i> , 2018	
		Etiopía	Sequía y degradación de tierra	WWAP, 2018	
	Zanjas de infiltración	Etiopía	Sequía y degradación de tierra	Taye <i>et al.</i> , 2015; WWAP, 2018	
		Chile	Deforestación y agricultura	EH2030, 2020	
		México	Degradación de tierra	LaFavor, 2014	
		Perú	Sequía	MINAGRI, 2016	
	Prácticas agrícolas integradas	Agricultura de conservación	Uganda	Sequía	GWPEA, 2016
			EE. UU	Agricultura	Sonneveld <i>et al.</i> , 2018
Brasil			Agricultura	Mello & Raij, 2006; Freitas & Landers, 2014	
Agrosilvicultura		Tanzania	Sequía	FAO, 2011; Sonneveld <i>et al.</i> , 2018	
		Kenia	Extracción de agua no regulada, agricultura, malas prácticas de uso de la tierra	Chiramba <i>et al.</i> , 2011; WWAP, 2018	
Terrazas de banco		China	Agricultura	World Bank, 2003, 2007; FAO, 2011	
		Tanzania	Sequía	FAO, 2011; Sonneveld <i>et al.</i> , 2018	

Fuente: Elaboración propia.

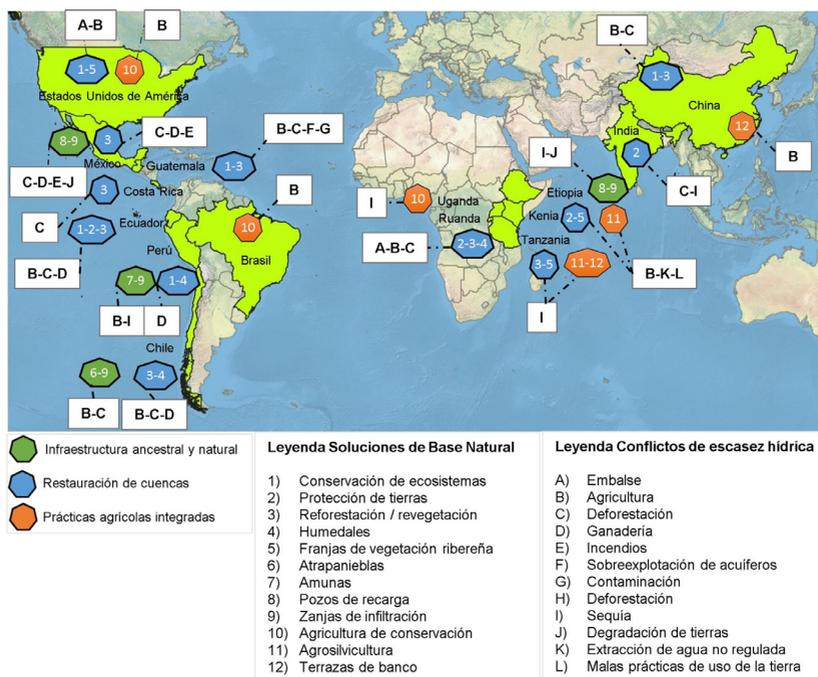
Los artículos, informes técnicos, libros y capítulos que resultaron de estas búsquedas permitieron incluir literatura consultada en estos documentos, así como otros términos de búsqueda para la discusión crítica de resultados.

La literatura recopilada se subdividió en tres categorías de SbN relacionadas con (i) la restauración de cuencas y humedales, incluyendo su protección, conservación, reforestación, revegetación, y franjas de amortiguación ribereña; (ii) la infraestructura ancestral y natural, incluyendo la construcción de atrapanieblas, zanjas de infiltración, pozos de recarga y amunas; y (iii) las prácticas agrícolas integradas, incluyendo agricultura de conservación, terrazas de banco y agrosilvicultura. Para estudiar la aplicabilidad de las SbN y proponer las diversas estrategias estas fueron clasificadas usando los siguientes criterios: (i) aumento de la disponibilidad hídrica de aguas subterráneas, (ii) aumento de la disponibilidad hídrica de aguas superficiales y, (iii) uso sostenible de los recursos naturales en la agricultura. Finalmente se estableció la relación y aplicabilidad entre los conflictos hídricos y SbN.

Varias estrategias han sido empleadas para incrementar la cantidad y calidad del agua en el mundo. Destacan la restauración de cuencas hidrográficas, infraestructura ancestral y natural, y prácticas agrícolas integradas, involucrando a la industria, comunidades y al Estado, para generar áreas de distintos usos que aseguran la provisión de servicios ecosistémicos de importancia para reducir el estrés hídrico (Cuadro N° 2).

Figura N°3.

Cartografía temática de Soluciones de base Natural (SbN) para conflictos de escasez hídrica en sectores rurales identificados en el mundo.



Fuente: Elaboración propia

Restauración de cuencas

Una cuenca hidrográfica es un área definida por los vínculos hidrológicos, en donde la gestión óptima requiere el uso coordinado de los recursos naturales por parte de todos sus usuarios (Kerr, 2007). La restauración de cuencas se define como el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema a escala de paisaje (cuenca) que ha sido degradado, dañado o destruido (McDonald et al., 2016). La conectividad entre componentes del paisaje permite regular la escorrentía (su-)-superficial al atrapar sedimentos, estabilizar los cursos de agua y reducir la erosión del cauce, almacenar agua subterránea y mantener una alta diversidad biológica (Wenger & Fowler, 2000; Gayoso & Gayoso, 2003; Möller, 2011; Frene & Oyarzún, 2014). Los humedales son componentes fundamentales en el ciclo del agua y el manejo de las cuencas hidrográficas, ayudando a la mitigación de inundaciones, recarga y almacenamiento de aguas subterráneas (EPA, 2001; Ramsar, 2009). Se ha demostrado que la restauración y conservación de cuencas mejora la cantidad y calidad del agua, al utilizar la capacidad natural de los suelos y la vegetación para regular el ciclo hidrológico (WWAP, 2018).

Diversas iniciativas de restauración de cuencas como SbN fueron identificadas en el mundo (Cuadro N°2, Figura N°3). Un ejemplo de estas iniciativas es Rajasthan, India, que logró aumentar el nivel freático 6 m, incrementando la productividad de las tierras agrícolas del 20% al 80%, además de lograr que cinco ríos que solían secarse volvieran a fluir (WWAP, 2018). En Catrumán, Chiloé, la reforestación con árboles nativos, humedales artificiales y un ordenamiento territorial permitió recuperar entre 600 y 1000 L diarios de agua potable por hogar, además de depurar y reutilizar agua para riego (Red Agua Chiloé, 2019). Se ha demostrado que también se puede llegar a disminuir alrededor de 10% los sedimentos o exportación de nutrientes (fósforo) y mejorar la calidad del agua para consumo humano (Abell *et al.*, 2017). Lo anterior cobra gran importancia ya que actualmente las cuencas hidrográficas cubren el 37% de la superficie terrestre (Abell *et al.*, 2017).

La participación de los usuarios para la gestión de una cuenca cumple un rol fundamental para concientizar y educar a los diversos actores. En la cuenca del río San Jerónimo, Guatemala, se conformó un comité con los principales usuarios de la cuenca, quienes establecieron una tasa para la conservación del área de recarga en la cuota que los usuarios del sistema de riego pagan anualmente, e implementaron un sistema de riego por goteo, reforestación, regeneración, y un plan de ordenamiento territorial (Guerra & Alvarado, 2006; GWP, 2013). Otra alternativa es la creación de fondos monetarios de agua para la gestión de cuencas mediante contribuciones de entidades públicas, privadas y los principales usuarios. Por ejemplo, en Quito y Guayaquil (Ecuador), estos fondos han apoyado la educación y concientización ambiental, la protección de áreas naturales críticas y la restauración ecológica (WWAP, 2018; Trémolet, 2019).

Infraestructura ancestral e infraestructura natural

La infraestructura ancestral o de pequeña escala, tales como atrapanieblas, amunas, y zanjas de infiltración, se pueden combinar en forma sinérgica con las SbN asociadas a la restauración de cuencas para la obtención de agua desde la atmósfera, las precipitaciones y escorrentía, y por consiguiente enfrentar desafíos de escasez hídrica.

Los atrapanieblas capturan agua a través de la condensación de humedad del aire utilizando por lo general mallas de polipropileno o nylon, existiendo en la actualidad mejoras en el diseño y materialidad para aumentar la eficiencia de captura (Azeem *et al.*, 2020; Sharifvaghefi & Kazerooni, 2021). Además, la captura por parte de especies vegetales ha inspirado el desarrollo de otros tipos de superficies para captar agua desde la atmósfera (Bhushan, 2019). En Chile, diversos casos demuestran la aplicación de atrapanieblas en zonas áridas y semiáridas (Schemenauer & Cereceda, 1991; Cereceda *et al.*, 2014). En la localidad de Peña Blanca, Región de Coquimbo, existen 24 atrapanieblas con una capacidad de captación de agua promedio anual de 4,5 a 5 m³-día⁻¹ (Cereceda *et al.*, 2014). En el sector de Pan de Azúcar, Región de Coquimbo, se establecieron tres atrapanieblas de 153 m², que pueden coleccionar 2,5 L/m² al día (Cereceda *et al.*, 2014). Recientemente se han creado estructuras helicoidales para la captación de niebla en Copiapó, Región de Atacama, utilizando el viento para generar fuerza centrífuga y recolectar agua de niebla (CORFO, 2017; Figura N° 4A), obteniendo 10 L de agua por día (Pulsosocial, 2017).

Las amunas, sistema de infraestructura ancestral utilizado en Perú (Figura N°4E), están diseñadas para la captura de agua mediante el uso de canales de conducción y la posterior infiltración

de agua en el suelo para luego cosecharla aguas abajo del lugar de captación (Apaza *et al.*, 2006; MINAGRI, 2016). Tradicionalmente, estos canales se han construido utilizando rocas fracturadas, tierra, arcilla y arena (Carpay *et al.*, 2019). Estudios realizados en Lima, Perú, concluyeron que la amuna Huyatama llega a almacenar más de un millón de m³ de agua por año, mientras que la amuna de Pacchipucro ayuda a infiltrar 90.000 m³ de agua al subsuelo al año (Carpay *et al.*, 2019). Sin embargo, en algunos casos este tipo de infraestructura por sí sola no ha sido efectiva para dar solución a problemas de escasez de agua (MINAGRI, 2016).

Las zanjas de infiltración son canales sin desnivel construidos en laderas, cuyo objetivo es captar y almacenar el agua que escurre, disminuyendo la erosión al aumentar la infiltración del agua en el suelo, propiciando el almacenamiento de humedad para la vegetación (Pizarro *et al.*, 2004; Locatelli *et al.*, 2020). Estas zanjas permiten la recuperación de suelos degradados, la captura de humedad y la recarga de las napas freáticas (Gutiérrez, 2016; Labra *et al.*, 2018). En distintas regiones de Perú se han implementado experiencias y prácticas que contribuyen con la recarga hídrica y cosecha de agua, como las zanjas de infiltración, obteniendo distintos grados de efectividad (MINAGRI, 2016). En Etiopía, África, pozos de infiltración y sitios de captación de agua, junto con plantaciones de frutales, lograron mejorar la cubierta vegetal y proporcionar un aumento en la disponibilidad hídrica (GWPEA, 2016; WWAP, 2018), además de zanjas de infiltración que fueron efectivas para reducir la escorrentía y la erosión durante dos o tres años (Taye *et al.*, 2015). En el Valle de Puebla-Tlaxcala, México, la construcción de zanjas de infiltración y la restauración del valle lograron acumular 1,3 millones de m³/año de agua adicional, gracias a la preservación de 750 ha y la instalación de 91 mil pozos (Sonneveld *et al.*, 2018). Sin embargo, en la misma región, otro estudio mostró que 16 de 24 zanjas se llenaron con sedimentos al 50% de su volumen después de menos de cuatro años y que todas las zanjas establecidas se llenarían por completo con sedimentos después de once años (LaFevor, 2014). Esto generaría una pérdida de su capacidad de impedir el flujo terrestre, capturar la escorrentía, retener agua y almacenar sedimentos, sugiriendo que la restauración de tierras agrícolas degradadas requiere, además de diferentes métodos y criterios, de un esfuerzo sostenido y a largo plazo en el mantenimiento de los sistemas de infiltración (LaFevor, 2014). En el Jardín Botánico de Viña del Mar, Chile, se han construido 24 km lineales de zanjas de infiltración, las que se encuentran en ejecución hace tres años y han logrado una recuperación en torno a los 200 millones de L de agua anuales (EH2030, 2020). En Chile, como en muchos países del mundo, varias de estas experiencias no han sido sistematizadas y/o monitoreadas respecto de sus resultados y consecuencias, lo cual ha dificultado evaluar la efectividad de este tipo de SbN en distintos contextos y territorios. En Perú, de un total de 57 estudios solamente tres de ellos han evaluado la efectividad de las zanjas de infiltración, y si bien algunos han evidenciado su contribución al régimen hídrico, también hay muchos otros donde no han sido construidas con toda la información necesaria para evaluar sus impactos y aprender de las experiencias (Locatelli *et al.*, 2020). En general, las prácticas que promueven la recarga hídrica no siempre tienen la misma efectividad. Existen casos en que el manejo de pasturas ha sido más efectivo que la construcción de zanjas de infiltración o la forestación, respecto a incrementar volumen de agua en las fuentes o humedad en el suelo y subsuelo (MINAGRI, 2016). Según Locatelli *et al.*, (2020), en distintas experiencias en Perú, se ha demostrado que las zanjas de infiltración tienen poco efecto sobre el aumento del caudal base (Somers *et al.*, 2018), aunque han disminuido la erosión laminar en suelos degradados de doce regiones altoandinas (Vasquez & Tapia, 2011).

Prácticas agrícolas integradas

Las prácticas agrícolas integradas son aquellas que combinan técnicas mejoradas en la gestión y manejo sostenible del suelo y el agua, adaptadas a los ecosistemas locales y las circunstancias sociales, así como a una demanda viable del mercado (Neely & Fynn, 2010; CDE, 2010). Estas intensifican la producción como resultado de un manejo integrado de la fertilidad del suelo, junto con una mayor eficiencia en el uso del agua y diversidad de cultivos. Dentro de estas se pueden considerar la agricultura de conservación, agroforestería, terrazas de banco, entre otras (FAO, 2011).

La agricultura de conservación, hoy también llamada intensificación ecológica de la agricultura, proporciona un incremento en la infiltración del agua lluvia, reduciendo la escorrentía, evaporación y erosión de los suelos, aumentando materia orgánica y estructura de los componentes edáficos (FAO, 2011). La agricultura de conservación se basa en la alteración mecánica mínima del suelo o labranza cero, priorizando la cobertura permanente del suelo con materia de origen vegetal y diversificación de cultivos mediante rotación o cultivos intercalados, permitiendo ahorrar agua de riego y acumular materia orgánica (Donovan, 2020). Por su parte, la agroforestería incorpora diversidad de árboles a los monocultivos tradicionales, generando asociaciones benéficas entre las plantas. Este sistema permite mejorar la calidad del agua, reducir estrés de las plantas y animales, reducir el número e intensidad de plagas y captar más agua (Gold, 2017; WWAP, 2018). Otra aproximación es el uso de terrazas, obras que permiten el manejo y conservación del suelo en tierras con pendientes, aumentando la infiltración de agua y su acumulación, utilizadas con el objetivo de cultivar una diversidad de alimentos (Labra *et al.*, 2018). Este sistema fue utilizado por el imperio Inca y actualmente se desarrolla en Chile por mujeres aymaras en sectores como Putre, a 3600 msnm (Potter & Villablanca, 2018).

Diversos ejemplos de prácticas agrícolas integradas fueron identificadas (Cuadro N°2). En la cuenca del río Paw Paw, Estados Unidos, se creó un sistema de pago por servicios ambientales (PSA) para incentivar a los agricultores en acciones de conservación, proporcionando un pago por el aumento de la recarga de aguas subterráneas, propuesto por The Nature Conservancy en asociación con agencias locales de conservación agrícola y empresas privadas, utilizando prácticas de labranza cero y labranza reducida. Esto permitió un aumento de 378,5 millones de L en la recarga de agua subterránea durante un periodo de tres años (Sonneveld *et al.*, 2018). Esta iniciativa de PSA también fue implementada en Kenia por parte de usuarios y administradores de la cuenca, en donde utilizando fondos financiados por subsidios gubernamentales y contribuciones pagadas por los grandes usuarios del agua se aseguró un suministro de agua en cantidad y calidad mediante la protección, restauración y conservación de cuencas, logrando con éxito mejoras en la gestión de agua y tierra (Chiramba *et al.*, 2011; WWAP, 2018). En Costa Rica, este sistema permitió revertir los procesos de pérdida forestal, logrando aumentar la cobertura forestal de 21% en 1987 a 52,4% en 2013 (Sánchez-Chaves & Navarrete-Chacón, 2017). En Uganda, África, también se han implementado prácticas de labranza cero, junto con la aplicación de estiércol en suelos y agroforestería, logrando incrementar la retención de agua y amortiguando el efecto de la sequía en los cultivos (GWPEA, 2016). En Brasil, la práctica de cero labranza se aplica desde 1972 como mecanismo para combatir la baja fertilidad y producción del suelo, estimándose en 2006 que más del 60% de la superficie de tierras cultivadas se desarrolla bajo este sistema (Mello & Raji, 2006; Freitas & Laders, 2014). En el río Ruvu, Tanzania, se han utilizado técnicas de reforestación,

agroforestería, terrazas de banco, franjas de pastos, cultivos intercalados con árboles frutales, cobertura y fertilización con estiércol animal con el fin de limitar la escorrentía, logrando de manera exitosa combatir la erosión del suelo, aumentando su humedad y la productividad de los cultivos (Sonneveld *et al.*, 2018).

Figura N°4.

Ejemplos de mecanismos usados como Soluciones de base Natural (SbN) para la escasez hídrica en diferentes ecosistemas del mundo.



(A) Atrapanieblas en forma de esfera (Fuente: CORFO, 2017); (B) Zanjas de infiltración (Fuente: Agro Rural); (C) Humedal artificial (Fuente: Barrientos, 2019); (D) Monitoreo de la calidad y cantidad de agua (Fuente: Nuñez, 2005); (E) Amuna restaurada (Fuente: AguaFondo, 2017); (F) Terraza de banco (Fuente: Potter & Villablanca, 2018).

Propuesta de SbN para conflictos de escasez hídrica en la EMC

Diversas SbN utilizadas en el mundo actúan como estrategias para enfrentar conflictos de escasez hídrica. Para cada conflicto en la EMC, se propone la ejecución de una o más SbN, en donde se combina la participación de todos los actores involucrados (Cuadro N°3).

Los nueve conflictos de escasez hídrica identificados involucran a la agroindustria y la agricultura local, por lo que se propone integrar prácticas de agricultura de conservación, agrosilvicultura, terrazas de banco y atrapanieblas en zonas de alta humedad atmosférica. Para los conflictos situados en La Ligua Petorca, Cabildo, San Pedro de Melipilla, Salamanca, y Andacollo, que afectan fuentes de agua subterránea, se sugieren medidas de restauración de cuencas (reforestación, conservación, franjas de amortiguamiento ribereña y humedales) e infraestructura ancestral y natural para la captura, recolección, almacenamiento y tratamiento de agua, como son zanjas de infiltración, amunas, pozos de recarga y humedales. Por otra parte, los conflictos ubicados en las comunas de Los Vilos, Putaendo, San José de Maipo, San Fernando, y San Clemente, cuyas fuentes de aguas superficiales han sido intervenidas o se encuentran agotadas, se recomiendan prácticas de restauración de cuencas enfocadas en la reforestación, conservación y protección del suelo y los ecosistemas nativos, además del diseño de franjas ribereñas de amortiguación. La

efectividad de estas soluciones dependerá de los entornos políticos y de la evolución de marcos regulatorios que dificultan el acceso equitativo al agua y la conservación de los bosques en Chile (Barría *et al.*, 2021; Hoyos-Santillan *et al.*, 2021). En este contexto, los incentivos que involucra la Ley 20.283 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal han sido insuficientes y engorrosos para ser solicitados por los propietarios de bosque, en comparación a los incentivos que han recibido las plantaciones forestales de especies exóticas a través del Decreto Ley 701 (Hoyos-Santillan *et al.*, 2021), lo cual es un entorno legal que debe ser modificado para avanzar en el desarrollo de SbN. Es importante mencionar que la aplicabilidad de las SbN propuestas deben ser evaluadas caso a caso, y considerar las condiciones ambientales, geográficas, sociales y económicas de cada situación, así como también a todos los actores involucrados. La pertinencia territorial de las SbN implementadas es un atributo fundamental para su éxito en el mediano y largo plazo (Seddon *et al.*, 2020).

Cuadro N°3.

Conflictos de escasez hídrica para la Ecorregión Mediterránea de Chile (EMC) y mecanismos de Soluciones de base Natural (SbN) que pueden ser aplicados en cada caso.

Fuente afectada	Zona	Conflicto	Mecanismos de Soluciones de base Natural (SbN)											
			Restauración/ revegetación de tierras	Conservación/ protección ribereña	Franja amortiguamiento	Restauración o construcción de humedales	Zanjas de infiltración	Pozos de recarga	Amunas	Atrapaniebla	Agricultura de conservación	Agro Silvicultura	Terrazas de banco	
Aguas subterráneas	Andacollo	Reservas del acuífero agotadas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Chuchifilí, Salamanca	Disminución de los caudales de agua de pozo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	San Pedro de Melipilla	Pozos de agua subterránea agotados	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Petorca, Cabildo, La Ligua	Pozos de agua subterránea agotados	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Aguas superficiales	Caimanes, Los Vilos	Destrucción del sistema hidrológico y contaminación hídrica	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	
	Putauendo	Agua destinada a la agroindustria y contaminación hídrica	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	
	San José de Maipo	Alteración del ciclo hidrológico y contaminación hídrica	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	
	San Fernando	Variación de caudales del río	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	
	San Clemente	Disminución niveles de agua del embalse	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	

Restauración de cuenca	✓
Humedales	✓
Recarga agua subterránea	✓
Atrapaniebla	✓
Prácticas agrícolas integradas	✓

Fuente: Elaboración propia.

Consideraciones para la aplicación de SbN para escasez hídrica en Chile

Para la aplicación de SbN es necesario comprender los procesos y funciones de los ecosistemas (WWAP, 2018). Sin embargo, la sobreexplotación y mal uso de los ambientes y los ecosistemas pueden producir una rápida pérdida de biodiversidad que erosiona la capacidad de los ecosistemas para proveer servicios ecosistémicos y sus beneficios (Srivastava & Vellend, 2005). En general, las experiencias dan cuenta del relevante rol de la biodiversidad como fuente primaria de SbN, por lo que promover su conservación es de vital importancia para mejorar la generación de servicios ecosistémicos para el bienestar humano y el desarrollo sostenible (IUCN, 2020; IP-BES, s.f).

La efectividad de las SbN varía localmente, por tanto, se requiere de diseños específicos para cada conflicto, que consideren condiciones ambientales, económicas, culturales y de gobernanza de cada territorio y sus ecosistemas. Una mayor integración de competencias desde la ingeniería, las ciencias naturales y sociales, ayudarían a suplir el déficit de habilidades en el diseño e implementación de SbN pertinentes social, ecológica y territorialmente (WWAP, 2018). Las experiencias de otros países pueden ser útiles si consideramos los aspectos relevantes para lograr una exitosa aplicación de SbN en el medio local. Por ejemplo, el programa “Grain for Green” desarrollado en la meseta de Loess, China, promueve la conservación de suelo mediante la reforestación con árboles y revegetación con arbustos y pastos, logrando duplicar la cubierta vegetal en 14 años (desde un 32% en 1999) reduciendo de paso la erosión del suelo (Chen *et al.*, 2015; Jia *et al.*, 2017). En este caso específico, se evidenció que plantaciones de pinos, especie exótica para la meseta de Loess, agravan la compactación y desecación del suelo, provocando degradación del paisaje, por lo que se recomiendan plantaciones con arbustos para fines de restauración en estos ecosistemas (Chen *et al.*, 2010; WWAP, 2018). En Chile central, la transformación del paisaje en muchos casos ha favorecido la cobertura tipo sabana dominada por espino (*Vachellia caven* (Molina) Seigler & Ebinger, ex *Acacia caven*), la cual puede constituir uno de los primeros estados sucesionales del bosque esclerófilo dependiendo de factores ambientales y del grado de intervención de los territorios (Van de Wouw *et al.*, 2011). Hoy se le atribuye un escaso valor a esta formación vegetal nativa de la EMC, la cual es clave en la restauración de estructuras de bosque más complejas para el desarrollo de SbN a nivel de paisaje.

Por otro lado, las SbN pueden también ser utilizadas en mitigación climática, pero si se llevan adelante con poca diversidad, o con especies exóticas inflamables, pueden tener efectos indeseados sobre los atributos de resiliencia basada en biodiversidad y en paisajes multifuncionales (Seddon *et al.*, 2020). Este es un componente relevante en Chile central, en donde el bosque nativo actúa mayoritariamente como sumidero de carbono, mientras las plantaciones forestales, compuestas por *Pinus radiata* (61%) y *Eucaliptus* spp. (33%), se han mostrado mayormente como fuentes emisoras de carbono, lo cual se asocia principalmente a las cortas rotaciones (tiempos de cosecha) y a los incendios forestales (Hoyos-Santillan *et al.*, 2021). También dentro de la EMC, las plantaciones forestales de especies exóticas han demostrado reducir la disponibilidad de agua, al contrario de los efectos que produce el aumento de superficies con bosque nativo dentro de las cuencas hidrográficas (Álvarez-Garretón *et al.*, 2019; Martínez-Retureta *et al.*, 2020). Por estos motivos es altamente esperable que los compromisos de Chile respecto a mitigación (Contribución Nacional Determinada, NDC) se lleven adelante con especies nativas (Hoyos-Santillan *et al.*, 2021), restaurando el bosque y los procesos naturales que favorecen la regulación del régimen hídrico en la EMC. Si bien hay poco conocimiento acerca de la implementación y costo-efectividad de estas soluciones en Chile, algunos de los atributos de las SbN que permiten su masificación son su simpleza de construcción y que no requieren necesariamente de conocimientos especializados (Cohen-Shacham *et al.*, 2019). Esto puede facilitar el desarrollo de experiencias en la EMC que permitan, en conjunto con experiencias internacionales, desarrollar procedimientos técnicos y diseños optimizados de SbN para problemas de escasez hídrica en Chile.

Brechas y aspectos críticos en el desarrollo de SbN

A la fecha la aplicación de las SbN mencionadas presenta brechas de información sobre su efectividad, especialmente a escala de cuencas, dado que la mayoría de los estudios realizados

son a nivel de sitio o de parcela, por lo cual la generalización de resultados a escalas más amplias requiere de investigaciones que robustezcan los hallazgos encontrados. Sin embargo, a la fecha existen amplias evidencias que muestran una clara relación entre el uso de SbN y reducción en las tasas de pérdida de suelo, control de escorrentía, regulación de caudales y aumento de la infiltración (Bonnesoeur *et al.*, 2019; Molina *et al.*, 2021; Seddon *et al.*, 2020).

Por otra parte, la aplicación de SbN pueden requerir niveles mucho mayores de colaboración inter-sectorial e institucional que las aproximaciones de infraestructura «gris» (WWAP, 2018) y normalmente requieren para lograr su sostenibilidad altos niveles de involucramiento de las comunidades (Cassin & Locatelli, 2020). Por lo tanto, es importante evaluar no solo su efectividad en término de objetivos hidrológicos, sino también respeto a co-beneficios sociales, económicos y ambientales y de potenciales impactos negativos para las comunidades. Por ejemplo, prácticas de exclusión del ganado de áreas donde se busca restaurar la vegetación, pueden implicar impactos socio-económicos para las comunidades o forestaciones para conservar suelos con especies exóticas de rápido crecimiento, que pueden crear conflictos debido a la reducción del suministro de agua (Bonnesoeur *et al.*, 2019).

A pesar de los múltiples beneficios de las SbN, aún existe poca evidencia respecto de su factibilidad operativa (Nesshover *et al.*, 2017) y costo-efectividad comparado con obras de ingeniería tradicionales, así como acerca de la resiliencia territorial de estas soluciones (Seddon *et al.*, 2020).

La evaluación de 492 casos de estudio de SbN utilizadas para mejorar la calidad y cantidad de agua en África, resultó en evidencia consistente de que este tipo de soluciones pueden mejorar la calidad de agua, sin embargo los resultados respecto a la cantidad fueron inconsistentes, presentando muchos casos en donde los niveles freáticos disminuyeron en zonas donde se desarrollan plantaciones (especies no-nativas) y humedales (Acreman *et al.*, 2021). Este es un importante aspecto a considerar respecto de las SbN para enfrentar problemas hídricos en la EMC, en donde el uso de plantaciones, especialmente de especies exóticas de rápido crecimiento, si bien puede reducir el riesgo de inundaciones y crecidas, como se evidenció en África (Acreman *et al.*, 2021), al mismo tiempo pueden reducir la disponibilidad de agua (Álvarez-Garretón *et al.*, 2019).

Según estos antecedentes, las SbN deben implementarse basadas en evidencia, para lo cual es necesario que formen parte integral de las políticas públicas de desarrollo social, ordenamiento territorial y manejo de recursos naturales o también llamados bienes comunes. Algunos de los servicios ecosistémicos que se pueden ver afectados en la construcción de SbN para solucionar problemas de escasez hídrica, son la captura de carbono, especialmente si se llevan a cabo con plantaciones de especies exóticas inflamables (Hoyos-Santillan *et al.*, 2021), la belleza escénica y la producción de biomasa, sin embargo no hay suficiente evidencia aún para evaluar estos efectos (Locatelli *et al.*, 2020).

Entornos políticos que impulsan el desarrollo de SbN

La aplicación de SbN debe incorporar al entorno político y la gobernanza, fomentando medidas como subsidios e incentivos para los propietarios de tierras, para así transitar hacia un uso

sostenible del territorio y los ecosistemas. Un entorno político propicio puede estimular la cooperación entre aquellos con conocimientos de SbN y tomadores de decisiones de inversión, con el objetivo de lograr cooperación intersectorial e institucional (WWAP, 2018). Por ejemplo, en la COP21 de París surgió la iniciativa “4 por 1000” cuyo objetivo es aumentar el almacenamiento de carbono en suelos agrícolas 0,4% cada año. Esto ayudará a los gobiernos a implementar la intensificación sostenible de la producción de alimentos y coordinar una comunicación entre científicos, empresarios, legisladores y comunidades (Rumpel *et al.*, 2018).

A través de una adecuada planificación espacial y de ordenamiento territorial es posible contribuir a la gestión sostenible de la tierra (Metternicht, 2017), de modo que los ciclos y flujos de energía entre el suelo, los cuerpos de agua y la atmósfera se consideren, conserven y/o restauren (De Wrachien, 2003). Por ejemplo, en China, la Ley Administrativa de Tierras tiene como objetivo regular la clasificación y sondeo de la tierra, preservando los recursos y la protección del medioambiente (Tao *et al.*, 2007; Metternicht, 2017). En El Salvador, la Ley del Medio Ambiente busca garantizar la calidad y cantidad de agua para las personas, mediante la compensación por la generación de impactos ambientales (Guardado, 2012). Por último, en Ecuador se gestionó una normativa que tiene por objetivo la utilización racional y sostenible de los recursos del territorio y la protección del patrimonio natural y cultural (Ley Orgánica de Ordenamiento, Uso y Gestión de Suelo, 2016). Por tanto, la planificación y ejecución de SbN para enfrentar conflictos de escasez hídrica en la EMC deben ir acompañadas de nuevas políticas territoriales y ambientales, y de cambios en la normativa asociada al agua vigente en el país. Estos cambios reglamentarios deben considerar la multiescalaridad del uso del agua en los territorios, con un trabajo integrado a nivel de cuencas a escala local que considere amplios procesos participativos.

En Chile, a pesar que la Ley 20.283, tiene por objetivo la protección, la recuperación y el mejoramiento de los bosques nativos de Chile, y bonifica actividades relacionadas con SbN (e.g. revegetación, protección del suelo, eliminación plantas invasoras, etc), éstas han sido escasamente usadas en EMC. Específicamente el literal A de la Ley, que está relacionado con actividades que favorezcan la regeneración, recuperación o protección de formaciones xerofíticas de alto valor ecológico o de bosques nativos de preservación, ha sido subutilizado hasta la fecha. A modo de ejemplo, en 2019 se financió sólo un 0.4% de los proyectos procesados del literal A en la región central de Chile (4 de 716 para pequeños propietarios y 1 de 408 para otros interesados) (CONAF, 2019).

Actualmente en Chile hay grandes expectativas en la Ley Marco de Cambio Climático, ahora en trámite en el senado, y en la pronta promulgación de leyes que se encuentran en preparación en el parlamento y que pueden favorecer la seguridad hídrica de los territorios (e.g. Servicio de Biodiversidad y Áreas Silvestres Protegidas). Por su parte, la modificación de cuerpos legales específicos, como el Código de Aguas, son una necesidad urgente para avanzar en seguridad hídrica en Chile (Guerrero-Valdebenito *et al.*, 2018). La discusión acerca del agua, su acceso y políticas de uso, se espera sea uno de los temas centrales en el nuevo proceso constitucional que inició el país en 2021. Otras constituciones recientes en Latinoamérica han otorgado a la naturaleza y otros bienes comunes, valores colectivos y derechos fundamentales, como es el caso de Ecuador y Bolivia (Dulci & Sadivia, 2021). Esperamos que nuevos cuerpos legales y el mejoramiento del actual marco normativo, bajo el alero de la nueva constitución, garanticen mayores derechos a los ecosistemas y a los usuarios del agua. Las SbN pueden constituir una nueva forma de articular

marcos normativos y promover rutas de gobernanza tendientes a construir territorios resilientes para enfrentar los desafíos del Cambio Climático y el Desarrollo Sostenible.

Conclusión

Las SbN pueden ser una opción eficiente para mejorar la disponibilidad de agua en cantidad y calidad, además de promover otros servicios ecosistémicos como son biodiversidad, belleza escénica, resiliencia, y otros beneficios sociales y económicos que pueden acompañar a este tipo de soluciones. Aún se requiere de más información sobre evaluaciones de costo-efectividad, y co-beneficios que permitan aprender de SbN en Chile y el mundo. El éxito de las SbN se ha relacionado con la pertinencia territorial, que requiere de identidad local, participación, compromiso y coordinación de los principales actores y comunidades, generando un entorno de gobernanza clara y participativa. Dado que la reducción de precipitaciones se acentuará en los próximos años en diversos territorios de la EMC, es necesario implementar planes de manejo integrado de cuencas, con participación de actores sociales, públicos y privados, en donde primen las políticas asociadas a la protección, conservación y restauración de SE, utilizando infraestructura ancestral y natural, así como prácticas agrícolas integradas.

Las SbN propuestas en territorios de la EMC pueden ser mecanismos efectivos para reducir la escasez hídrica, asegurar la producción de alimentos y contribuir a la adaptación al cambio climático, generando territorios más resilientes. Si bien, los ejemplos de SbN en el mundo crean una base de conocimientos que contribuyen a la formulación de soluciones, Chile necesita avanzar en el desarrollo de experiencias propias de SbN.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Núcleo de Investigación en Soluciones de base Natural para Desafíos Ambientales Emergentes N°039.431/2020 de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV), al Centro de Acción Climática PUCV ESR UCV2095, al proyecto FONDAP N°15110009 (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2/CONICYT), y al Proyecto ANID Fondecyt N°1201714. JLC-D agradece el financiamiento de ANID/PIA/ACT192027. IAB agradece a ANID-Subdirección de Capital Humano/Doctorado Nacional/2021-21212335. Finalmente, agradecemos a dos revisores anónimos por sus comentarios y sugerencias que permitieron mejorar este trabajo.

Referencias bibliográficas

ABELL, R.; ASQUITH, N.; BOCCALETTI, G.; BREMER, L.; CHAPIN, R.; ERICKSON-QUIROZ, A.; HIGGINS, J.; JOHNSON, J. *et al.* *Beyond the Source: The Environmental, Economic, and Community Benefits of Source Water Protection*. Arlington, VA, USA: The Nature Conservancy (TNC), 2017.

ACREMAN, M.; SMITH, A.; CHARTERS, L.; TICKNER, D.; OPPERMAN, J.; ACREMAN, S.; EDWARDS, F.; SAYERS, P. & CHIVAVA, F. Evidence for the effectiveness of nature-based solutions to water issues in Africa. *Environmental Research Letters*, 2021, vol. 16, N° 6, 063007.

AEDO, M.P. Y MONTECINO, T. El agua en Chile: entre los derechos humanos y las reglas del mercado. En: Larraín, S. *Glaciares: reservas estratégicas de agua dulce para la sociedad y los ecosistemas en Chile*. Chile: Programa Chile Sustentable, 2006. ISBN: 978-956-7889-46-4

AGUAFONDO. Crónicas por el agua: Narrando nuestras experiencias frente al Cambio Climático. [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 4 agosto 2020]. Disponible en: <https://aquafondo.org.pe/cronicas-por-el-agua/>

ALANIZ, A.J.; CARVAJAL, M.A.; NÚÑEZ-HIDALGO, I. & VERGARA, P. M. Chronicle of an Environmental Disaster: Aculeo Lake, the Collapse of the Largest Natural Freshwater Ecosystem in Central Chile. *Environmental Conservation*, 2019, vol 46, p. 201-204. doi: <https://doi.org/10.1017/S0376892919000122>

ALDUNCE, P.; LILLO, G.; VIDAL, M. Y MALDONADO, P. Base de datos de prácticas de adaptación a la variabilidad y cambio climático. *Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2*. 2016. Disponible en: <http://www.cr2.cl/datos-practicas-adaptacion/>

ALDUNCE, P.; ARAYA, D.; SAPIAIN, R.; RAMOS, I.; LILLO, G.; URQUIZA, A. & GARREAUD, R. Local perception of drought impacts in a changing climate: The mega-drought in central Chile. *Sustainability (Switzerland)*. 2017, N° 9, p. 1-15. <https://doi.org/10.3390/su9112053>

ALVAREZ-GARRETON, C.; LARA, A., BOISIER, J. P. & GALLEGUILLOS, M. The impacts of native forests and forest plantations on water supply in Chile. *Forests*, 2019, vol. 10, p. 473. doi:10.3390/f10060473

APAZA, D.; ARROYO, R. Y ALENCASTRE, A. *Gestión social del agua y ambiente en cuencas*. Lima, Perú: GSAAC. 2006. Disponible en: <https://hidraulicainca.files.wordpress.com/2011/07/libro-amunas-gsaac.pdf>

ARMESTO, J.J.; MANUSCHEVICH, D.; MORA, A., SMITH-RAMIREZ, C.; ROZZI, R.; ABARZÚA, A.M. & MARQUET, P.A. From the Holocene to the Anthropocene: A historical framework for land cover change in southwestern South America in the past 15,000 years. *Land Use Policy*. 2010, N° 27, p. 148-160. doi: 10.1016/j.landusepol.2009.07.006

ASTORGA, E.; CARRILLO, F.; FOLCHI, M.; GARCÍA, M.; GREZ, B.; MCPHE, B.; SEPÚLVEDA, C. Y STEIN, H. *Evaluación de los conflictos socio-ambientales de proyectos de gran tamaño con foco en agua y energía para el periodo 1998 al 2015. Informe final*. Santiago, Chile: Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo, 2017.

Azeem, M.; Noman, M.T.; Wiener, J.; Petru, M. & Louda, P. Structural design of efficient fog collectors: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 2020, vol. 20, p. 101169. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101169>

Barnosky, A.D.; Hadly, E.A.; Bascompte, J.; Berlow, E.L.; Brown, J.H.; Fortelius, M.; Getz, W.M. et al. Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature*, 2012, Vol. 486, p. 52-58.

Barría, P.; Rojas, M.; Moraga, P.; Muñoz, A.; Bozkurt, D. & Alvarez-Garreton, C. Anthropocene and streamflow: Long-term perspective of streamflow variability and water rights. *Elementa Sci Anth*, 2019, N°7. doi: <https://doi.org/10.1525/elementa.340>

Barría, P.; Sandoval, I.B.; Guzman, C.; Chadwick, C.; Alvarez-Garreton, C.; Díaz-Vasconcellos, R.; ... & Fuster, R. Water allocation under climate change: A diagnosis of the Chilean system. *Elem Sci Anth*, 2021, vol. 9, N° 1, 00131.

Barrientos, C. Cómo el uso sustentable del territorio devolvió el agua a comunidad rural de Chile. [en línea]. Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), 2019. [fecha de consulta: 9 noviembre 2020]. Disponible: <https://ieb-chile.cl/noticia/como-el-uso-sustentable-del-territorio-devolvio-el-agua-a-comunidad-rural-de-chiloe/>

Bauer, C. *Canto de sirenas: El derecho de aguas chileno como modelo para reformas internacionales*. Bilbao, España: Bakeaz, 2004. ISBN: 84-88949-68-5.

Bhushan, B. Bioinspired water collection methods to supplement water supply. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2019, vol. 377, N° 2150, 20190119. <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0119>

BOISIER, J.P.; RONDANELLI, R.; GARREAUD, R.D. & MUÑOZ, F. Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile. *Geophysical Research Letters*, 2016, vol. 43, p. 413-421.

BOISIER, J.P.; ALVAREZ-GARRETON, C.; CORDERO, R.R.; DAMIANI, A.; GALLARDO, L.; GARREAUD, R.D.; LAMBERT, F. et al. Anthropogenic drying in central-southern Chile evidenced by long-term observations and climate model simulations. *Elementa Sci Anth*, 2018, vol. 6, p. 74.

BOMMARCO, R.; KLEIJN, D. & POTTS, S.G. Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology and Evolution*, 2013, vol. 28, N° 4, p. 230-238.

BONELLI, C.; ROCA-SERVAT, D. & BUENO DE MESQUITA, M. The many natures of water in Latin American neo-extractivist conflicts. *Alternautas*, 2016, vol. 3, p. 81-93.

BONNESOEUR, V.; LOCATELLI, B.; OCHOA-TOCACHI, B.F. *Impactos de la Forestación en el Agua y los Suelos de los Andes: ¿Qué sabemos? Resumen de políticas*, Proyecto "Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica" (INSH), Forest Trends, Lima, Perú, 2019.

BOTTARO, L.; LATA, A. & SOLA, M. La politización del agua en los conflictos por la megaminería: Discursos y resistencias en Chile y Argentina. *European Review of Latin American and Caribbean Studies*, 2014, vol. 9, p. 97-115. <http://doi.org/10.18352/erlacs.9798>

BOZKURT, D.; ROJAS, M.; BOISIER, J.P. & VALDIVIESO, J. Projected hydroclimate changes. *Climatic Change*, 2018, vol. 150, p. 131-147.

BRENNING, A. & AZÓCAR, G.F. Minería y glaciares rocosos: impactos. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2010, vol. 158, pp. 143-158.

BUDDS, J. La demanda, evaluación y asignación del agua en el contexto de escasez. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2012, vol. 52, p. 167-184. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022012000200010>

BUDDS, J. Gobernanza del agua y desarrollo bajo el mercado: las relaciones sociales de control del agua en el marco del Código de Aguas de Chile. *Investigaciones Geográficas*, 2020, vol. 59, p. 16-27.

BUSTOS, S.; GALLARDO, L.; GARREAUD, R. Y TONDREAU, N. *La mega sequía 2010-2015: Una lección para el futuro. Informe a la Nación 26. Informe a la Nación*. Chile: Centro de Investigación sobre Clima y Resiliencia (CR)2, 2015. Disponible en: <http://www.cr2.cl/megasequia/>

CARPAY, S.; BLEEKER, S.; QUINO, P.; AUCCA, C., & EDBAUER, L. Infraestructura Azul-Verde para la adaptación al cambio climático: Combinando la naturaleza y estructuras semi-naturales para la gestión del agua y reducción de riesgos en las cuencas peruanas [en línea]. *Wetlands international*, 2019. Disponible en: <https://lac.wetlands.org/>

CASSIN, J. & LOCATELLI, B. Guía para la Evaluación de Intervenciones en Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica, Escala de Efectividad, Equidad y Sostenibilidad. *Forest Trends*, Perú, 2020. cirad-03080159

CASTRO, Á. & LEÓN, N. *La Incertidumbre hídrica. Conflicto entre agricultores y empresas hidroeléctricas por el uso del agua en las provincias de Colchagua y Maule*. Memoria de grado, Academia de Humanismo Cristiano, Santiago, Chile, 2014.

CDE. *Coping with degradation through SLWM*. Centre for Development and Environment. SOLAW Background Thematic Report – TR12. Rome, FAO, 2010. http://www.fao.org/fileadmin/templates/solaw/files/thematic_reports/TR_12_web.pdf

Cereceda, P.; Leiva, J.; Rivera, J. de D. y Hernández, P. (eds.). *Agua de Niebla: Nuevas Tecnologías para el Desarrollo sustentable en Zonas Áridas y Semiáridas*. Chile: Consultora Profesional Agraria Sur, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2014, p. 132.

CHEN, L.; WANG, J.; WEI, W.; FU, B. & DONGPING, W. Effects of landscape restoration on soil water storage and water use in the Loess Plateau Region, China. *Forest Ecology and Management*, 2010, vol. 259, N° 7, p. 1291-1298.

Chen, Y.; Wang, K.; Lin, Y.; Shi, W.; Song, Y. & He, X. Balancing green and grain trade. *Nature Geoscience*, 2015, vol. 8, p. 739-741.

CHIRAMBA, T.; MOGOI, S.; MARTINEZ, I. & JONES, T. Payment for Environmental Services pilot project in Lake Naivasha basin, Kenya—a viable mechanism for watershed services that delivers

sustainable natural resource management and improved livelihoods. *UN-Water International Conference*, Zaragoza, España, 2011, pp. 1-7.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). *Tabla de Valores 2020. DT N° 239. Ley N°20.283 sobre recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal*. Chile: CONAF, Ministerio de Agricultura, 2019, p. 17.

COHEN-SHACHAM, E.; WALTERS, G.; JANZEN, C. Y MAGINNIS, S. (eds.) *Nature-based Solutions to address global societal challenges*. Gland, Switzerland: Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), 2016, p. 97. ISBN: 978-2-8317-1812-5

COHEN-SHACHAM, E.; ANDRADE, A.; DALTON, J.; DUDLEY, N.; JONES, M.; KUMAR, C.; MAGINNIS, S.; MAYNARD, S.; NELSON, C.R.; RENAUD, F.G.; WELLING, R. & WALTERS, G. Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions. *Environmental Science & Policy*, 2019, vol. 98, p. 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.04.014>

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P. & VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, vol. 387, N° 6630, p. 253-260.

CORDERO, M. *Estudio de pre-factibilidad de utilización de energía solar en un proceso productivo minero*. Memoria de titulación, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, 2017.

CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN (CORFO). *En Atacama crean innovador atrapaniebla para enfrentar la sequía* [en línea]. CORFO, 2017. [fecha de consulta: 22 julio 2020]. Disponible en: <https://www.corfo.cl>

CRESPO, S.A.; LAVERGNE, C.; FERNANDOY, F.; MUÑOZ, A.A.; CARA, L. & OLFOS-VARGAS. Where does the Chilean Aconcagua river come from? Use of natural tracers for water genesis characterization in glacial and periglacial environments. *Water (Switzerland)*, 2020, vol. 12, N° 9. doi: <https://doi.org/10.3390/w12092630>

DE GROOT, R. WILSON, M.A. & BOUMANS, R.M. A S.; typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 2002, vol. 41, N° 3, p. 393-408.

DECRETO FUERZA LEY (DFL 1122). Fija texto Código de Aguas, 29 Oct 1981. Ministerio de Justicia [en línea] [fecha de consulta: 7 septiembre 2020]. Disponible en: <http://bcn.cl/2f8tw>

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). Decretos declaración zona de escasez vigentes [en línea]. Ministerio de Obras Públicas, 2020. [fecha de consulta: 29 junio 2020]. Disponible en: <https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx>

DONOVAN, M. What is conservation agriculture? [en línea]. International Maize and wheat Improvement Center (CIMMYT), 2020. [fecha de consulta: 14 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.cimmyt.org/news/what-is-conservation-agriculture/>

DELEGACIÓN PRESIDENCIAL PARA LOS RECURSOS HÍDRICOS (DPRH). *Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015*. Chile: Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Gobierno de Chile, 2015.

DULCI, T.M.S., & SADIVIA, V.A. El Estallido Social en Chile: ¿rumbo a un Nuevo Constitucionalismo? *Revista Katálysis*, 2021, vol. 24, p. 43-52.

DURAN-LLACER, I.; MUNIZAGA, J.; ARUMÍ, J.L.; RUYBAL, C.; AGUAYO, M.; SÁEZ-CARRILLO, K.; ARRIAGADA, L. & ROJAS, O. Lessons to be learned: Groundwater depletion in Chile's Ligua and Petorca watersheds through an interdisciplinary approach. *Water (Switzerland)*, 2020, vol. 12. doi: 10.3390/w12092446

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Functions and values of wetlands*. Estados Unidos: EPA, 2001.

ESCENARIOS HÍDRICOS 2030 (EH2030). *Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile*. Editado por Martínez, M. Santiago, Chile: Fundación Chile, 2018.

ESCENARIO HÍDRICOS 2030 (EH2030). Zanjas de infiltración hacen que el agua sea democrática [en línea]. 2020. [fecha de consulta: 19 julio 2021]. Disponible en: <https://escenarioshidricos.cl/noticia/zanjas-de-infiltracion-hacen-que-el-agua-sea-democratica/>

ESLER, K.; JACOBSEN, A. & PRATT, B. *The Biology of Mediterranean-Type Ecosystems*. Reino Unido: Oxford University Press, 2018. ISBN-13: 9780198739135.

EUROPEAN COMMISSION. NATURE-BASED SOLUTIONS [EN LÍNEA]. 2016. [fecha consulta: 22 junio 2021]. Disponible en: https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions_en

FAUNDEZ, R. & MUNDACA, R. *Situación del agua en la región de Valparaíso: encuentros participativos por la recuperación democrática del agua*. Chile: Fundación comunes, 2019, 27 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk*. London: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011. ISBN 978-1-84971-327-6.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). *Rewarding water-related ecosystem services in the Canete Basin, Perú*. Roma: Prepared for the Multi-stakeholder dialogue, 2013.

FOSTER, S.S.D. & PERRY, C.J. Improving groundwater resource accounting in irrigated areas: A prerequisite for promoting sustainable use. *Hydrogeology Journal*, 2010, vol. 18, p. 291-294.

FRANKLIN, J.; SERRA-DIAZ, J.M.; SYPHARD, A.D. & REGAN, H.M. Global change and terrestrial plant community dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2016, vol. 113, p. 3725-3734.

FRANTZESKAKI, N.; MCPHEARSON, T.; COLLIER, M.J.; KENDAL, D.; BULKELEY, H.; DUMITRU, A.; WALSH, C. *et al.* Nature-based solutions for urban climate change adaptation: Linking science, policy, and practice communities for evidence-based decision-making. *BioScience*, 2019, vol. 69, p. 455-466.

FREITAS, P.L. & LANDERS, J.N. The Transformation of Agriculture in Brazil Through Development and Adoption of Zero Tillage Conservation Agriculture. *International Soil and Water Conservation Research*, 2014, vol. 2, p. 35-46. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30012-5](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30012-5)

FRENE, C. & OYARZÚN, C. Manejo Integrado de Cuencas Forestales. En Ediciones Universidad Austral de Chile, E. U. A. de C. (ed.). Valdivia, Chile: *Ecología Forestal: Bases para el Manejo Sustentable y Conservación de los Bosques Nativos de Chile*, 2014.

GARREAUD, R.D.; ALVAREZ-GARRETON, C.; BARICHIVICH, J.; BOISIER, J.P.; CHRISTIE, D.; GALLEGUILLOS, M.; LEQUESNE, C. *et al.* The 2010-2015 megadrought in central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2017, vol. 21, p. 6307-6327.

GARREAUD, R.D.; BOISIER, J.P.; RONDANELLI, R.; MONTECINOS, A.; SEPÚLVEDA, H.H. & VELOSO-AGUILA, D. The Central Chile Mega Drought (2010-2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, 2020, vol. 40, p. 421-439.

GAYOSO, J. Y GAYOSO, S. *Diseño de zonas ribereñas requerimiento de un ancho mínimo*. Chile: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, 2003.

GENERADORAS DE CHILE. Empresas asociadas, 2020. [en línea]. Disponible en: <http://generadoras.cl/empresas-asociadas>

GLIGO, N.; ALONSO, G.; BARKIN, D.; BRAILOVSKY, A.; BRZOVIC, F.; CARRIZOSA, J.; DURÁN, H. *et al.* *La tragedia ambiental de América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020. ISBN: 978-92-1-004742-5

GOLD, M. Agroforestería. [en línea]. Encyclopedia Británica, 2017. [fecha de consulta: 14 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/agroforestr>

GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP). *Experiencias exitosas de la GIRH, cuenca río San Jerónimo Verapaz, Guatemala*. Guatemala: Global Water Partnership, 2013.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP EASTERN AFRICA (GWPEA). *Building Resilience to Drought: Learning from Experience in the Horn of Africa*. Integrated Drought Management Programme in the Horn of Africa, Entebbe, Uganda, 2016. 32 p.

GONZÁLEZ, T.; MELLA, M. & STERN, J. *Impacto geológico proyecto hidroeléctrico Alto Maipo*. La Serena, Chile. Colegio de Geólogos Chile, Sociedad Geológica de Chile. XIV Congreso Geológico Chileno, 2015.

GUARDADO, J.M. *Caracterización de proyectos sobre manejo de recursos forestales en El Salvador. Programa reducción de emisiones por deforestación y degradación REDD-CCED/GIZ*. San Salvador, El Salvador: Programa reducción de emisiones por deforestación y degradación, 2012.

GUERRA, A. & ALVARADO, M. *De la Sierra al valle de San Jerónimo: acciones locales para la gestión integrada del agua. Fondo del agua del Sistema Motagua Polochic*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE, 2006.

GUERRERO-VALDEBENITO, R.M.; FONSECA-PRIETO, F.; GARRIDO-CASTILLO, J. & GARCÍA-OJEDA, M. El código de aguas del modelo neoliberal y conflictos sociales por agua en Chile: Relaciones, cambios y desafíos. *Agua y Territorio/Water and Landscape*, 2018, vol. 11, p. 97-108.

GUTIÉRREZ, C. Recarga artificial de acuíferos. Instituto mexicano de tecnología del agua. La Serena, Chile: *Agencia Mexicana de conservación internacional para el desarrollo*, 2016.

HEARNE, R. & DONOSO, G. Water Markets in Chile: Are they meeting needs? En Easter W. y Q. Qiuqiong (eds). *Water markets for the 21 st Century*, 2014, p. 103-126.

HOHENTHAL, J. & MINOIA, P. Social aspects of water scarcity and drought. En: Eslamian S. y Eslamian F.A. (eds). *Handbook of Drought and Water Scarcity. Principle of Drought and Water Scarcity*. CRC Press, Tailor & Francis LTD, 2017, p. 607-626.

HOYOS-SANTILLAN, J.; MIRANDA, A.; LARA, A.; SEPULVEDA-JAUREGUI, A.; ZAMORANO-ELGUETA, C.; GÓMEZ-GONZÁLEZ, S.; VÁSQUEZ-LAVÍN, F.; GARREAUD, R. & ROJAS, M. Diversifying Chile's climate action away from industrial plantations. *Environmental Science & Policy*, 2021, vol. 124, p. 85-89.

HUANG, Z.; YUAN, X. & LIU, X. The key drivers for the changes in global water scarcity: water withdrawal versus water availability. *Journal of Hydrology*, 2021, 126658.

INE. Síntesis de Resultados Censo 2017. 2018. Disponible en: <https://www.censo2017.cl/descargas/home/sintesis-de-resultados-censo2017.pdf>

Instituto Nacional de Derechos Humanos [INDH]. Mapa de conflictos socioambientales en Chile [en línea]. INDH, 2020. Disponible en: <https://mapaconFLICTOS.indh.cl/#/>

Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). Comunicado de prensa: El peligroso declive de la naturaleza sin precedentes; las tasas de extinción de las especies se aceleran [en línea] [fecha de consulta: 9 diciembre 2020]. Disponible en: <https://ipbes.net/news/comunicado-de-prensa-las-contribuciones-de-la-diversidad-biol%C3%B3gica-y-la-naturaleza-contin%C3%BAan->

IPCC. *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability Part A: Global and Sectoral Aspects*. En Field, C.; Barros, V.; Dokken, D.; Mach, K.; Mastrandre, M.; Bilir, T.; Chatterje, M.; Ebi, K.;

Estrada, Y.; Genova, R.; Girma, B.; Kissel, E.; Levy, A.; MacCracken, Mastrandrea, P.; White, L. (eds). Cambridge, Reino Unido y Nueva York: Cambridge University Press, 2014. ISBN 978-1-107-64165-5

INTERNATIONAL UNION FOR THE CONSERVATION OF Nature (IUCN). Standard to boost impact of nature-based solutions to global challenges [en línea]. IUCN, 2020. [fecha consulta: 16 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.iucn.org/news/nature-based-solutions/202007/iucn-standard-boost-impact-nature-based-solutions-global-challenges>

JARAMILLO, C. *Informe técnico. Aplicación de la metodología de contabilidad de huella hídrica directa a 15 regiones de Chile*. Chile: Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y Fundación Chile, 2017, 148 p.

JIA, X.; SHAO, M.; ZHU, Y. & LUO, Y. Soil moisture decline due to afforestation across the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, 2017, vol. 546, p. 113-122.

JURY, W.A. & VAUX JR., H.J. The emerging global water crisis: managing scarcity and conflict between water users. *Advances in agronomy*, 2007, vol. 95, p. 1-76.

JUNTA DE VIGILANCIA. Usuarios de aguas, 2020 [en línea] [fecha de consulta 7 diciembre 2020]. Disponible en: <http://rioputaendo.cl/juntadevigilancia/usuarios-de-aguas/>

KERR, J. WATERSHED MANAGEMENT: Lessons from Common Property Theory. *International Journal of the Commons*, 2007, vol. 1, p. 89.

LABRA, A. *Levantamiento de los Conflictos Socioambientales priorizados en el Distrito 12*. Chile: Cámara de Diputados. Asesoría externa, 2020.

LABRA, F.; GONZÁLEZ, M.; GACITÚA, S.; MONTENEGRO, J.; VILLALOBOS, E. & Gómez, A. *Manual para la Implementación de Obras de Conservación de Suelos y Cosecha de Aguas Lluvia en Alhué. Predio de la Comunidad Agrícola Villa Alhué*. Chile: Instituto Forestal, 2018.

LAFEVOR, M.C. Restoration of degraded agricultural terraces: Rebuilding landscape structure and process. *Journal of Environmental Management*, 2014, vol. 138, p. 32-42. doi:10.1016/j.jenvman.2013.11.019

LARRAÍN, S. & POO, P. *Conflictos por el agua en Chile: Entre los derechos humanos y las reglas del mercado*. Editado por Larraín, S. and Poo. 1ª ed. Chile: Chile Sustentable, 2010. ISBN: 978-956-7889-426.

LARRAÍN, S.; MONTECINO, T.; LEDGER, C. & VILLARROEL, C. *Conflictos por el Agua en Chile: Urgen cambios legales y constitucionales en las políticas de agua*. Chile: Chile Sustentable, propuesta ciudadana para el cambio, 2012.

LE QUESNE, C.; ACUÑA, C.; BONINSEGNA, J.A.; RIVERA, A. & BARICHIVICH, J. Long-term glacier variations in the Central Andes of Argentina and Chile, inferred from historical records and tree-

ring reconstructed precipitation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2009, vol. 281, p. 334-344.

LEY ORGÁNICA DE ORDENAMIENTO, USO Y GESTIÓN DE SUELO. [en línea]. República del Ecuador, Asamblea Nacional, 2016. [fecha consulta: 19 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.habitayvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/08/Ley-Organica-de-Ordenamiento-Territorial-Us-y-Gestion-de-Suelo1.pdf>

Locatelli, B.; Homberger, J.M.; Ochoa-Tocachi, B.F.; Bonnesoeur, V., Román, F., Drenkhan, F. & Buytaert, W. *Impactos de las zanjas de infiltración en el Agua y los Suelos de los Andes: ¿Qué sabemos? Resumen de políticas*, Proyecto “Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica”, Forest Trends, Lima, Perú, 2020.

MARTÍNEZ, M. *Aguas residuales como nueva fuente de agua*. Chile: Fundación Chile, Gobierno Regional de Valparaíso, 2016. ISBN: 978-956-8200-32-9

MARTÍNEZ-RETURETA, R.; AGUAYO, M.; STEHR, A.; SAUVAGE, S.; ECHEVERRÍA, C. & SÁNCHEZ-PÉREZ, J.M. Effect of land use/cover change on the hydrological response of a southern center basin of Chile. *Water*, 2020, vol. 12, N° 1, p. 302.

MASIOKAS, M.H.; VILLALBA, R.; LUCKMAN, B.H.; LE QUESNE, C. & ARAVENA, J.C. Snowpack Variations in the Central Andes of Argentina and Chile, 1951–2005: Large-Scale Atmospheric Influences and Implications for Water Resources in the Region. *Journal of Climate*, 2006, vol. 19, p. 6334-6352.

MCDONALD, T.; GANN, G.D.; JONSON, J. & DIXON, K.W. *International standards for the practice of ecological restoration - including principles and key concepts*. 1ª ed. Washington, D.C: Society for Ecological Restoration, 2016.

MELLO, I. & VAN RAIJ, B. No-till for sustainable agriculture in Brazil. *Proceedings of World Association of Soil and Water Conservation Paper*, 2006, p. 49-57.

METTERNICHT, G. *Land Use Planning*. Sydney, Australia: Global Land Outlook, 2017.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO DEL PERÚ (MINAGRI). *Rumbo a un Programa Nacional de Siembra y Cosecha de Agua: Aportes y reflexiones desde la práctica*. Viceministerio de Políticas Agrarias, Lima, Perú, 2016, 128 p.

MMA. Quinto Reporte del Estado del Medio Ambiente. 2019. Disponible en: <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/12/REMA-2019-comprimido.pdf>

MOLINA, A.; VANACKER, V.; ROSAS BARTUREN, M.; BONNESOEUR, V.; ROMÁN, F.; OCHOA-TOCACHI, B.F. & BUYTAERT, W. *Infraestructura natural para la gestión de riesgos de erosión e inundaciones en los Andes: ¿Qué sabemos? Resumen de políticas*. Proyecto “Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica”, Forest Trends, Lima, Perú, 2021.

MÖLLER, P. *Las franjas de vegetación ribereña y su función de amortiguamiento, una consideración importante para la conservación de humedales*. Valdivia, Chile: Programa de Humedales, Centro de Estudios Agrarios y Ambientales CEA, Gestión Ambiental, 2011, vol. 21, p. 96-106.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP). *Estimación de la demanda actual, Proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los Recursos Hídricos en Chile*. Resumen Ejecutivo. Unión Temporal de Proveedores Hídrica Consultores Spa y Aquaterra Ingenieros LTDA 2017, 89 p. <https://dga.mop.gob.cl/Estudios/04%20Resumen%20Ejecutivo/Resumen%20Ejecutivo.pdf>

MORALES, C. *Cámaras de Hielo: Ley para proteger los glaciares chilenos lleva más de diez años tramitándose y está prácticamente "congelada"*. Memoria para optar al título de periodista, Universidad de Chile, Chile, 2017.

MUÑOZ, A.A.; GONZÁLEZ-REYES, A.; LARA, A.; SAUCHYN, D.; CHRISTIE, D.; PUCHI, P.; URRUTIA-JALBERT, R. et al. Streamflow variability in the Chilean Temperate-Mediterranean climate transition (35°S–42°S) during the last 400 years inferred from tree-ring records. *Climate Dynamics*, 2016, vol. 47, p. 4051-4066.

MUÑOZ, A.A.; KLOCK-BARRÍA, K.; ALVAREZ-GARRETON, C.; AGUILERA-BETTI, I.; GONZÁLEZ-REYES, Á.; LASTRA, J.A.; CHÁVEZ, R.O. et al. Water crisis in petorca basin, Chile: The combined effects of a mega-drought and water management. *Water (Switzerland)*, 2020, vol. 12, p. 1-18.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; DA FONSECA, G.A. & KENT, J. Conservation: Biodiversity as a bonus prize. *Nature*, 2000, vol. 403, pp. 853-858.

NEELY, C. & FYNN, A. *Critical choices for crop and livestock production systems that enhance productivity and build ecosystem resilience*. SOLAW Background Thematic Report TR11. Rome, FAO, 2010. http://www.fao.org/fileadmin/templates/solaw/files/thematic_reports/TR_11_web.pdf

NESSHÖVER, C.; ASSMUTH, T.; IRVINE, K.N.; RUSCH, G.M.; WAYLEN, K.A.; DELBAERE, B.; ... & WITTMER, H. The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. *Science of the total environment*, 2017, vol. 579, p. 1215-1227.

Núñez, O. *Fondo del Agua del Sistema Motagua-Polochic, Guatemala*. Guatemala: Fundación defensores de la Naturaleza con el apoyo de FAO-Facility, 2005.

OSORIO, A. (ed.). *Determinación de la huella del agua y estrategias de manejo de recursos hídricos*. La Serena, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, Serie Actas INIA N° 50, 2013, p. 211.

PANEZ-PINTO, A. Agua-Territorio en América Latina: Contribuciones a partir del análisis de estudios sobre conflictos hídricos en Chile. *Revista Rupturas*, 2018, vol. 8, p. 193-217.

PANEZ-PINTO, A.; MANSILLA QUIÑONES, P. & MOREIRA-MUÑOZ, A. Agua, tierra y fractura socio-metabólica del agronegocio. Actividad frutícola en Petorca, Chile. *Bitácora Urbano Territorial*, 2018, vol. 28, p. 153-160.

PIZARRO, R.; FLORES, J.P.; SANGÜESA, C. & MARTÍNEZ, E. *Determinación de Estándares de Ingeniería en Obras de Conservación y Aprovechamiento de Aguas y Suelos, para la Mantención e Incremento de la Productividad Silvícola*. Monografías Zanjías de Infiltración. PROYECTO FDI - CORFO, Chile, 2004, 32 p.

POTTER, W. & VILLABLANCA, A. *Incorporación de tecnologías de riego para cultivos tradicionales e innovativos en la Comuna de Putre*. Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA, N° 384, 2018.

PRIETO, M.; FRAGKOU, M.C. & CALDERÓN, M. Water Policy and Management in Chile. *Encyclopedia of Water*, 2019, p. 1-11. doi: 10.1002/9781119300762.wsts0055

PULSOSOCIAL, 2017. YAKKA, el innovador atrapanieblas chileno capaz de capturar 10 litros de agua por día [en línea] [fecha de consulta: 19 julio 2021]. Obtenido de: <https://pulsosocial.com/2017/02/27/yakka-innovador-atrapanieblas-chileno-capaz-capturar-10-litros-agua-por-dia/>

RAMSAR. *Aguas arriba-aguas abajo, los humedales nos conectan a todos*. Fondo para el agua de Danone/Evian, 2009.

RED AGUA CHILOÉ. Como el uso sustentable del territorio devolvió el agua a comunidad rural de Chiloé [en línea] [fecha de consulta: 15 julio 2020]. Obtenido de <https://redaguachiloe.wordpress.com/2019/05/16/como-el-uso-sustentable-del-territorio-devolvio-el-agua-a-comunidad-rural-de-chiloe/>

RIPPLE, W.J.; WOLF, C.; NEWSOME, T.M.; GALETTI, M.; ALAMGIR, M.; CRIST, E.; MAHMOUD, M.I. & LAURANCE, W.F. World scientists' warning to humanity: A second notice. *BioScience*, 2017, vol. 67, p. 1026-1028.

RIVERA, A.; ACUÑA, C. & CASASSA, G. Glacier Variations in Central Chile (32°S-41°S). *Glacier Science and Environmental Change*, 2006, p. 246-247.

ROJAS, M.; LAMBERT, F.; RAMIREZ-VILLEGAS, J. & CHALLINOR, A.J. Emergence of robust precipitation changes across crop production areas in the 21st century. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2019, vol. 116, p. 6673-6678.

RUMPEL, C.; LEHMANN, J. & CHABBI, A. "4 per 1,000" initiative will boost soil carbon for climate and food security. Correspondence. *Nature*, 2018, vol. 553, p. 27.

SAAVEDRA, F.A.; KAMPF, S.K.; FASSNACHT, S.R. & SIBOLD, J.S. Changes in Andes snow cover from MODIS data, 2000-2016. *Cryosphere*, 2018, vol. 12, p. 1027-1046.

SÁNCHEZ-CHAVES, O. & NAVARRETE-CHACÓN, G. La experiencia de Costa Rica en el pago por servicios ambientales: 20 años de lecciones aprendidas. *Revista De Ciencias Ambientales*, 2017, vol. 51, N° 2, p. 195-214.

SANTIBÁÑEZ, F. *Los recursos hídricos de las Américas en los nuevos escenarios climáticos. La visión desde el proyecto VACEA*. Seminarios y Conferencias 40194, Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2015. ISSN 1680-9033.

SCHEMENAUER, R.S. & CERECEDA, P. Fog-Water Collection in Arid Coastal Locations. *Ambio*, 1991 vol. 20, N° 7, p. 303-308. <http://www.jstor.org/stable/4313850>

SCHULZ, J.J.; CAYUELA, L.; ECHEVERRIA, C.; SALAS, J. & BENAYAS, J.M.R. Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975–2008). *Applied Geography*, 2010, vol. 30, N°3, p. 436-447.

SEDDON, N.; TURNER, B.; BERRY, P.; CHAUSSON, A. & GIRARDIN, C. Grounding nature-based climate solutions insound biodiversity science. *Nat. Clim. Change*, 2019, vol. 9, p. 84–87. doi:10.1038/s41558-019-0405-0

SEDDON, N.; CHAUSSON, A.; BERRY, P.; GIRARDIN, C.A.; SMITH, A. & TURNER, B. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2020, vol. 375, N° 1794, 20190120.

SHARIFVAGHEFI, S., & KAZEROONI, H. Fog harvesting: combination and comparison of different methods to maximize the collection efficiency. *SN Applied Sciences*, 2021, vol. 3, N° 4. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04518-3>

SOMERS, L.D.; MCKENZIE, J.M.; ZIPPER, S.C.; MARK, B.G.; LAGOS, P. & BARAER, M. Does hillslope trenching enhance groundwater recharge and baseflow in the Peruvian Andes? *Hydrological processes*, 2018, vol. 32, N° 3, p. 318-331.

SONNEVELD, B.G.J.; MERBIS, M.; ALFARRA, A.; UNVER, O. Y ARNAL, M. *Nature-Based Solutions for agricultural water management and food security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma: Land and Water Discussion Paper, 2018, N°12, p. 66.

SRIVASTAVA, D. & VELLEND, M. Biodiversity-Ecosystem function research: Is it relevant to conservation? *Annual Review of Ecology, evolution and systematics*, 2005, vol. 36, p. 267-94.

STEHR, A. & AGUAYO, M. Snow cover dynamics in Andean watersheds of Chile (32.0-39.5°S) during the years 2000-2016. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2017, vol. 21, p. 5111-5126.

TAO, T.; TAN, Z. & HE, X. Integrating environment into land-use planning through strategic environmental assessment in China: Towards legal frameworks and operational procedures. *Environmental Impact Assessment Review*, 2007, vol. 27, p. 243-265.

TAYE, G.; POESEN, J.; VANMAERCKE, M.; van Wesemael, B.; Martens, L.; Teka, D.; ... Hallet, V. Evolution of the effectiveness of stone bunds and trenches in reducing runoff and soil loss in the semi-arid Ethiopian highlands. *Zeitschrift Für Geomorphologie*, 2015, vol. 59, N° 4, p. 477–493. doi:10.1127/zfg/2015/0166

TRÉMOLET, S.; FAVERO, A.; KARRES, N.; TOLEDO, M.; MAKROPOULOS, C.; LYKOU, A.; HANANIA, S.; REVIKKIM, V.; ANTON, *et al.* *Investing in Nature for Europe Water Security*. Londres, Reino Unido: The Nature Conservancy, Ecologic Institute and ICLEI, 2019.

VAN DE WOUW, P.; ECHEVERRIA, C.; REY BENAYAS, J.M. & HOLMGREN, M. Persistent Acacia savannas replace Mediterranean sclerophyllous forests in South America. *Forest Ecology and Management*, 2011, vol. 262, N° 6, p. 1100-1108.

VÁSQUEZ, A. & TAPIA, M. Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra Peruana. *Revista Ingeniería UC*, 2011, vol. 18, N° 3, p. 42-50.

VITOUSEK, P.M.; MOONEY, H.A.; LUBCHENCO, J. & MELILLO, J.M. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science*, 1997, vol. 277, p. 494 - 499.

WEBB, M.J.; WINTER, J.M.; SPERA, S.A.; CHIPMAN, J.W. & OSTERBERG, E.C. Water, agriculture, and climate dynamics in central Chile's Aconcagua River Basin. *Physical Geography*, 2020, p. 1-21.

WENGER, S.J. & FOWLER, L. *Protecting Stream and River Corridors*. United States of America: Carl Vinson Institute of Government, University of Georgia, 2000. ISBN 0-89854-198-0

WORLD BANK. *Implementation completion report for the Loess Plateau project*. China: World Bank, 2003.

WORLD BANK. *Second Loess Plateau watershed rehabilitation project; first and second Xiaolangdi multipurpose project; and second Tarim Basin Project*. China: World Bank, 2007.

DE WRACHIEN, D. *Land Use Planning: A Key To Sustainable agriculture*. Edited by García, L. *et al.*, (ed.). Italia: Conservation Agriculture. Springer, Dordrecht, 2003. ISBN: 978-90-481-6211-6

WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos) /ONU-Agua. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. París; UNESCO, 2018.

