

RÍO MAIPO:

CUENCAS REGENERATIVAS PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA

Claudia Galleguillos C.
Líder Estrategias Hídricas
Fundación Chile
claudia.galleguillos@fch.cl

Chile se seca:

Nuevo escenario socioambiental



Chile será el único país Latinoamericano con estrés hídrico extremadamente alto al año 2040
(Fuente: WRI, 2015)

Mientras Chile atraviesa en 2021 el 4to año más seco de su historia, a la fecha 29,2% de las comunas están declaradas con escasez hídrica
(DGA, 2022).



Situación Stress Hídrico

- Muy bajo (<10%)
- Bajo (10-20%)
- Medio (20-40%)
- Alto (40-80%)
- Extremo (>80%)

Sequía Meteorológica

76% de la superficie de Chile está afectada por sequía, desertificación y suelo degradado
(Fuente: Convención ONU, 2015)

Disminución de precipitaciones y aumento de temperatura proyectan cambios acelerados en la disponibilidad hídrica.

Agua Caída Déficit Superávit

Arica: **-59%**
Iquique: **-100%**
Antofagasta: **-96%**
Atacama: sin medición
La Serena: **6%**
Santiago: **-44%**
Juan Fernández: **-11%**
Curicó: **-41%**
Chillán: **-28%**
Concepción: **-15%**
Temuco: **-7%**
Valdivia: **-20%**
Puerto Montt: **-18%**
Coyhaique: **1%**
Punta Arenas: **-50%**

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, 29 Diciembre 2022.



FIGURA 25: TENDENCIA DE PRECIPITACIÓN EN CHILE (2000-2014)



FIGURA 26: TENDENCIA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN CHILE (2000-2014)



Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Galleguillos et al., 2017.

Aguas Subterráneas

Tendencia niveles de pozos

Las solicitudes de DAA se han incrementado en los últimos años.

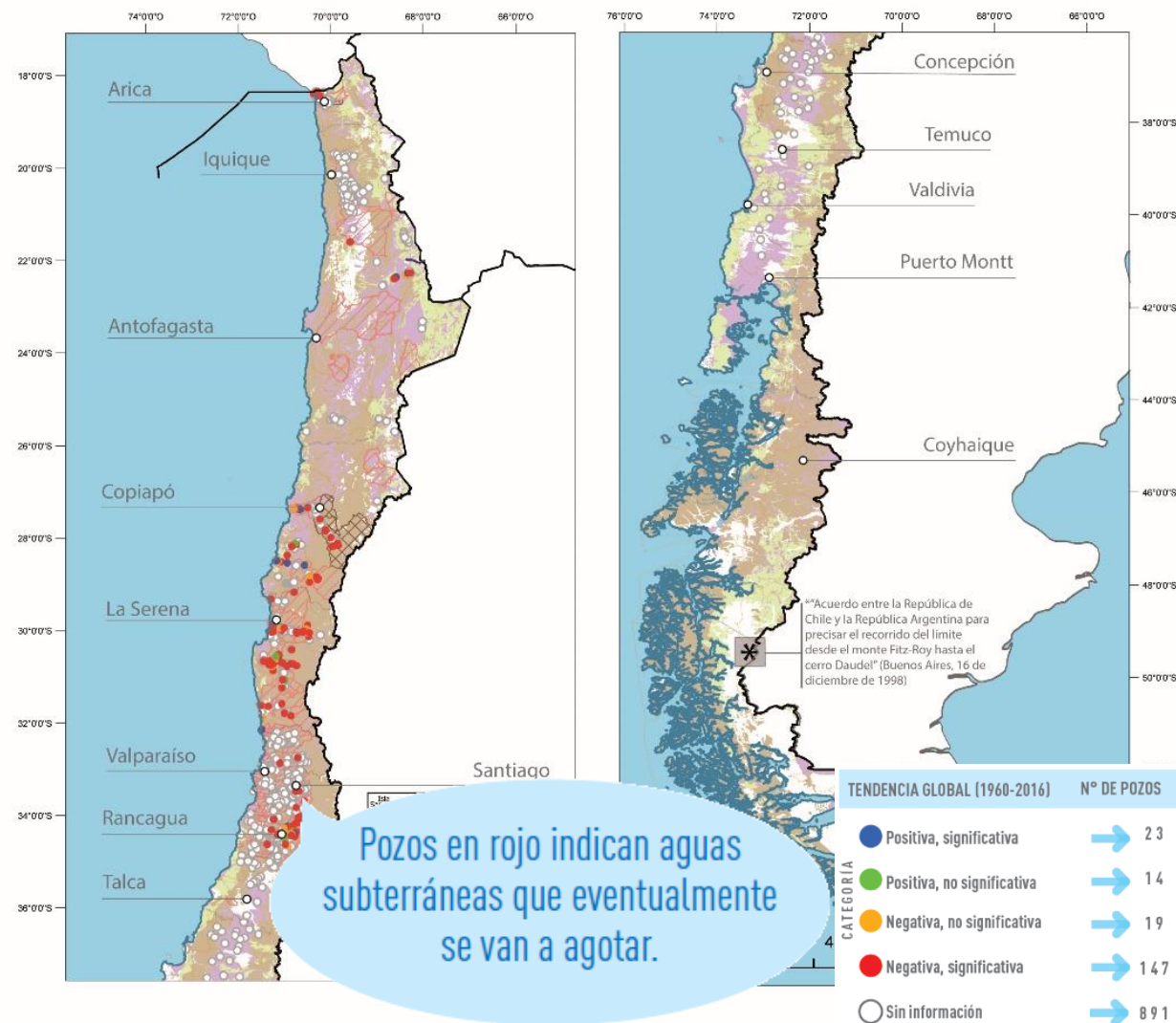
147 pozos (72%) de 203 medidos presentan tendencia negativa significativa.

SUBSIDENCIA

Suelo de Santiago está bajando unos 25 milímetros por año.

Orellana F. et al. 2022

A nivel mundial, alrededor del 40% de las áreas de regadío depende de las aguas subterráneas (Siebert y otros, 2013).



Casi la mitad de la población mundial depende de las aguas subterráneas para el consumo humano (Tushaar y otros, 2007).

Crisis Hídrica: Cuenca del río Maipo

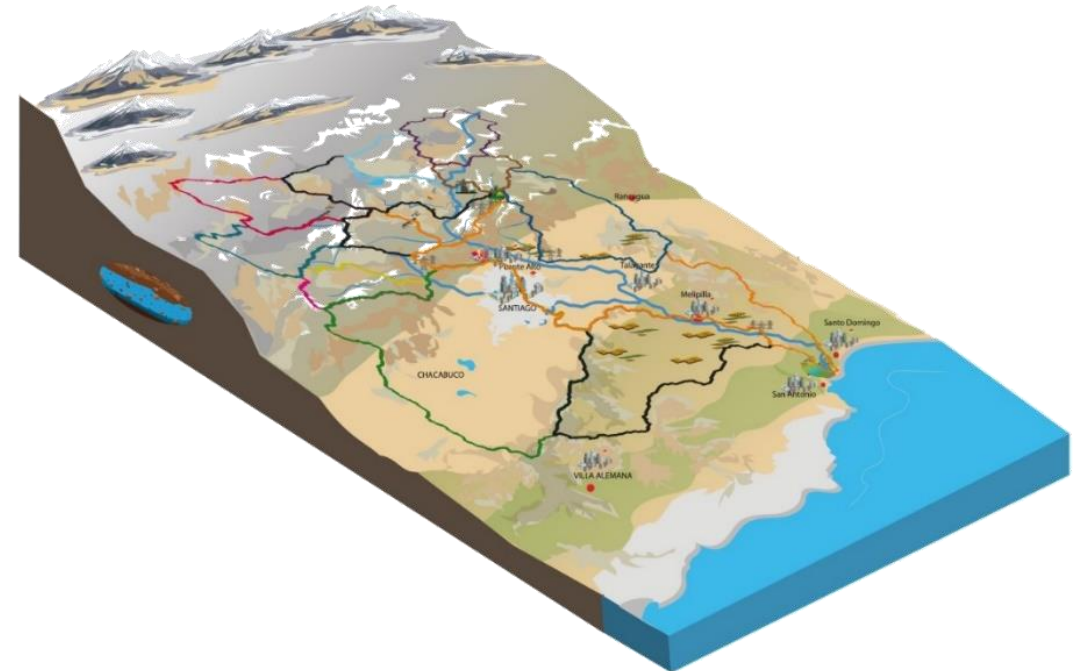


Río Maipo en el **Nro. 9** de los 18 ríos del mundo con mayor estrés hídrico, el único en Sudamérica.
(WRI, 2014).



Concentra el **40%** de la población del País

Hay **35% más derechos de aguas subterráneas otorgados** que la recarga natural en la cuenca.
(WaterWays, 2022, para EH2030).





Identificación de las causas a los problemas de brecha y riesgo hídrico en las cuencas



**GESTIÓN
HÍDRICA
Y GOBERNANZA**

44%

Falta de:

- Información
- Coordinación/institucionalidad
- Fiscalización
- Marco normativo adecuado para GIRH



**AUMENTO
DEMANDA**

17%

- Aumento actividad productiva
- Sobre otorgamiento DAA



**CONTAMINACIÓN
DEL AGUA**

14%

- Uso de productos agroquímicos
- Pasivos mineros
- Falta de saneamiento rural
- Concentración de contaminantes



**DISMINUCIÓN
OFERTA**

12%

- Baja de precipitaciones
- Retroceso glaciares
- Sobreexplotación de acuíferos



**DAÑO
AMBIENTAL**

6%



**DESASTRES
NATURALES**

5%

- Incremento de eventos extremos
- Asentamiento en zonas de aluviones e inundaciones

OTROS

2%



ESCENARIOS
HÍDRICOS
2030
CHILE

stg
GOBIERNO REGIONAL
METROPOLITANO DE
SANTIAGO

CUENCAS REGENERATIVAS

*Mejora de la **relación humana con la naturaleza** para buscar acciones con visión sistémica donde los ecosistemas usen su potencial sustentable y capacidad regenerativa para adaptarse a escenarios actuales y futuros.*



- ¿Cuál es el conjunto de soluciones costo-eficientes para alcanzar Seguridad Hídrica considerando factores ambientales, sociales y económicos?
- Señalar dirección de esfuerzos para inversiones público-privados.
- ¿Qué soluciones y en qué territorios?
- Voluntad de acuerdos y compromisos multisectoriales.

PROCESO DE CO-CONSTRUCCIÓN

+25

Profesionales y especialistas



18

Sesiones en las cuencas de Maule y Maipo

Agrícola y APR - ZONA 2

Operarios	Capitanes
001-005	001-005
006-010	006-010
011-015	011-015
016-020	016-020
021-025	021-025



Transición Hídrica



8 Sesiones de comité consultivo



+370 Instituciones participantes de EH2030



8 Sesiones de mesas temáticas





HERRAMIENTAS

INNOVACIÓN METODOLÓGICA



ESCENARIOS
HÍDRICOS
2030
CHILE

Co-Construyendo herramientas hídricas innovadoras

Pasos metodológicos



¿Cuánta agua nos falta y dónde para cubrir la brecha hídrica?

¿Cuáles son las soluciones más costo/eficiente para alcanzar la Seguridad Hídrica y dónde se recomienda implementar?

Cambios en el uso del suelo

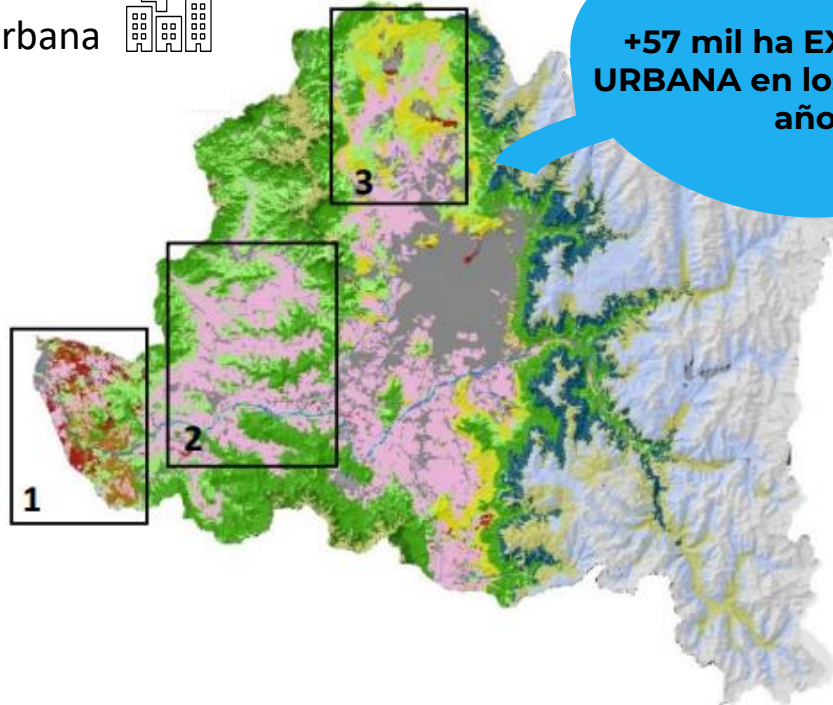
Ecosistemas fundamentales para el ciclo hidrico

Maipo

Destaca la pérdida de:

Bosque Espinoso costero (20%),
Bosque Espinoso interior (16%) y
Matorral Esclerófilo (13%).

Zona
Urbana



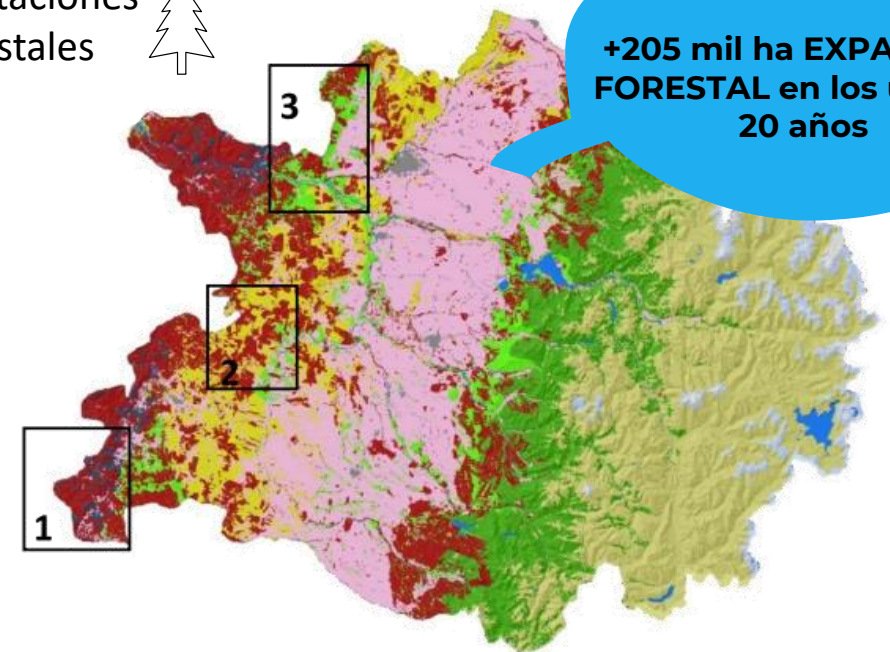
**+57 mil ha EXPANSIÓN
URBANA en los últimos 20
años**

Maule

Destaca la pérdida de:

Bosque Caducifolio costero (36%),
Bosque Esclerófilo (26%) y Bosque
Espinoso interior (24%).

Plantaciones
Forestales



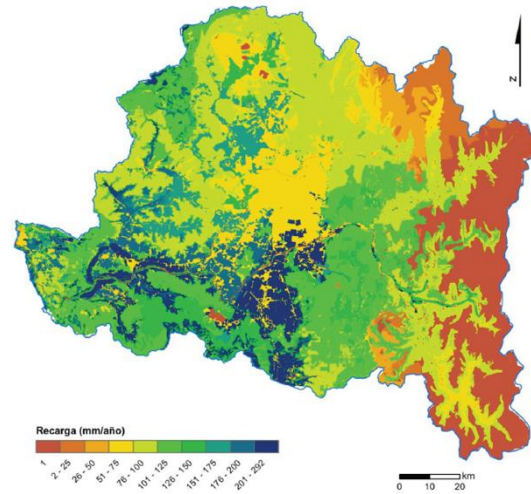
**+205 mil ha EXPANSIÓN
FORESTAL en los últimos
20 años**

Acuíferos como base en la gestión territorial

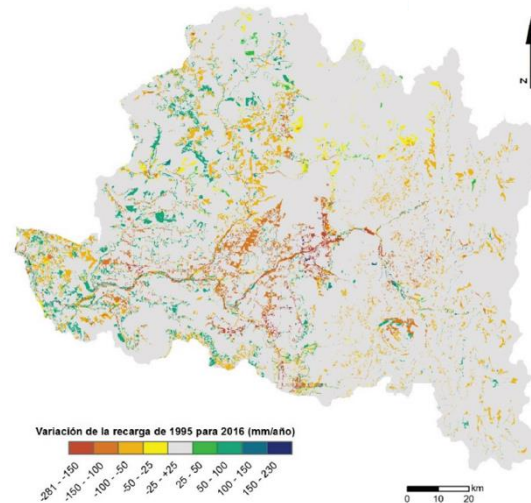
Principales sistemas de almacenamiento de agua

Maipo

La recarga de acuíferos promedio en la cuenca es cercana a **45 m³/s** para el año 2016.

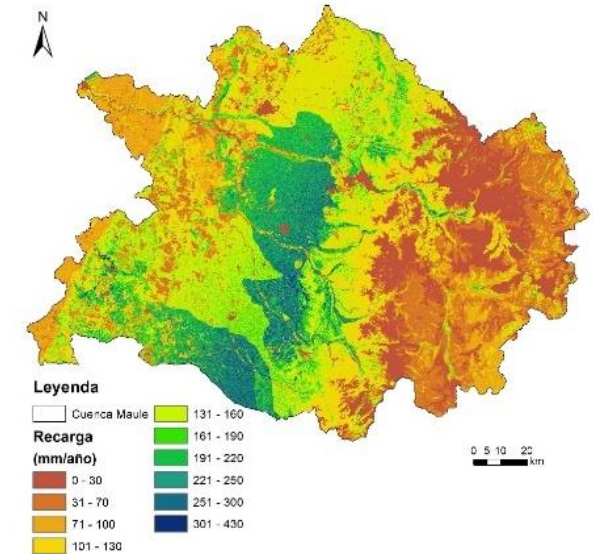


Existen **35%** más derechos de aguas subterráneas otorgados que la capacidad de recarga natural del acuífero.

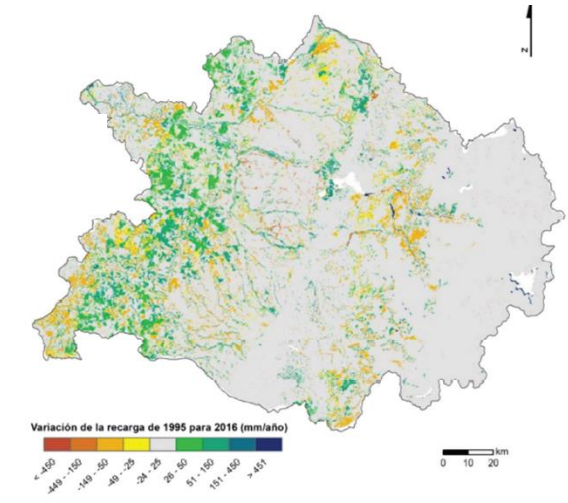


Maule

La recarga de acuíferos promedio en la cuenca es cercana a **47 m³/s** para el año 2016.

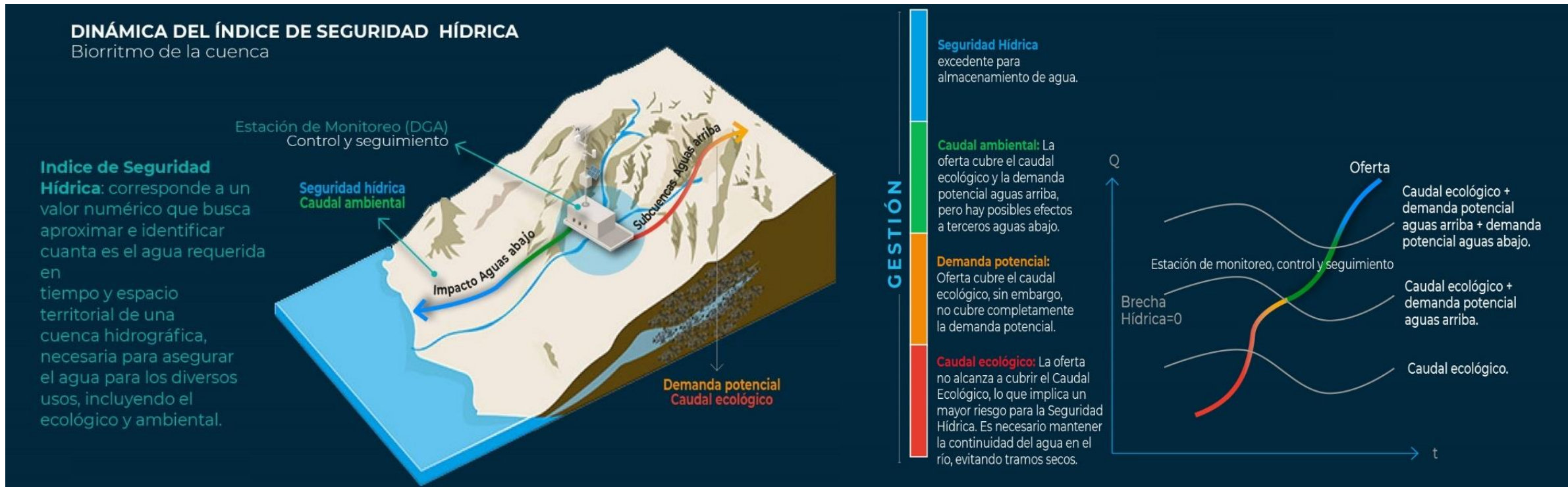


Existen **13%** más derechos de agua subterráneas otorgadas que la capacidad de recarga natural del acuífero.



Índice de Seguridad Hídrica

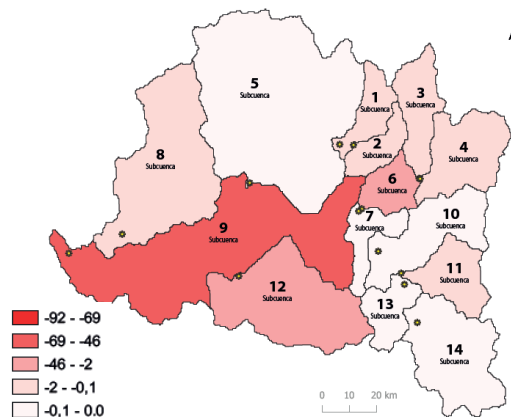
Biorritmo en las cuencas hidrográficas



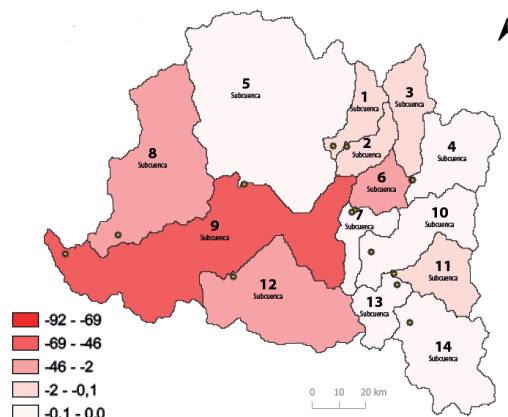
Índice de Seguridad Hídrica

Cuenca del río Maipo

TEMPORALIDAD ISH HISTÓRICO (1990-2016)



ABRIL-SEPTIEMBRE



OCTUBRE-MARZO



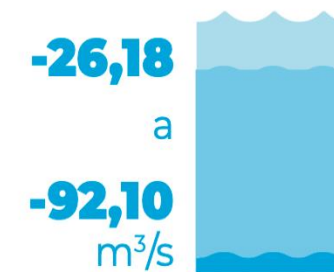
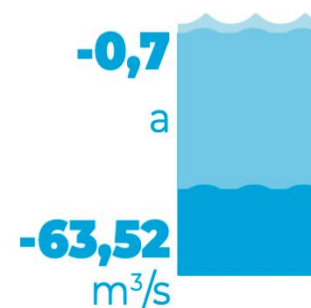
Caso más desfavorable de
-63,52 m³/s en
subcuenca 9*, mes
de marzo.



Caso más desfavorable de
-92,10 m³/s
en subcuenca 9*,
mes de marzo.

■ Seguridad Hídrica. Agua disponible para ser almacenada.
 ■ Cubre necesidades de la subcuenca, pero está afectando a usuarios aguas abajo.
 ■ Cubre caudal ecológico pero afecta la demanda aguas arriba.
 ■ Efecto en el caudal ecológico.

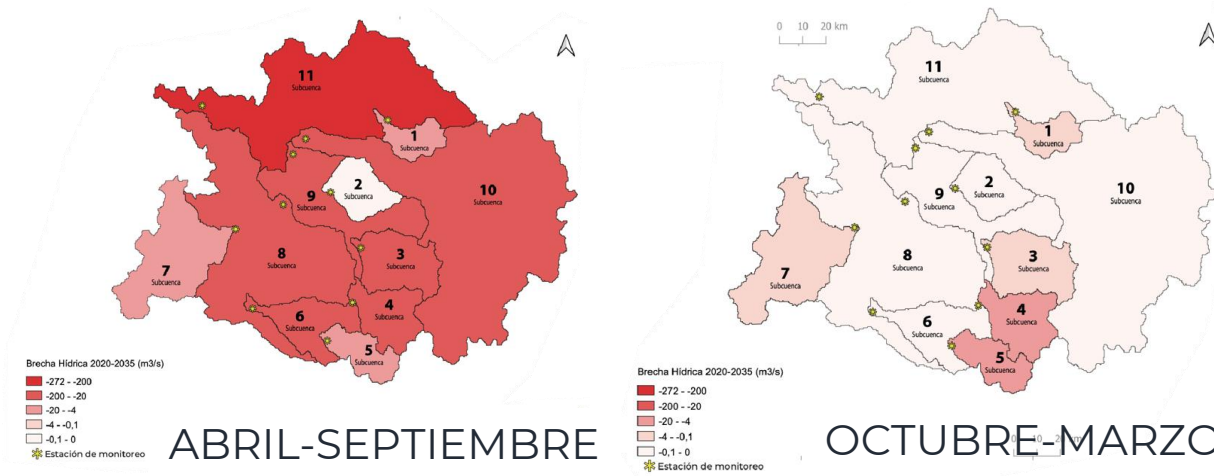
Histórico	Índice de Seguridad Hídrica Final (m ³ /s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Subcuenca 1	-0,12	0,08	-0,50	0,32	-0,13	-0,14	-0,56	-1,14	1,54	1,18	-0,08	-0,30
Subcuenca 2	-0,29	-0,29	-0,29	-0,04	-0,04	-0,04	-0,11	-0,11	-0,11	-0,28	-0,29	-0,29
Subcuenca 3	-1,95	-0,14	-0,28	-0,40	-0,35	-0,52	-0,40	-0,45	-0,32	0,21	1,39	0,02
Subcuenca 4	1,22	1,61	1,02	0,08	0,22	-0,41	-0,41	-0,31	-0,70	0,50	4,45	2,65
Subcuenca 5	7,43	12,33	4,57	2,87	2,97	3,08	2,51	2,13	10,01	4,67	3,63	4,45
Subcuenca 6	-3,03	-1,83	-4,16	-2,95	-2,03	-2,60	-1,91	-0,04	0,87	2,90	3,47	-2,94
Subcuenca 7	28,21	26,80	12,32	6,64	7,99	8,29	9,52	17,22	26,41	45,03	59,36	32,74
Subcuenca 8	-1,80	-2,63	-4,55	-1,12	-0,94	0,14	3,10	2,68	4,70	1,55	1,30	0,85
Subcuenca 9	-40,84	-24,92	-63,52	-38,30	-40,90	-46,03	-29,72	-17,46	16,38	-17,15	-6,43	-32,94
Subcuenca 10	25,65	23,53	13,03	7,40	7,87	8,07	9,27	13,03	19,24	35,83	48,76	29,72
Subcuenca 11	-0,53	-0,27	-0,27	-0,09	0,01	-0,37	0,01	-0,01	0,80	2,56	3,73	0,07
Subcuenca 12	-14,27	-15,52	-17,13	-4,33	-4,37	-4,62	3,10	4,93	6,97	-6,67	-8,43	-9,86
Subcuenca 13	14,26	13,50	8,04	4,38	4,43	3,71	3,13	3,62	4,95	14,35	29,04	16,85
Subcuenca 14	14,33	13,91	7,84	4,14	4,11	3,35	2,72	3,35	6,21	12,69	21,42	15,02
Brecha (m³/s)	-40,84	-24,92	-63,52	-38,30	-40,90	-46,03	-29,72	-17,46	-0,70	-17,15	-8,43	-32,94



Índice de Seguridad Hídrica

Cuenca del río Maule

TEMPORALIDAD ISH HISTÓRICO (1990-2016)



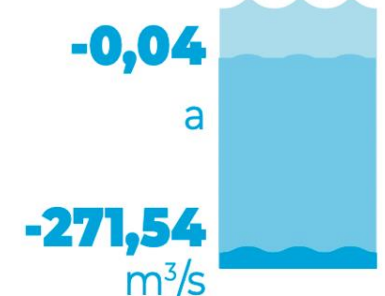
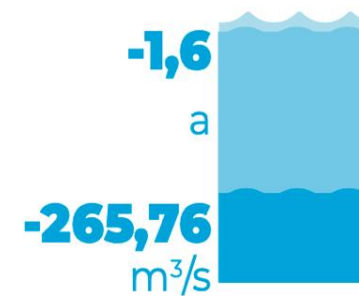
Caso más desfavorable de -265,76 m³/s en subcuenca 11, mes de enero.



Caso más desfavorable de -271,54 m³/s en subcuenca 11, mes de enero.

- Seguridad Hídrica. Agua disponible para ser almacenada.
- Cubre necesidades de la subcuenca, pero está afectando a usuarios aguas abajo.
- Cubre caudal ecológico pero afecta la demanda aguas arriba.
- Efecto en el caudal ecológico.

Histórico	Índice de Seguridad Hídrica Final (m ³ /s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Subcuenca 1	-5,81	-4,39	-2,14	-0,32	1,22	4,47	5,48	5,80	0,79	1,77	-1,99	-4,05
Subcuenca 2	11,99	17,14	18,36	16,53	11,75	6,43	1,97	4,23	6,62	7,34	12,24	16,57
Subcuenca 3	-33,37	-21,77	-7,46	-1,06	0,39	1,45	1,52	3,03	-3,89	-9,83	-27,23	-32,69
Subcuenca 4	-32,27	-19,79	-3,32	0,46	-4,35	-11,45	-10,87	-14,41	-18,12	-12,85	-20,52	-26,20
Subcuenca 5	-11,23	-8,00	-2,43	-0,76	0,13	-5,25	-8,62	-7,65	-7,59	-6,96	-10,27	-10,85
Subcuenca 6	-31,03	-10,00	6,09	5,41	6,27	30,33	29,37	20,10	9,78	0,39	-12,97	-25,35
Subcuenca 7	-6,19	-3,58	-0,85	2,00	1,42	7,09	-0,26	0,96	4,86	4,52	-0,31	-3,45
Subcuenca 8	-124,89	-63,80	2,50	22,30	24,76	129,02	121,35	128,05	120,32	64,54	-20,97	-88,31
Subcuenca 9	-174,02	-80,99	21,82	55,22	52,44	162,10	155,77	170,13	141,78	84,76	-25,63	-115,70
Subcuenca 10	-29,33	-23,90	-0,70	47,86	74,29	52,41	20,29	45,48	76,65	48,25	11,59	-17,17
Subcuenca 11	-265,76	-143,75	-3,00	119,08	135,57	304,97	213,35	224,07	275,16	142,02	-40,87	-176,96



SOLUCIONES

HOJAS DE RUTA MAULE Y MAIPO



Conservación Maipo

Brecha y Riesgo Hídrico

Comunas con mayor potencial:

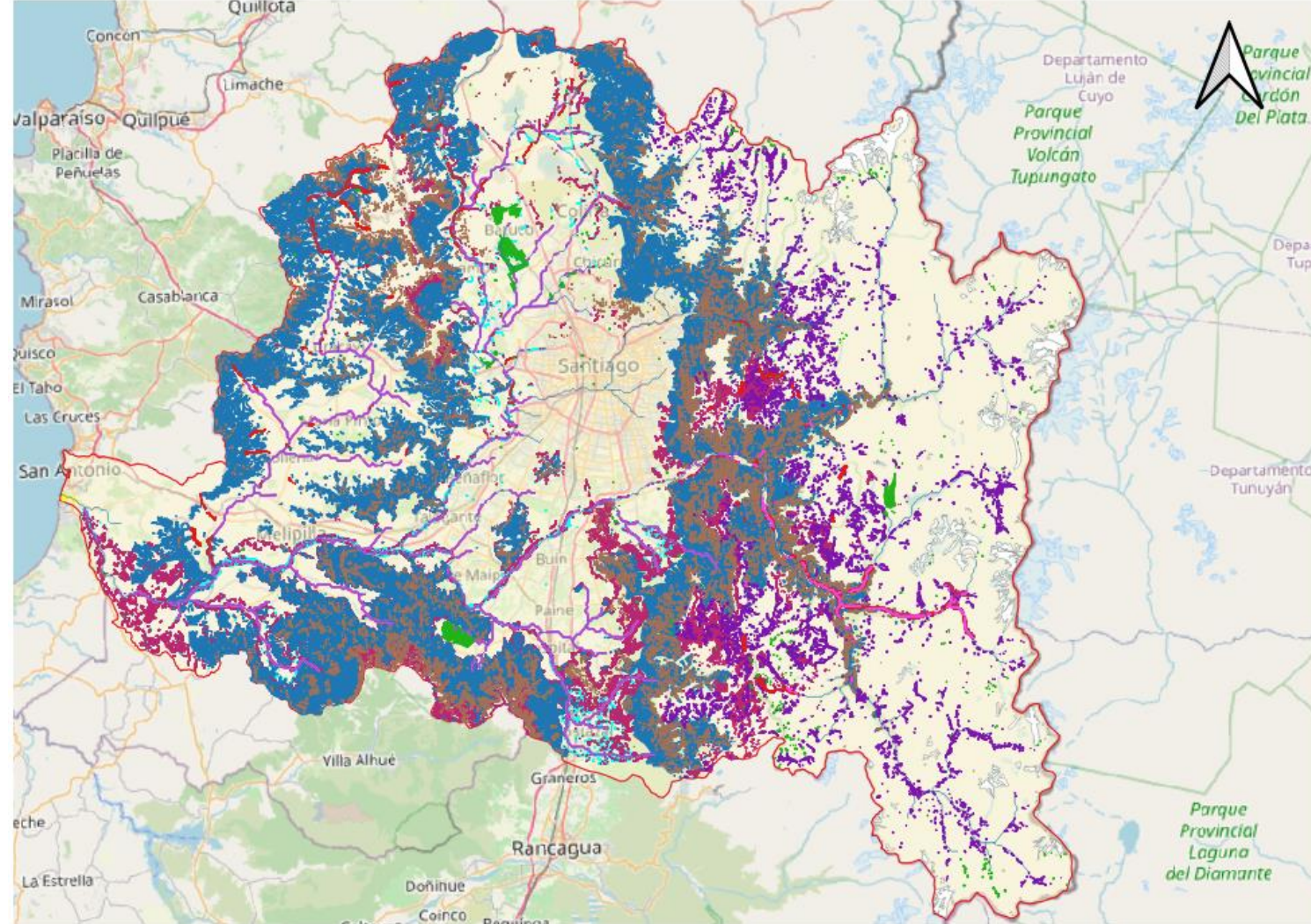
1. San José de Maipo
2. Buin
3. Lo Barnechea
4. Paine
5. Mostazal
6. Codegua

Superficie total implicada: 425.427 Has

Agua total aportada:

- **Conservación:** 4,6 m³/s
- **Infiltración:** 2,12 m³/s

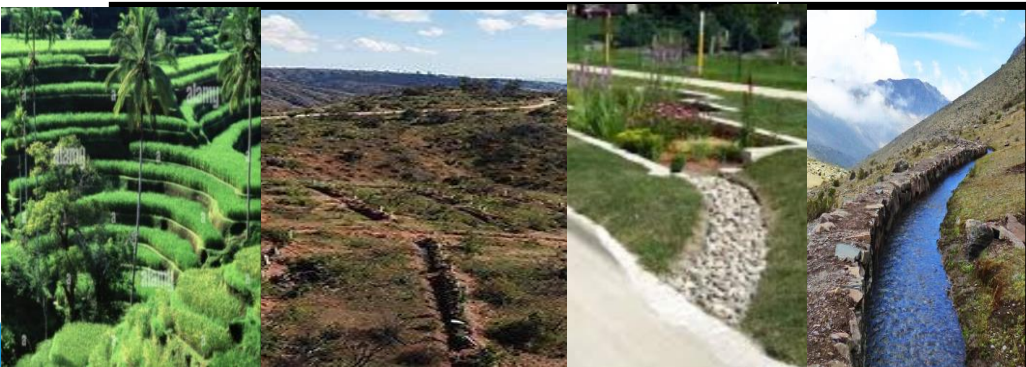
Plazo implementación: 1 – 20 años



Leyenda

- Mallas y lonas de poliuretano para protección de glaciares
- Infiltración para recarga de acuíferos por gravedad y en lecho de río
- Conservación de bofedales/vegas
- Conservación de ríos
- Conservación de humedales naturales
- Conservación de bosques esclerófilo
- Conservación de bosques en cabeceras de cuenca
- Qochas / Bordos superficiales
- Zanjas de infiltración
- Amunas
- Conservación de estuarios
- Llanuras de inundación
- Red de drenaje

*Este mapa corresponde a las zonas que actualmente **permiten sostener el ciclo hídrico** en la cuenca y deben ser mantenidas.*



Reparación Maipo

Brecha y Riesgo Hídrico

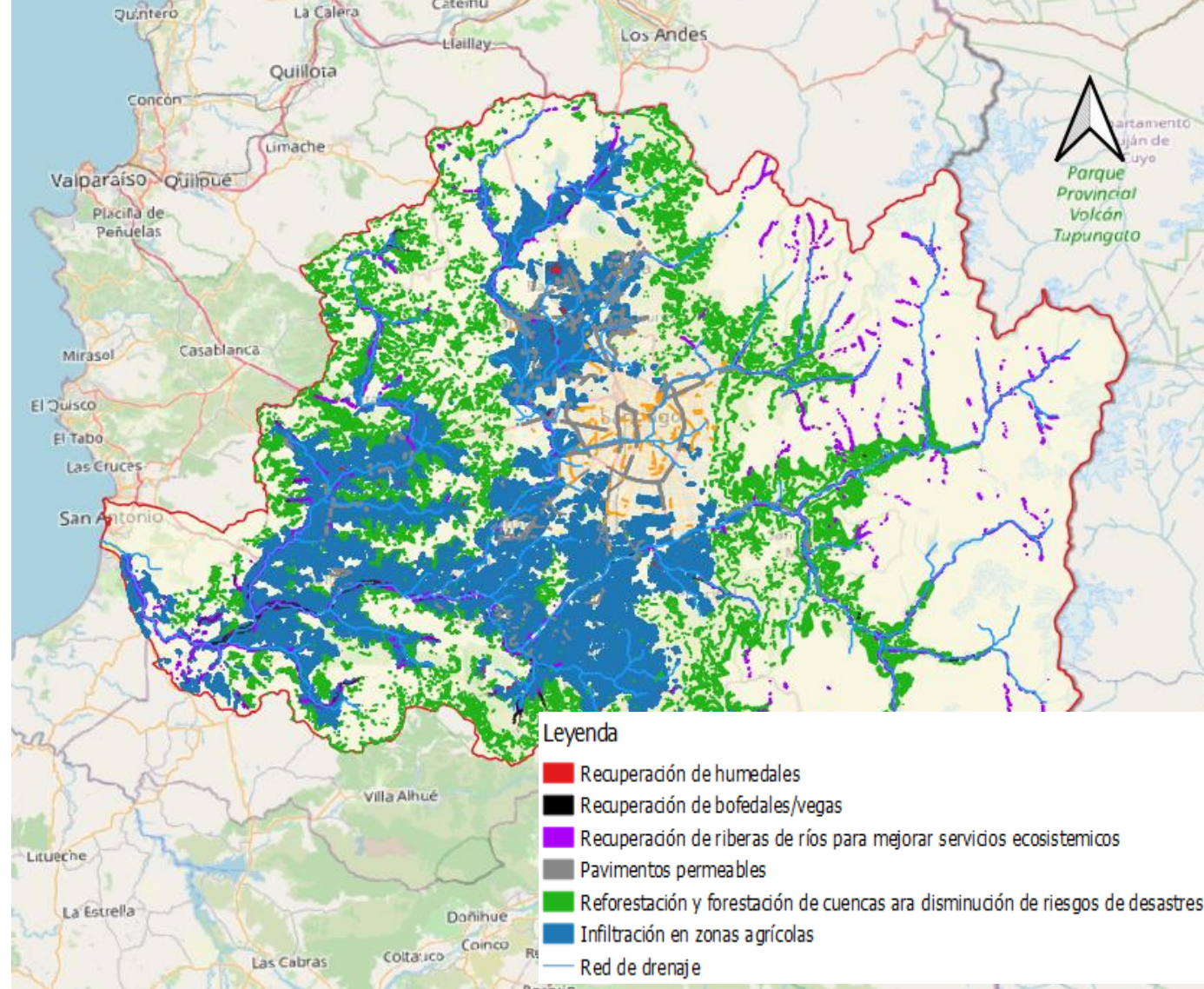
1. San José de Maipo
2. Buin
3. Quilpué
4. Melipilla
5. Curacaví
6. Paine

Superficie total implicada: 291.674 Has

Agua total aportada:

- **Reparación y reforestación:** 0,164 m³/s
- **Infiltración en zonas agrícolas:** 2,63 m³/s
- **Infiltración en zonas urbanas:** 0,001 m³/s

Plazo implementación: 1 – 20 años



*Este mapa corresponde a las zonas que actualmente tienen usos productivos, sin embargo, sus **componentes ambientales deben ser reparados para la seguridad hídrica** al 2050.*

Tratamiento de aguas residuales

Comunas con mayor potencial:

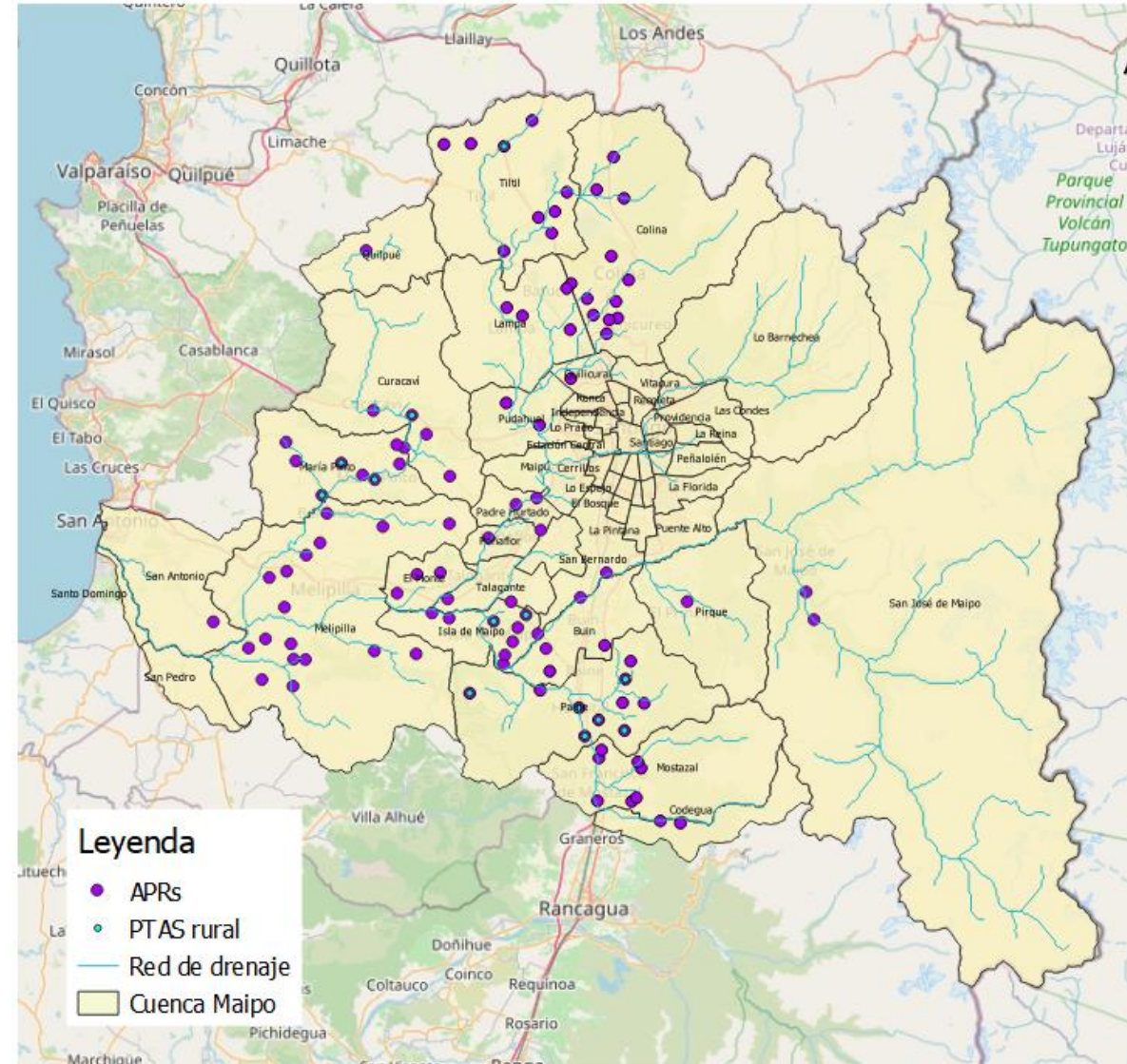
1. Melipilla
2. Paine
3. Isla de Maipo
4. Colina
5. María Pinto

Potencial reúso urbano: 300 L/s

Potencial reúso rural: 319 L/s

Plazo implementación: 10 - 15 años

Localización de APRs y PTAs rurales para tratamiento, reúso y aprovechamiento como
nuevas fuentes de agua.



Tipos de soluciones

CONSERVACIÓN

Zanjas de infiltración



B. cabecera cuenca



Bosque esclerófilo



Qochas/Bordos



Amunas



Conservación de ríos



RESTAURACIÓN

Infiltración agrícola



Reforestación nativa



Reparación de riberas



EFICIENCIA

Eficiencia agricultura



Agricultura vertical



REÚSO



Ejemplo de Soluciones

Áreas verdes

RIESGO: uso de agua potable en riego y uso de agua de pozo



OPORTUNIDAD



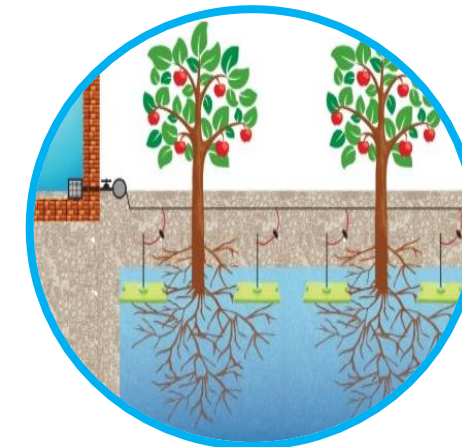
Paisajismo de bajo requerimiento hídrico



Vegetación nativa de menor requerimiento hídrico



Hidrogel

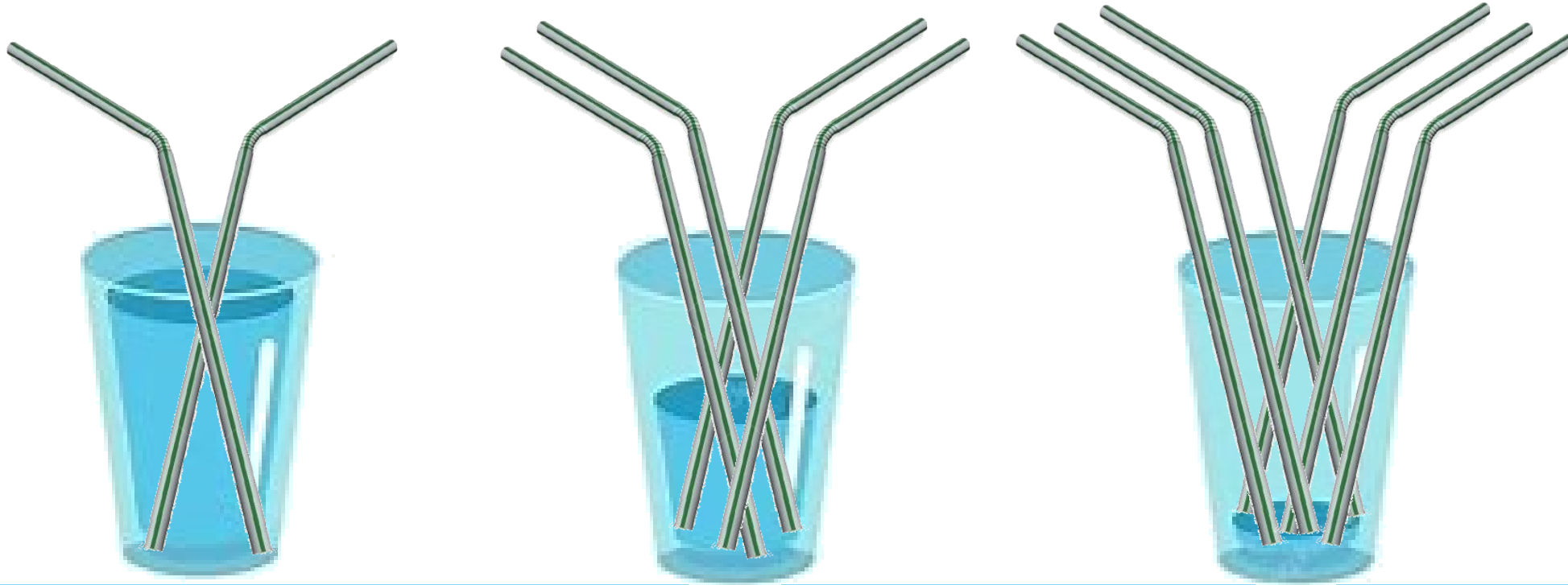


Riego subterráneo

PROFUNDIZAR EL POZO V/S RECARGAR EL POZO



SEGURIDAD
HÍDRICA Y SbN



¿Quién se preocupa de recargar los pozos?

Soluciones

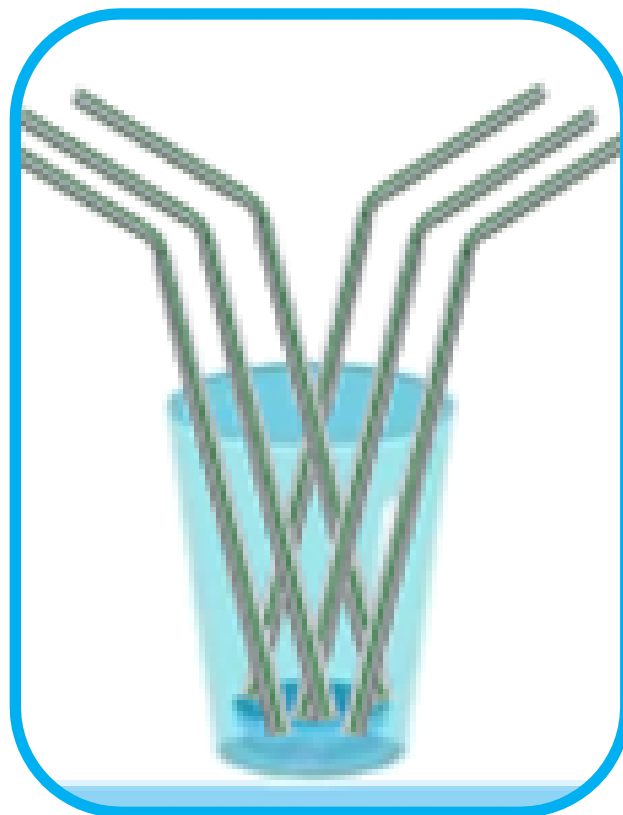
Recarga de Acuíferos



Pavimento permeable



Jardines de lluvia



Zanjas de Infiltración



Cochas o bordos



Inundación Agrícola



Bosque esclerófilo



Plazas de agua



Conservación de ríos



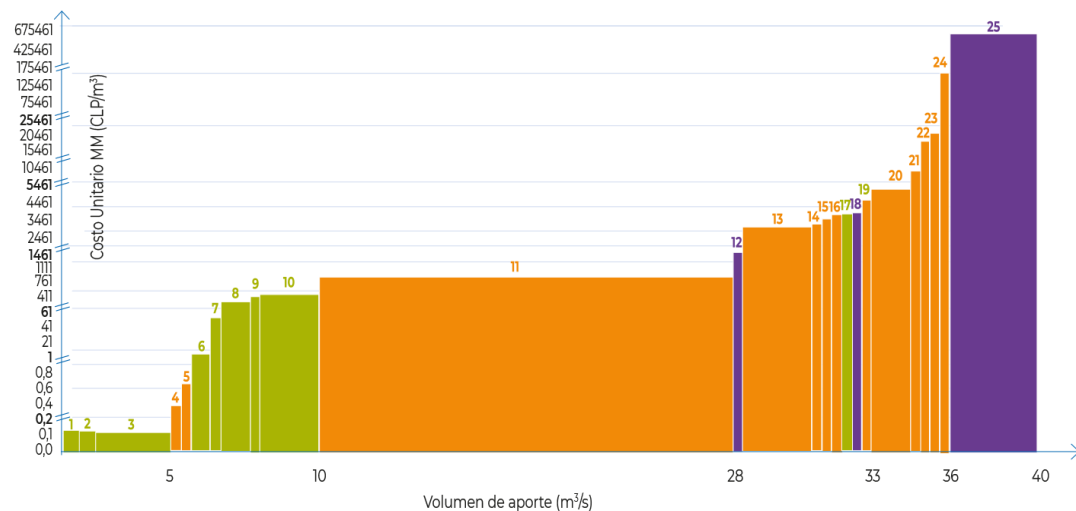
Amunas



Reparación Riberas

Curva de Abatimiento

Cuenca río Maipo



Fuente: Elaboración propia

- | | |
|--|--|
| 1 Conservación de vegas | 14 Detergente para lavado de automóviles en seco |
| 2 Conservación de bosques en cabeceras de cuenca | 15 Riego Mecanizado mayor (asperión o similar) (75%) |
| 3 Conservación de bosque esclerófilo | 16 Estanque y lavamanos unificado para disminuir el consumo de agua |
| 4 Hidrogel en raíces para reducir el uso de agua en el riego de áreas verdes | 17 Cambio de vegetación nativa de menor requerimiento hídrico en áreas verdes urbanas |
| 5 Hidrogel en raíces para reducir el uso de agua en el riego | 18 Reuso de aguas residuales urbanas en emisarios submarinos |
| 6 Bordos superficiales para disminuir la escorrentía (Jollas) | 19 Sistemas sanitarios de menor requerimiento hídrico |
| 7 Zanjias de infiltración para recolección y almacenamiento de agua lluvia | 20 Agricultura de precisión con técnicas de riego deficitario controlado |
| 8 Sistema tradicional para recarga superficial de acuíferos (Amunas) | 21 Dispositivos de control de temperatura para eficiencia en el consumo de agua caliente |
| 9 Mulch para retener la humedad en el suelo para paisajismo xéricos | 22 Cultivos hidropónicos y aeropónicos |
| 10 Mallas y lonas de poliuretano para protección de glaciares | 23 Paisajismo xérico o de bajo requerimiento hídrico |
| 11 Riego subterráneo en la agricultura (90%) | 24 Celdas de polipropileno/cámaras ADS para control de agua pluvial |
| 12 Sistema tratamiento de lodo activado para aguas residuales tratadas | 25 Desalación mediante osmosis inversa |
| 13 Micro riego localizado (goteo, microaspersión microjet o similar) (85%) | |

61 MAS

Conjunto de soluciones aporta **52,44 m³/s** de agua (Subcuenca 9, mes de marzo)



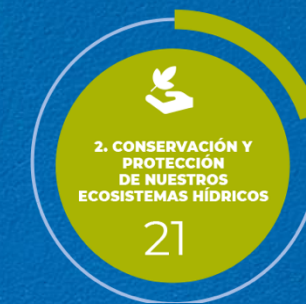
ESCENARIOS
HÍDRICOS
2030
CHILE

73%



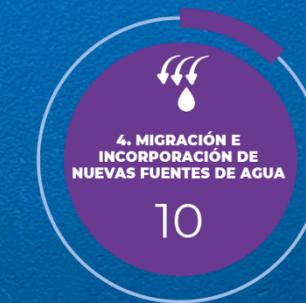
19% de la inversión

18%



8% de la inversión

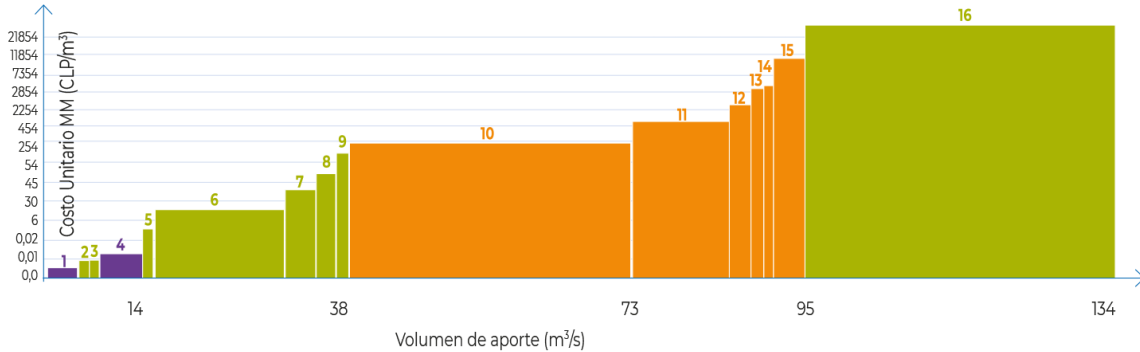
9%



73% de la inversión

Curva de Abatimiento

Cuenca río Maule



- | | |
|---|--|
| 1 Estanque flexible para acumulación de agua | 9 Mallas y lonas de poliuretano para protección de glaciares |
| 2 Conservación de humedales naturales | 10 Riego subterráneo agricultura (90%) |
| 3 Conservación de bosques en cabeceras de cuenca | 11 Micro riego localizado (goteo, microaspersión microjet o similar) (85%) |
| 4 Sistema de almacenamiento de agua | 12 Riego mecanizado mayor (asperión o similar) (75%) |
| 5 Bordos superficiales para disminuir la escorrentía (Jollas) | 13 Agricultura vertical en invernaderos |
| 6 Recuperación de riberas de ríos para mejorar servicios ecosistémicos | 14 Agricultura de precisión con técnicas de riego deficitario controlado |
| 7 Zanjas de infiltración para recolección y almacenamiento de agua lluvia | 15 Hidrogel en raíces para reducir el uso de agua en el riego |
| 8 Sistema tradicional de captación y almacenamiento de aguas lluvias (Cochas) | 16 Infiltración para recarga de acuíferos por gravedad y en lecho de río |

63 MAS

Conjunto de soluciones aporta **457** m³/s de agua (Subcuenca 11, mes de enero)



ESCENARIOS
HÍDRICOS
2030
CHILE

53%



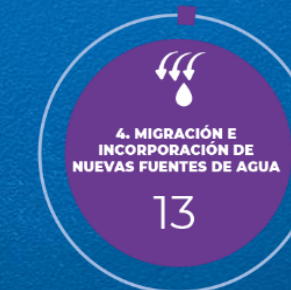
0,5% de la inversión

46%



6,5% de la inversión

1%



93% de la inversión



Algunas reflexiones y conclusiones

- Las soluciones más costo eficientes benefician a la cuenca pero no necesariamente a quien la implementa en forma directa (Ej, SbN).
- En zona central la Eficiencia Hídrica es crítica como aporte hídrico otorgando seguridad alimentaria pero en el uso más intensivo e ineficiente requiere de la disminución de extracciones (vs efecto rebote).
- La situación geográfica implica combinaciones diferentes de soluciones.

**DESARROLLO SUSTENTABLE SÓLO ES
POSIBLE DESDE MIRADA INTEGRAL**

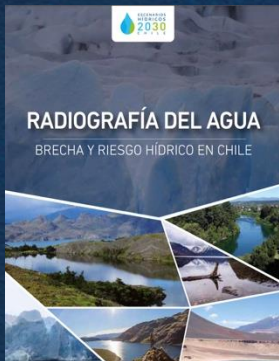
Visita y sigue nuestro proceso en:

www.escenarioshidricos.cl



ESCENARIOS
HÍDRICOS
2030
CHILE

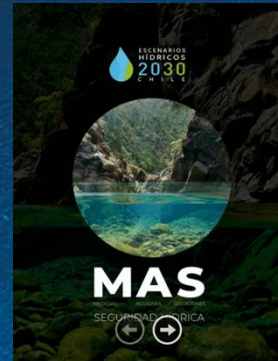
2018



2019



2019



2021



2022



2022



Twitter:
[@ehidricos2030](https://twitter.com/ehidricos2030)



Facebook:
[escenarioshidricos2030](https://www.facebook.com/escenarioshidricos2030)



LinkedIn:
Escenarios Hídricos 2030



ESTE MATERIAL HA SIDO ELABORADO POR FUNDACIÓN CHILE; SU REPRODUCCIÓN REQUIERE DE AUTORIZACIÓN.