

# Manual **HESMASH** Herramienta Estratégica para Selección de Medidas, Acciones y Soluciones Hídricas



ESCENARIOS  
HÍDRICOS  
**2030**  
CHILE

**Abril 2022**





ESCENARIOS  
**HÍDRICOS**  
**2030**  
CHILE

**ESCENARIOS HÍDRICOS 2030  
(EH2030)**  
**Abril, 2022**

**Manual  
HESMASH Herramienta  
Estratégica para Selección de  
Medidas, Acciones y Soluciones  
Hídricas.**

**Santiago, Chile.**

**ISBN: 978-956-8200-64-0**  
**Abril 2022**

**Equipo Desarrollo y Edición de Contenidos:**

- Paola Matus, Fundación Chile
- Valentina Cárdenas, Fundación Chile
- Claudia Galleguillos, Fundación Chile
- Ulrike Broschek, Fundación Chile
- Paul Dourojeanni, Fundación Chile
- Gerardo Díaz, Fundación Chile
- Adriana López, Fundación Chile
- Claudia Maldonado C., Fundación Chile
- Diego Luna, Fundación Futuro Latinoamericano
- Gabriel Caldés, Consultor Fundación Chile
- Marcos Kulka, Fundación Chile

**Expertos que apoyaron directamente  
el desarrollo de la HESMASH:**

- Guillermo Donoso, Departamento de Economía Agraria de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Elisa Blanco, Departamento de Economía Agraria de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Manuel Contreras, Centro de Ecología Aplicada (CEA).
- José María Peralta, Centro de Ecología Aplicada (CEA).
- Alejandro Aguado, Centro de Ecología Aplicada (CEA).
- Alfredo Villalobos, Centro de Ecología Aplicada (CEA).
- Felipe de la Hoz, Centro del Agua para la Agricultura (CAA).
- Diego Rivera, Centro del Agua para la Agricultura (CAA).
- Alex Godoy, Centro del Agua para la Agricultura (CAA).
- Viviana Gavilan, Centro del Agua para la Agricultura (CAA).
- Lorenzo Cigarra, Centro del Agua para la Agricultura (CAA).
- Juan José Crocco, Consultor Fundación Chile.
- Ministerio de Obras Públicas.

**Comunicaciones y Marketing:**

Katherine Noack  
Loreto Velázquez  
Paula Larraín  
Andrea Lailhacar  
Macarena León  
Javiera Ramírez  
Daniela Calderón

**Edición General**

Claudia Maldonado

**Diseño y Diagramación**

Verónica Zurita V.  
Mauricio Becerra

Publicación sin fines comerciales. Reservados todos los derechos. Queda autorizada su reproducción y distribución con previa autorización y citando fuente como:  
“Escenarios Hídricos 2030 – EH2030. (2022). Manual HESMASH Herramienta Estratégica para Selección de Medidas, Acciones y Soluciones. Fundación Chile, Santiago, Chile”

# Índice

Página

<b>4</b>	<b>1. Resumen ejecutivo</b>
<b>6</b>	<b>2. Características de este manual</b>
<b>8</b>	<b>3. ¿Cómo se utiliza?</b>
3.1	Paso 1. Identificación del problema
3.2	Paso 2. Conectar el problema con el objetivo a abordar
3.3	Paso 3. Sector de Aplicación
3.4	Paso 4 . Criterios secundarios de selección
3.5	Paso 5 . Aplicar criterios para la toma de decisiones
<b>15</b>	<b>4. ¿Qué se obtiene?</b>
<b>17</b>	<b>5. Ejemplos de aplicación</b>
<b>26</b>	<b>6. Bibliografía</b>
<b>27</b>	<b>7. Glosario</b>

# 1. Resumen Ejecutivo

La Herramienta Estratégica para Selección de Medidas, Acciones y Soluciones Hídricas (HESMASH) busca apoyar la toma de decisiones y la ejecución de inversiones costo-eficientes para mejorar la gestión hídrica en los territorios, incorporando las variables ambientales, sociales y legales dentro de las evaluaciones de proyectos hídricos.

Esta herramienta nace desde la iniciativa Escenarios Hídricos 2030, a partir de las siguientes preguntas: ¿Por qué solo pensamos en la construcción de grandes obras si existe una amplia gama de soluciones hídricas para elegir? ¿Qué falta para tomar mejores decisiones al respecto? Existe un desconocimiento en los tomadores de decisión respecto a las soluciones más costo-eficientes que existen a nivel mundial para abordar la problemática hídrica. Es el caso de las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) y las soluciones ancestrales, que aportan agua al sistema (cuenca) con bajo costo de inversión, impactos sociales y ambientales positivos, además de tener un corto plazo de implementación, prestando servicios ambientales de adaptación al cambio climático y reparación del ciclo hídrico antes de los 3 años. La HESMASH ha sido diseñada para conectar problemas hídricos detectados en los territorios con las Medidas, Acciones y Soluciones (MAS) que los abordan. Esta herramienta, además, permite extender la mirada más allá de las soluciones tradicionales, ofreciendo un abanico amplio de acciones que responden a problemas específicos y

según las características de cada territorio. Los datos levantados en esta matriz multicriterio han sido construidos sobre la base de parámetros técnicos, estudios y experiencias nacionales e internacionales, respaldados por sus respectivas referencias bibliográficas.

La HESMASH es flexible para ser aplicada en los diferentes niveles territoriales (cuencas, microcuencas, municipalidades, problemas específicos, otros).

**25** MAS  
de conservación y ancestrales

**56** MAS  
de eficiencia hídrica

**87** MAS  
nuevas fuentes de agua

Para cada solución han sido incorporados criterios complementarios -mencionados a continuación-, que permiten mejorar la toma de decisiones para una real adaptación a las nuevas condiciones -actuales y futuras- para un desarrollo más sostenible del territorio:



Impactos ambientales.



Impactos sociales.



Tiempo de implementación en corto, mediano y largo plazo (condiciones legales).



Aporte volumétrico de agua.



Costos referenciales.

La herramienta puede ser usada por cualquier tomador de decisiones tanto a nivel nacional, como regional, local e incluso, puede ser utilizada por un usuario residencial que quiere identificar soluciones a problemas hídricos específicos. Además, puede ser utilizada por diferentes sectores, ya sean agentes públicos, privados, academia y organizaciones territoriales en la toma de decisiones, permitiendo conectar sus problemáticas hídricas con las Medidas, Acciones y Soluciones (MAS) que les permitan disminuir los riesgos hídricos de la manera más eficiente en los territorios a trabajar.

El presente manual detalla los pasos necesarios para usar adecuadamente la Herramienta Estratégica para la Selección de las Medidas, Acciones y Soluciones Hídricas (HESMASH), los productos que es posible obtener desde ella y algunos ejemplos de su aplicación en cuencas de Chile. Constituye así un mecanismo que servirá de apoyo para la elaboración de instrumentos de gestión hídrica, tales como planes, estrategias, estudios, curvas de abatimiento, entre otros.

Esta herramienta fue construida con el fondo de financiamiento “Bienes Públicos para la adaptación al Cambio Climático” de Innova Chile de CORFO, cuyo mandante es el Ministerio de Obras Públicas, buscando el desarrollo de una metodología replicable, para identificar y seleccionar el conjunto de soluciones que abordan la Brecha y Riesgo Hídrico en las cuencas hidrográficas, maximizando las sinergias con soluciones más sistémicas y colaborativas, dentro de los territorios.

La construcción de la HESMASH fue liderada por el equipo de Fundación Chile, en el marco de la iniciativa Escenarios Hídricos 2030, contando con el apoyo del equipo del departamento de Economía Agraria de la Pontificia Universidad Católica de Chile, liderado por Guillermo Donoso; el Centro de Ecología Aplicada (CEA) y el Centro del Agua para la Agricultura de la Universidad de Concepción (CAA).

# Objetivo

Entregar una guía paso a paso para utilizar en forma simple la Herramienta Estratégica para Selección de Medidas, Acciones y Soluciones Hídricas (HESMASH), y así identificar un conjunto de soluciones que puedan constituir opciones costo-eficientes para abordar las problemáticas hídricas en los territorios.

De esta manera, se busca establecer una combinación óptima de medidas, acciones y soluciones que se puedan aplicar en el corto, mediano y largo plazo en el territorio, ya sea para aumentar la oferta hídrica o para disminuir la demanda de agua, contribuyendo a sostener y/o mejorar el ciclo hídrico.

Asimismo, la HESMASH busca brindar apoyo a los diferentes sectores, como agentes públicos, privados, academia y organizaciones territoriales en la toma de decisiones, permitiendo conectar sus problemáticas hídricas con las Medidas, Acciones y Soluciones (MAS) que les permitan cerrar la brecha y disminuir los riesgos hídricos de la manera más eficiente en los territorios a trabajar.

La HESMASH permite encontrar las mejores opciones para abordar los problemas hídricos territoriales, a través de la selección de un conjunto de soluciones que puedan abordar el problema específico identificado, o bien, siendo utilizada como una herramienta de gestión hídrica, para planes hídricos, estrategias, estudios específicos, entre otros.



**¿A quién va dirigido?**

La herramienta está diseñada para poder ser utilizada por tomadores de decisión públicos, privados, academia y/o comunitarios. Asimismo, permite conocer y evaluar soluciones novedosas y poco conocidas, utilizando datos referenciales y aproximaciones que poseen respaldo técnico para ello.



**¿En qué territorio aplica?**

Gracias a sus características, este instrumento puede ser utilizado en cualquier territorio en Chile y Latinoamérica, a nivel residencial, municipal, regional, de cuenca, entre otros.

Este manual busca orientar a los tomadores de decisiones, de diversos sectores y a diferentes escalas, para la mejor utilización de la HESMASH en la determinación de las soluciones hídricas más costo-eficientes a implementar en sus territorios.

# 3. ¿Cómo se utiliza?

Para el uso de esta herramienta se sugiere llevar a cabo un procedimiento que consta de cinco pasos, como se muestra en el siguiente diagrama:



OPTATIVOS

Figura 31: Diagrama. pasos para el uso de la HESMASH.

A continuación, se describe brevemente cada paso, sus objetivos y método a utilizar. En ocasiones, se agregan notas adicionales de ayuda para entender correctamente el objetivo. Asimismo, el producto resultante en cada paso será el insumo necesario para avanzar hacia el siguiente. Los pasos 1, 2 y 5 son fundamentales dentro del proceso, mientras que 3 y 4 optativo de aplicar, según sea el caso.

## Objetivo: Identificar el problema que se busca resolver en el territorio.

Consiste en el levantamiento de información territorial primaria o secundaria donde se identifica el o los problemas principales que se quieren abordar.

Para esto existen variadas metodologías, como el árbol de problemas, Los 5 Porqués, entre otros.

El árbol de problemas permite analizar alguna situación o dificultad presente, tomando en consideración sus principales relaciones causales, así como los efectos que esta problemática conlleva para el sistema, sean actores particulares, territorios específicos, o atributos valorados por el conjunto de actores (CCG- UC, 2019).

El método de Los 5 Porqués (The Five Whys) permite determinar el origen de un problema, o necesidad de un usuario, identificando su causa central, además de propiciar su comprensión (insight). Consiste en realizar una pregunta de la cual se desprenden 5 porqués adyacentes, para así ahondar en las relaciones de causa y efecto, y llegar al origen inicial del problema.

Una vez identificado el problema se podrá definir el objetivo que se desea abordar con la HESMASH.



## Objetivo: Conectar el problema identificado con un objetivo de la HESMASH.

En base a el o los problemas que se identifiquen en el territorio, se define el primer filtro<sup>1</sup> para la selección de soluciones de la herramienta, que son los “Objetivos de Selección” cuya función es conectar la matriz multicriterio que provee soluciones hídricas con el problema identificado y las necesidades territoriales.

Se debe considerar que un mismo problema puede tener varios “Objetivos de Selección”, sin embargo, para la adecuada utilización de la HESMASH se recomienda aplicar solo un objetivo a la vez para el óptimo funcionamiento de los filtros.

Antes de comenzar a usar los filtros de la herramienta, se debe verificar que no exista ninguna columna con filtros previamente aplicados. Sobre la base de los problemas identificados, los “Objetivos de Selección” definidos se muestran en la Figura 3.2.

1. Se entiende por filtro o selección dentro de la HESMASH a filtrar por el número 1 dentro de la planilla.

Figura 3 2: Caracterización de los “Objetivos de Selección” de las de las Medidas, Acciones y Soluciones (MAS) de la HESMASH.



## Objetivo: Vincular el problema y el “Objetivo de Selección” identificado en el paso anterior, a uno o más sectores de aplicación.

A diferencia de los pasos anteriores, es optativo para el usuario aplicar este filtro, dependiendo de cada caso.

En la identificación del “Sector de Aplicación” se busca definir un conjunto potencial de Medidas, Acciones y Soluciones que podrían resolver la problemática individualizada, de acuerdo con las particularidades del sector en análisis. Este se define en relación con el usuario principal de la tecnología, que puede ser industrial, minería, agrícola, forestal, pecuario, agua potable y saneamiento, servicios, áreas verdes y medio ambiente (Figura 3-3).

El proceso se debe llevar a cabo aplicando a un sector a la vez para el óptimo funcionamiento de los filtros de la herramienta. De esta forma, al igual que con el paso anterior, si para resolver un problema en particular se identifica más de un sector involucrado, se deben crear distintos procesos para cada uno de ellos. Lo anterior, se puede realizar múltiples veces, en relación con el número de sectores de aplicación definidos.

**IMPORTANTE:** Este paso se debe seguir siempre y se tenga claro el sector de aplicación, es decir, si el problema es específico y aplica exclusivamente para él. Si el problema es independiente de un sector en particular, se recomienda saltar este paso y continuar al siguiente.

Figura 3 3: Caracterización del “Sector de Aplicación” de las tecnologías presentes en la HESMASH.



### INDUSTRIAL

medidas que puedan ser aplicadas dentro de los procesos productivos de distintas industrias (textil, agroindustria, maderera, etc.)



### FORESTAL

Medidas aplicables a las plantaciones forestales como sector productivo.



### MINERÍA

Medidas para los procesos de exploración, explotación y cierre de minas



### AGRÍCOLA

Medidas aplicables a las zonas agrícolas durante la producción de los alimentos y productos agrícolas.



### PECUARIO

Medidas aplicables a la cría de ganado del tipo ovino, porcino, avícola, vacuno y otros.



### AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO

Medidas para los procesos de obtención, suministro, conducción y tratamiento de las aguas para uso humano.



### SERVICIOS

Todos los otros sectores que no sean necesariamente productivos, como hospitalario, transporte, comercial, etc..



### ÁREAS VERDES

Referido al uso de agua en parques y zonas verdes en las áreas urbanas.



### MEDIO AMBIENTE

Medidas para las zonas de conservación o recuperación de ecosistemas y ciclo hídrico, que cumplen funciones de provisión de servicios ecosistémicos fuera de un proceso productivo.



### TODOS LOS SECTORES

PASO  
4

Aplicar  
criterios  
secundarios

OPTATIVO

## Objetivo: Aplicar criterios secundarios que complementan la selección de soluciones.

Este paso es complementario y optativo a realizar, dependerá de las características que deseamos que tengan las soluciones a seleccionar. Estos criterios se presentan a continuación.



De acuerdo con el nivel de aplicación de la MAS (residencial, industrial y cuenca)



Referido a si la solución aporta a la brecha hídrica (oferta v/s demanda de agua) o para mitigar los riesgos hídricos.



Se refiere a las MAS que complementan a soluciones principales, por lo tanto no funcionan por si solas, como por ejemplo los sistemas de monitoreo.

# PASO 5

Aplicar  
criterios para  
la toma de  
decisiones

**Objetivo:** Aplicar criterios que permitan mejorar la toma de decisiones, dependiendo de los intereses o limitaciones en cada caso.



Una vez realizados todos los pasos ya mencionados, a través de la identificación del problema, objetivo, sector de aplicación (opcional) y los criterios secundarios (opcionales), se filtra el conjunto de Medidas, Acciones y Soluciones de acuerdo con los criterios para la toma de decisiones, lo que permite afinar la preselección de las soluciones para el territorio. El filtro se podrá aplicar usando criterios como el impacto ambiental que genera la solución (positivo o negativo), los impactos sociales, las condiciones legales y aspectos regulatorios que determinan la factibilidad de implementación en el corto, mediano o largo plazo, el aporte en volumen de agua y los costos de inversión referenciales de cada una de las MAS obtenidas. Estos criterios pueden ser muy determinantes al momento de seleccionar el “tipo” de MAS que se desea implementar.

En la Tabla 3.1 se explica cada uno de estos criterios para la toma de decisiones.



Tabla 31. Criterios para la toma de decisiones

<p><b>Condiciones legales</b></p>	<p>Referido a las condiciones que facilitan o retardan la implementación de la solución, incluyendo el análisis de los mecanismos financieros, aspectos normativos, institucionales y de coordinación (gobernanza), así como los mecanismos para inducción de comportamiento (Peña, 2019).</p>
<p><b>Impactos ambientales</b></p>	<p>Se presenta una descripción y evaluación cualitativa y general de los potenciales impactos positivos y negativos de las MAS en el medio ambiente, jerarquizados en bajo, medio o alto. El impacto ambiental positivo se entiende como un aporte, mientras el impacto ambiental negativo es entendido como complejidad ambiental que debe mitigarse o compensarse una vez se quiera implementar la MAS en el territorio (Figueroa y Bruna, 2019). Referido a si la tecnología altera la biodiversidad y eficiencia en el uso del recurso hídrico, además de otros aspectos, como el impacto en la relación vegetación-suelo, fauna hidrobiológica y terrestre; alteración hídrica en cantidad y calidad.</p> <p>Se clasifica en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Positivo Alto</li> <li>● Positivo medio</li> <li>● Positivo bajo</li> <li>● Negativo bajo</li> <li>● Negativo medio</li> <li>● Negativo alto</li> </ul>
<p><b>Impactos sociales</b></p>	<p>Descripción cualitativa y evaluación de los potenciales impactos negativos de las medidas, acciones y soluciones sobre el ecosistema socioeconómico (Herrera, 2019). El análisis integra criterios de beneficios sociales en cuanto a la recuperación de agua, costos sociales relativos al costo de adquisición de la solución, externalidades positivas producidas (por ejemplo: recuperación de fauna) y negativas (por ejemplo: desechos contaminantes al final de la vida útil de la medida). Adicionalmente, se identifican posibles conflictos sociales que podría generar cada MAS.</p> <p>Se clasifica en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Impacto negativo bajo. Significa que existen bajos o nulos conflictos, siendo un beneficio social.</li> <li>● Impacto negativo medio.</li> <li>● Impacto negativo alto. Significa que existe un alto nivel de conflicto.</li> </ul>



# 4. ¿Qué se obtiene?

Con la aplicación de la HESMASH a diferentes niveles territoriales, es posible obtener los siguientes productos en forma directa:

## 1. Lista o conjunto de soluciones para un mismo problema

A partir de la identificación de un problema hídrico, se aplica la matriz multicriterio según el objetivo buscado, lo que arroja una lista de soluciones que podrían ser aplicables. Luego se pueden aplicar criterios complementarios (costos, aporte en m<sup>3</sup> de agua, impacto ambiental, impacto social, tiempo de implementación) para llegar a soluciones que tengan mayor factibilidad de aplicación<sup>2</sup>. Por último, teniendo en cuenta la descripción y condiciones limitantes territoriales se podrán identificar las mejores soluciones hídricas para el problema planteado.

Por ejemplo, para abordar la disminución en los niveles de pozos, se puede aplicar el objetivo “Recargar”, para apoyar la recarga del acuífero, obteniendo así una lista de 22 soluciones, de las cuales 19 son SbN, 2 corresponden a medidas de eficiencia y uso estratégico del recurso hídrico y 1 a nuevas fuentes. Al aplicar el criterio de toma de decisiones para implementación en el corto plazo, se reduce a 14 soluciones.

Esta acción permite abrir el espectro de soluciones hídricas, mirando más allá de las acciones tradicionales utilizadas en Chile.

2. Recordar que es recomendable aplicar un objetivo a la vez. A pesar de ello, si se busca llegar a un conjunto más acotado de soluciones, se puede aplicar dos o más criterios de toma de decisiones a la vez.

## 2. Costo-eficiencia de un conjunto de soluciones.

Del conjunto de medidas que podrían aplicar para solucionar un problema detectado, es posible hacer una comparación entre ellas usando las columnas de costo unitario por volumen generado ( $\$/\text{m}^3$ ). Esto permite identificar aquellas que poseen menores costos y aportan o ahorran más volumen de agua en su aplicación.

## 3. Información para elaborar curvas de abatimiento.

La curva de abatimiento en el marco de la HESMASH es información que permite graficar el conjunto de soluciones requeridas para abordar una brecha hídrica determinada o comparar el conjunto de soluciones, mostrando el impacto en  $\text{m}^3$  de agua que genera cada una de ellas, así como los costos unitarios correspondientes.

Existe una pestaña en la herramienta denominada “Curva de Abatimiento”, en la que se puede ingresar la superficie potencial o unidad específica donde será aplicada la MAS. Esto permitirá que la herramienta calcule el volumen de agua aportado por cada solución ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) y su costo unitario por  $\text{m}^3$  ( $\$/\text{m}^3$ ), información de base para la elaboración de curvas de abatimiento. También es posible tener el volumen y el costo referencial total de las medidas seleccionadas. Esta información permite a los distintos tomadores de decisión planificar la implementación de las medidas, priorizarlas y dimensionar los esfuerzos asociados.

HESMASH,  
herramienta  
complementaria  
para productos  
estratégicos

## CASO DE APLICACIÓN 1: Soluciones óptimas para la recarga de acuíferos fuera de los límites urbanos en la cuenca de Maipo

**Problema identificado:** Disminución significativa en los niveles de pozos en la cuenca del río Maipo.

**Objetivo 1:** Identificar las zonas aptas para implementar soluciones que permitan potenciar la recarga de aguas lluvias a los acuíferos en la cuenca del Maipo.

**Objetivo 2:** Identificar el conjunto de soluciones costo-eficientes implementables en el corto a mediano plazo, con un impacto ambiental positivo, para la recarga de los acuíferos en el Maipo.

### Herramienta complementaria utilizada:

Zonas para la recarga natural del acuífero: utilizando el estudio “Estimación de la recarga en la cuenca del río Maipo a través del Modelo WetSpa” (WaterWays, 2021). Este estudio determina las áreas de mayor infiltración, delimitando las zonas principales de recarga, además de las zonas que poseen menor riesgo de contaminación a los acuíferos. Con esta información se pueden identificar áreas de mayor recarga en donde las soluciones aportarían su máximo potencial sin tener un riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Asimismo, la aplicación de esta herramienta permitió determinar que la cuenca del Maipo recarga  $63,68 \text{ m}^3/\text{s}$  en forma natural<sup>3</sup>, existiendo un 35% más derechos de aguas subterráneas otorgados que la capacidad de recarga natural en ella.

<sup>3</sup>. Basado en los datos históricos de precipitaciones, lo que se puede ir reduciendo en el futuro según las modelaciones climáticas para la zona central de Chile.

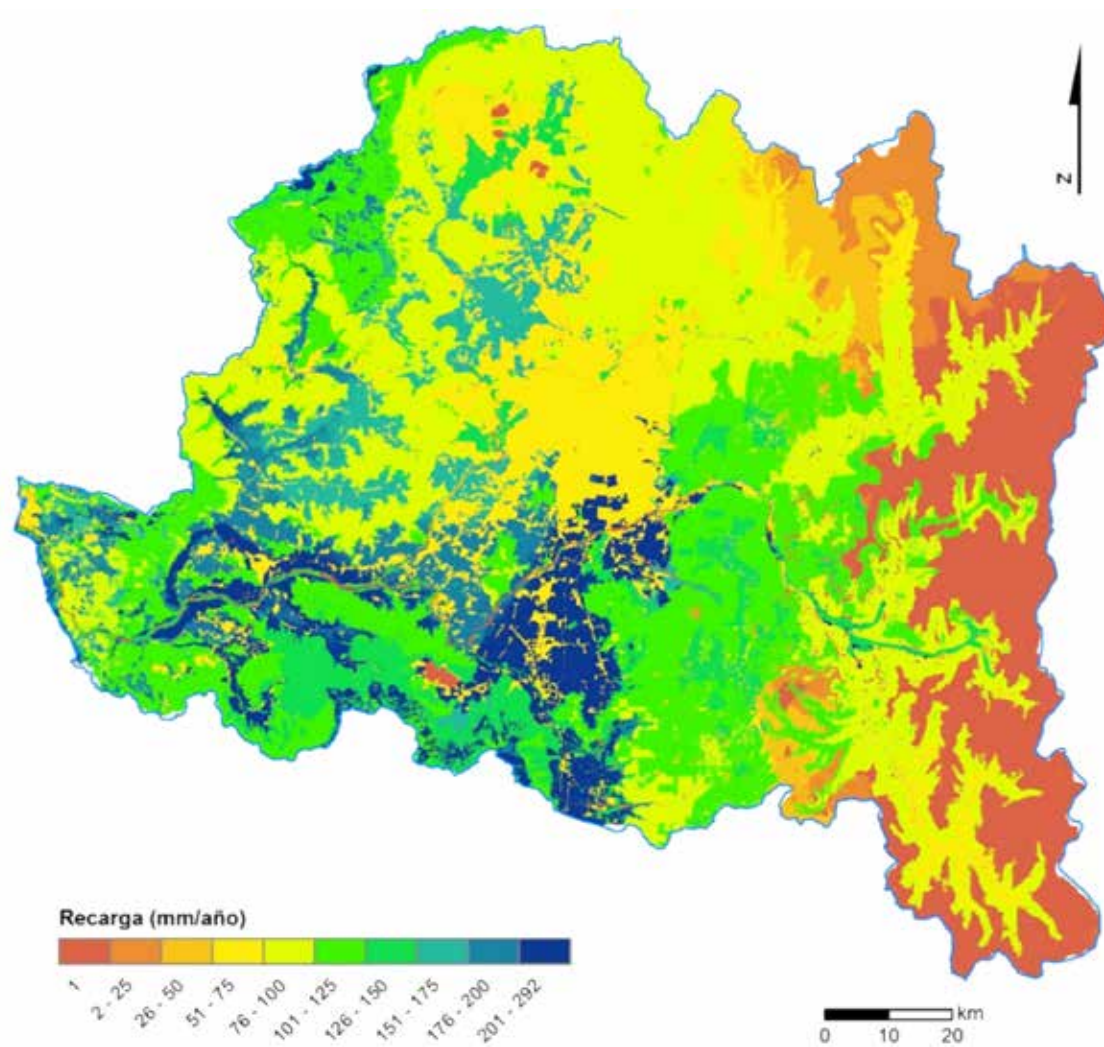


Figura 5.1. Valores de recarga en la cuenca del río Maipo (año 2016)  
 Fuente: Nascimento, J. y Barreiras, N. (2021)

### Aplicación de la HESMASH:

Aplicando la HESMASH se logra identificar un conjunto de soluciones con impacto ambiental positivo que favorecen la infiltración de agua con el objetivo de recargar acuíferos.

Las MAS seleccionadas corresponden a:

- a) Recuperación de riberas de ríos
- b) Conservación de ríos
- c) Llanuras de inundación
- d) Reforestación y forestación de cuencas con bosque nativo
- e) Conservación de bosque nativo
- f) Infiltración para recarga de acuíferos por gravedad y en lecho de río
- g) Sistema tradicional de captación y almacenamiento de aguas lluvias (Cochas)
- h) Sistema tradicional para recarga superficial de acuíferos (Amunas)
- i) Bordos superficiales para disminuir la escorrentía (Jollas)
- j) Zanjas de infiltración para recolección y almacenamiento de agua lluvia

### Cruce entre herramienta complementaria y la HESMASH:

Teniendo identificadas las zonas de alta recarga natural en el territorio, así como el conjunto de soluciones que podrían aplicar para lograr el objetivo buscado, se debe revisar la columna “Condiciones Limitantes Territoriales” para descartar las MAS que poseen ciertas limitaciones para características particulares de los territorios. Por ejemplo: para las zanjas de infiltración se requieren terrenos con pendientes y no son aptas para terrenos erosionados hasta la roca madre; para las lagunas de infiltración, se requieren zonas con baja pendiente que estén en los bordes de los cursos de agua.

Con esta información es posible determinar las zonas donde cada solución aplica y será costo- eficiente para su implementación en el corto, mediano y largo plazo, garantizando con ello una recarga efectiva de agua lluvia al acuífero.



## **CASO DE APLICACIÓN 2: Soluciones para la conservación y reparación de ecosistemas en la cuenca de Maipo.**

**Problema identificado:** Deterioro de los ecosistemas que sostienen el ciclo hídrico en la cuenca del Maipo.

**Objetivo 1:** Identificar las zonas y ecosistemas que sostienen el ciclo hídrico en la cuenca del Maipo, con el fin de conservarlas o repararlas.

**Objetivo 2:** Identificar el conjunto de soluciones costo-eficientes, implementables en el corto a mediano plazo, para la conservación y reparación de los ecosistemas fundamentales en el ciclo hídrico de la cuenca del Maipo.

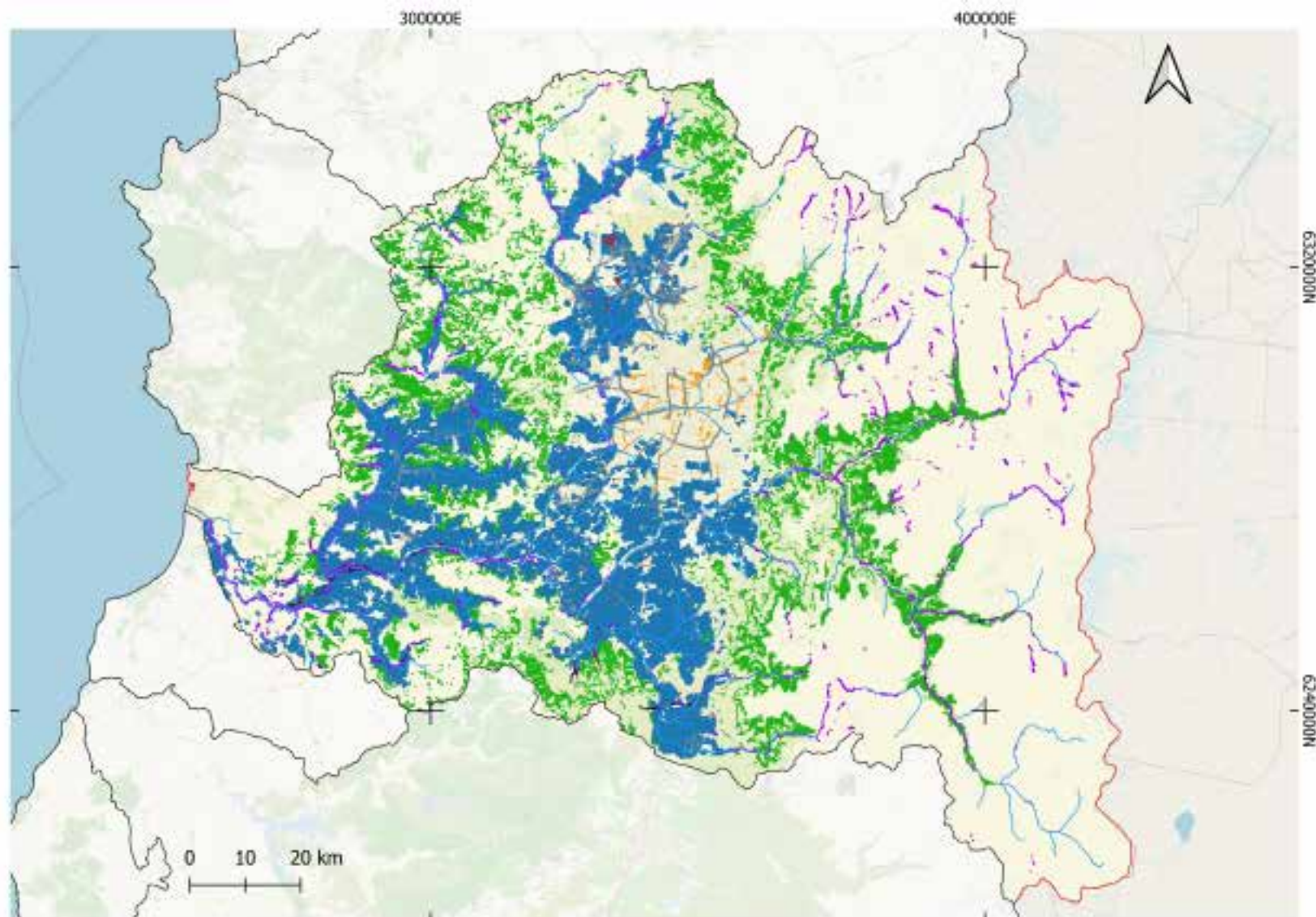
### **Herramienta complementaria utilizada:**

El estudio “Análisis del estado actual de los ecosistemas terrestres asociados a dos cuencas en Chile central: Maipo y Maule” (Pliscoff, 2020), identifica los ecosistemas que son fundamentales para sostener el ciclo hídrico: bosque nativo cordillerano y costero, bosque esclerófilo y las riberas de los ríos. Se realizó un análisis del cambio en el uso del suelo durante 20 años (1995 al 2016); con ello fue posible identificar las áreas que actualmente permanecen con zonas fundamentales para conservar el ciclo hídrico, así como las áreas que han sido reemplazadas por otros usos (agrícola, forestal, urbano), y son prioritarias de reparar, por la importancia y rol que poseen.

## Aplicación de la HESMASH:

Aplicando la herramienta, se puede identificar el conjunto de soluciones que tengan por objetivo “Reparar” ecosistemas que sostienen el ciclo hídrico, además de proveer variados servicios ambientales. Las MAS seleccionadas para el objetivo de “recuperar” corresponden a:

- Recuperación de humedales naturales
- Recuperación de estuarios
- Recuperación de riberas de ríos para mejorar servicios ecosistémicos
- Llanuras de inundación
- Reforestación y forestación de cuencas con bosque nativo para disminución de riesgo de desastres
- Recuperación de bofedales/vegas
- Recuperación de turberas
- Tecnosoles para recuperación de suelos
- Infiltración para recarga de acuíferos por gravedad y en lecho de río



### Leyenda

- Recuperación de humedales
- Recuperación de bofedales/vegas
- Recuperación de riberas de ríos para mejorar servicios ecosistémicos
- Pavimentos permeables
- Reforestación y forestación de cuencas para disminución de riesgos de desastres
- Infiltración en zonas agrícolas
- Plazas de agua
- Red de drenaje

Figura 5.2: Mapa de la cuenca del Maipo con las MAS de reparación identificadas

Fuente: ESCENARIOS HÍDRICOS 2030 – EH2030. (2022).














Cuando se aplica el objetivo de “Conservar”, se encuentran las siguientes soluciones:

- a) Conservación de humedales naturales
- b) Conservación de estuarios
- c) Conservación de ríos
- d) Conservación de bosque nativo
- e) Conservación de bofedales/vegas
- f) Conservación de turberas.
- g) Mallas y lonas de poliuretano para protección de glaciares
- h) Cal para cubrimiento de rocas y protección de glaciares
- i) Barreras de contención para retardar derretimiento de glaciares
- j) Infiltración para recarga de acuíferos por gravedad y en lecho de río.

### Cruce entre herramienta complementaria y la HESMASH:

Teniendo identificadas las zonas de conservación y/o recuperación en el territorio, así como el conjunto de soluciones que podrían aplicar para lograr el objetivo buscado, se debe revisar la columna “Condiciones Limitantes Territoriales” para realizar la selección adecuada para cada caso.

#### 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 bosque esclerófilo
-  Conservación de bosques en cabeceras de cuenca
-  Qochas / Bordos superficiales
-  Zanjas de infiltración
-  Amunas
-  Conservación de estuarios
-  Llanuras de inundación
-  Red de drenaje

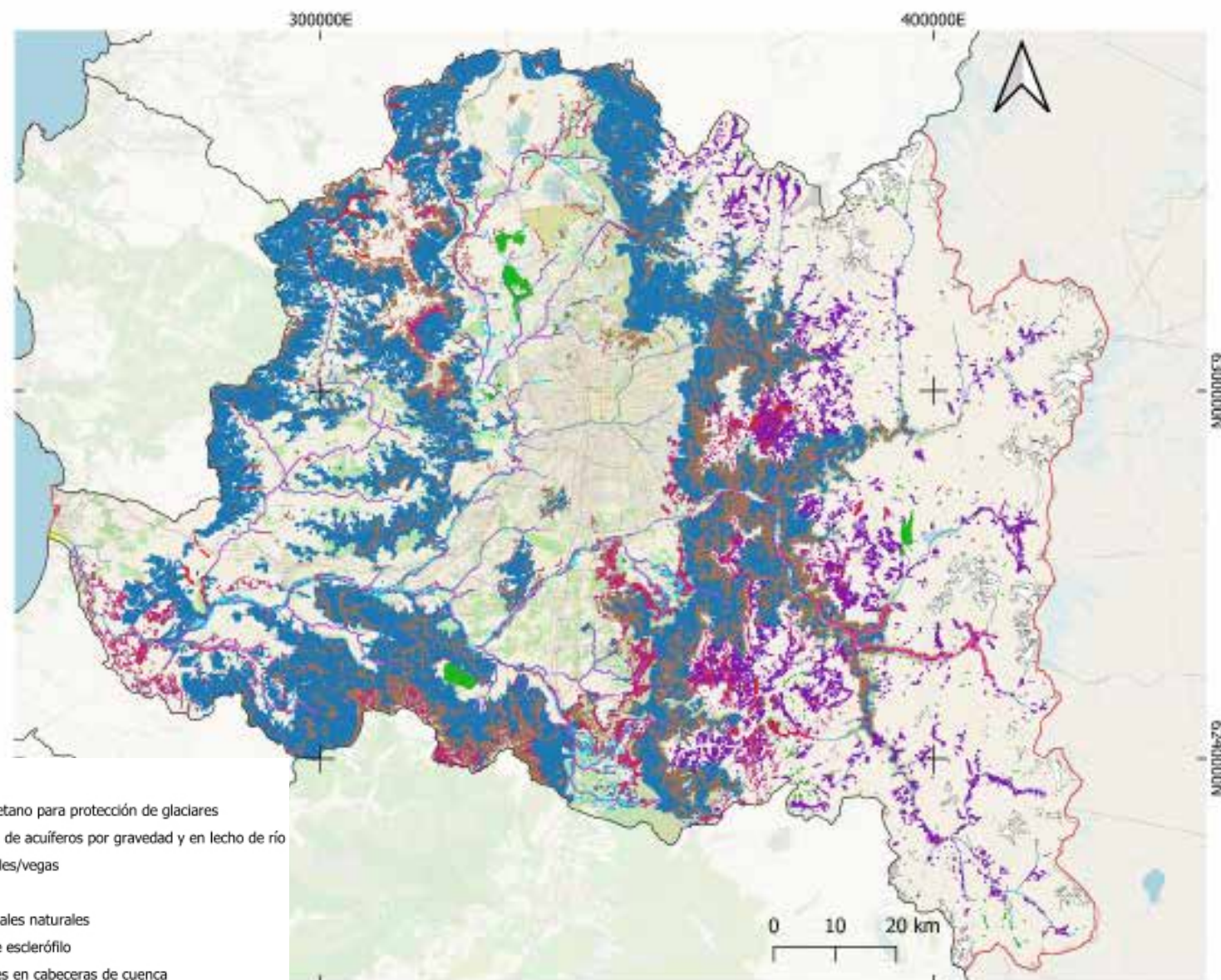


Figura 5.4: Mapa de la cuenca del Maipo con las MAS de conservación identificadas  
Fuente: ESCENARIOS HÍDRICOS 2030 – EH2030. (2022).



### **CASO DE APLICACIÓN 3: Construcción de Curva de Abatimiento y hojas de ruta en cuencas de Maipo y Maule.**

**Problema identificado:** Existe brecha hídrica en las cuencas estudiadas, donde la demanda de agua supera la oferta disponible que, en el caso del río Maipo es una situación permanente en algunas zonas y, en el caso del Maule, es una condición temporal que se concentra entre los meses de noviembre a abril.

**Objetivo 1:** Graficar curvas de abatimiento de agua que permitan visualizar el conjunto de soluciones que abaten la brecha hídrica en las cuencas de Maipo y Maule, lo que mejora la toma de decisiones.

**Objetivo 2:** Construir las hojas de ruta de soluciones al corto, mediano y largo plazo en las cuencas de Maipo y Maule.

#### **Herramienta complementaria utilizada:**

El **Índice de Seguridad Hídrica** (ISH) en las cuencas de Maipo y Maule (CEA, 2022) es el estudio base que nos permite analizar el territorio por subcuencas, incorporando la variable temporalidad.

La Brecha Hídrica está definida como un indicador que muestra la relación entre la demanda potencial de agua y la oferta hídrica disponible en las fuentes de abastecimiento (EH2030, 2018). Cuando la demanda supera la oferta, existe una Brecha Hídrica que se debe gestionar.

A partir del ISH, es posible determinar la zona y el período del año que tienen brecha hídrica que debe ser gestionada adecuadamente, estimando la cantidad de agua requerida (que falta) para sostener el caudal ecológico en el río y el estudio de la cuenca, así como el caudal ambiental con todos los usos de agua que existen en la cuenca.



# CUENCA DEL MAIPO

- Seguridad Hídrica:** Excedente para almacenamiento de agua. (Demandas abajo: demandas identificadas aguas a abajo del punto de evaluación hasta el siguiente punto de evaluación)
- Caudal Ambiental:** Oferta cubre demanda potencial aguas arriba, pero hay posible efecto a terceros aguas abajo.
- Demanda Potencial:** Oferta no cubre completamente la demanda potencial. (Qeco: componente ecológica del caudal ambiental)
- Caudal Ecológico:** Oferta es menor al caudal ecológico, lo que implica mayor riesgo en la seguridad hídrica. Mantener la continuidad del río, evitando tramos secos.

■ Demandas abajo < ISH    ■ 0 ≤ ISH    ■ -Qeco ≤ ISH < 0    ■ ISH < 0

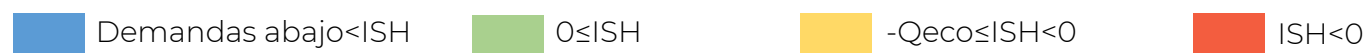
Histórico	Índice de Seguridad Hídrica (m³/s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Estación 1	-0,12	0,08	-0,50	0,32	-0,13	-0,14	-0,56	-1,14	1,54	1,18	-0,08	-0,30
Estación 2	-0,29	-0,29	-0,29	-0,04	-0,04	-0,04	-0,11	-0,11	-0,11	-0,28	-0,29	-0,29
Estación 3	-1,95	-0,14	-0,28	-0,40	-0,35	-0,52	-0,40	-0,45	-0,32	0,21	1,39	0,02
Estación 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
Estación 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
Estación 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
Estación 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
Estación 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
Estación 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
Estación 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
Estación 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
Estación 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
Estación 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
Estación 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

Figura 5.3: Índice de Seguridad Hídrica (ISH) de la cuenca del río Maipo

Fuente: Centro de Ecología Aplicada, 2022

# CUENCA DEL MAULE

- **Seguridad Hídrica:** Excedente para almacenamiento de agua. (**Demandas abajo:** demandas identificadas aguas a abajo del punto de evaluación hasta el siguiente punto de evaluación)
- **Caudal Ambiental:** Oferta cubre demanda potencial aguas arriba, pero hay posible efecto a terceros aguas abajo.
- **Demanda Potencial:** Oferta no cubre completamente la demanda potencial. (**Qeco:** componente ecológica del caudal ambiental)
- **Caudal Ecológico:** Oferta es menor al caudal ecológico, lo que implica mayor riesgo en la seguridad hídrica. Mantener la continuidad del río, evitando tramos secos.



Histórico	Índice de Seguridad Hídrica (m³/s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Estación 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
Estación 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
Estación 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
Estación 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
Estación 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
Estación 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
Estación 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
Estación 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
Estación 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
Estación 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
Estación 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

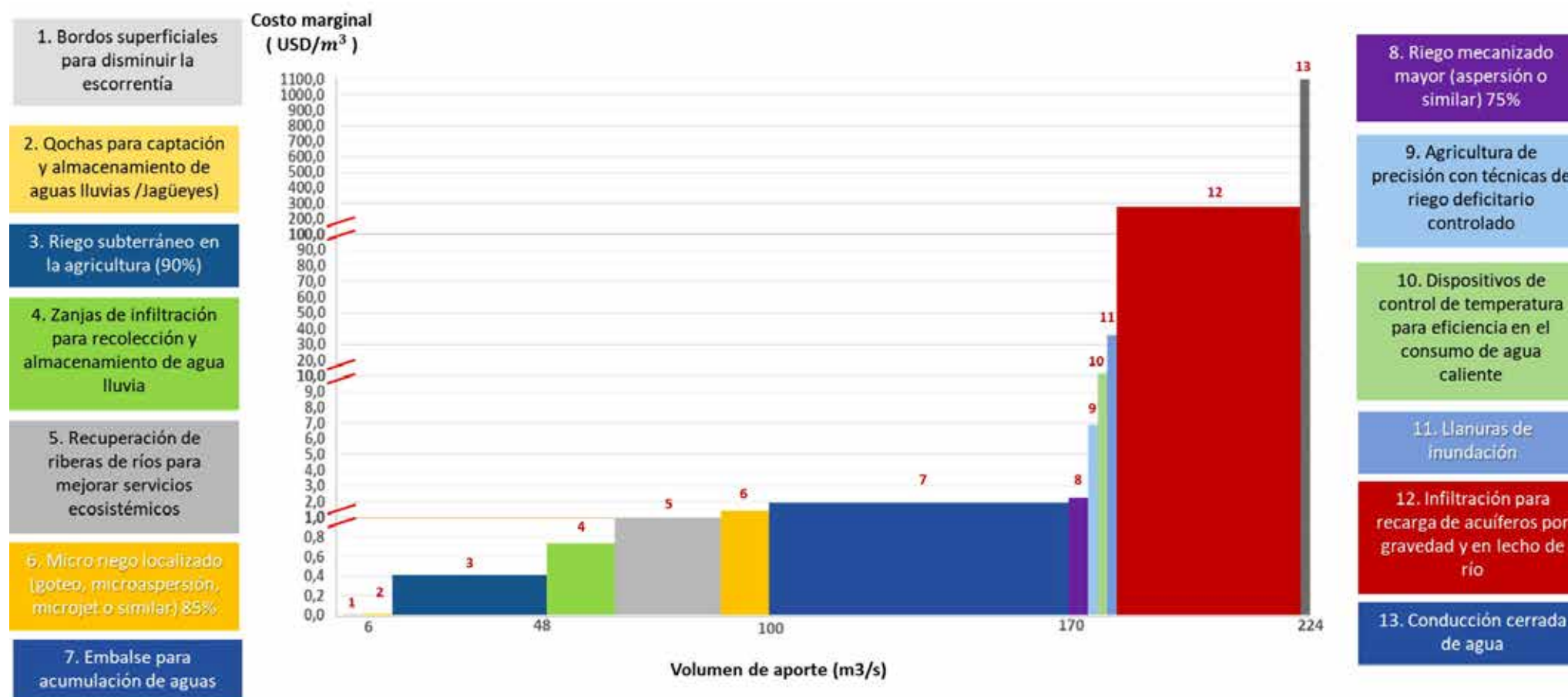
Figura 5.4: Índice de Seguridad Hídrica (ISH) de la cuenca del río Maule  
Fuente: Centro de Ecología Aplicada, 2022

## Aplicación de la HESMASH:

La HESMASH permite obtener los datos necesarios para graficar el conjunto de soluciones que abordarán la brecha y el riesgo hídrico en los territorios. Teniendo el conjunto de soluciones con un objetivo específico e identificadas las superficies potenciales, es posible calcular el costo unitario por metro

cúbico de agua (costo referencial), además del volumen de aporte/ahorro de agua de cada una de ellas. Con esto se puede construir una curva de abatimiento (figura 5.3), la que tiene por objetivo comparar las soluciones que abordan el mismo problema, pudiendo identificar aquellas que sean más costo-eficientes y, en base a esto, dar prioridad a aquellas que aporten

más agua a un costo menor. Esta información es la base para la construcción de las Hojas de Ruta en cuencas, donde se establece un conjunto de metas a conseguir en un tiempo y territorio determinado, para abordar la brecha y riesgo hídrico. Estas metas son alcanzadas a través de acciones y/o soluciones hídricas acordes a las necesidades locales.



Referencia:Créditos de autor

Figura 5.3: Ejemplo de curva de abatimiento referencial

## 6. Bibliografía

Centro de Cambio Global UC (2019). Análisis situacional: principales problemas en seis cuencas de Chile (documento de trabajo en el marco de la iniciativa EH2030). Disponible en URL: [https://escenarioshidricos.cl/wp-content/uploads/2020/06/ccg-uc\\_informe\\_arbolproblema\\_eh2030\\_final-1.pdf](https://escenarioshidricos.cl/wp-content/uploads/2020/06/ccg-uc_informe_arbolproblema_eh2030_final-1.pdf).

Duhart, D. (2019). Levantamiento de información y complemento de condiciones habilitantes de tipo legal- institucional seleccionadas (informe de entrega de fichas temáticas solicitadas para EH2030). Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)

Escenarios Hídricos 2030- EH2030. (2021). Gobernanza desde las cuencas: Institucionalidad para la Seguridad Hídrica en Chile. Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)

Escenarios Hídricos 2030- EH2030. (2019a). Transición Hídrica: El futuro del agua en Chile. Fundación Chile, Chile. Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)

Escenarios Hídricos 2030- EH2030. (2019b). MAS Seguridad Hídrica. Medidas, Acciones y Soluciones. Fundación Chile, Chile. Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)

Escenarios Hídricos 2030- EH2030. (2018). Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile. Fundación Chile, Chile. Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)

Figueroa, A. y Bruna, S. (2019). Calificación Ambiental de las soluciones contenidas en las fichas MAS Informe 2 /evaluación cualitativa de impactos ambientales de las medidas, acciones y soluciones (MAS). Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)

Herrera, L. (2019). Evaluación cualitativa de impactos sociales de las medidas, acciones y soluciones (MAS.). Informe final. Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)

Nascimento, J. y Barreiras, N. (2021). Estimación de la recarga en la cuenca del río Maule y Maipo a través del modelo Wetspass. Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)

Fundación NEWENKO. (2021). Fichas y descripción metodológica/MAS eje 1. Estudio elaborado para Escenarios Hídricos 2030, Santiago, Chile.

Peña, H. (2019). Análisis de las condiciones habilitadoras de las medidas acciones y soluciones (MAS). Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)

Pliscoff, P. (2020). Análisis del estado actual de los ecosistemas terrestres asociados a dos cuencas en Chile central: Maipo y Maule. Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza- UICN. (2016). Definición de las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). WCC, Resolución 069\_SP. Disponible en URL: <https://portals.iucn.org/congress/assembly/motions/print?langua>.

## 7. Glosario

**Brecha Hídrica:** Indicador que muestra la relación entre la demanda potencial de agua y la oferta hídrica disponible en las fuentes de abastecimiento (EH2030, 2018). Cuando la demanda supera la oferta existe Brecha Hídrica que se debe gestionar.

**Costo unitario:** Costo total dividido por la cantidad de unidades producidas. En este manual se refiere al costo total de implementación de cada solución según la potencialidad del territorio, dividido por el aporte volumétrico de agua de aporte que generaría la implementación de la misma.

**Cuenca hidrográfica:** Es la unidad base para la gestión de las intervenciones que el ser humano hace sobre el ciclo del agua, comprendiendo todo el territorio drenado por un río y sus afluentes, delimitado por la línea de cumbres llamada divisora de aguas, que marca el límite entre dos cuencas (EH2030, 2021).

**Curva de Abatimiento:** Es una gráfica con información que permite identificar el conjunto de soluciones requeridas para abordar los problemas en el

territorio, mostrando el impacto que genera cada una de ellas en m<sup>3</sup> de agua y sus costos unitarios.

**HESMASH:** Herramienta Estratégica para Selección de Medidas, Acciones y Soluciones Hídricas. Consta de un manual, disponible en la web [www.escenarioshidricos.cl](http://www.escenarioshidricos.cl), y una matriz multicriterio que debe ser solicitada en la misma página web (EH2030, 2022).

**Hojas de Ruta:** Conjunto de metas a conseguir en un tiempo y territorio determinado, para abordar la brecha y riesgo hídrico. Estas metas son logradas a través de acciones y/o soluciones hídricas acordes a las necesidades locales.

**Índice de Seguridad Hídrica:** Corresponde a un valor numérico que busca aproximar e identificar cuánta es el agua requerida en el territorio para poder cubrir las demandas medias superficiales, subterráneas incluyendo la demanda ambiental y ecológica, considerando una oferta superficial y subterránea, esta última estimada como un porcentaje de la recarga total de los acuíferos por infiltración.

**MAS:** Medidas, Acciones y Soluciones para la Seguridad Hídrica (EH2030, 2019b).

**Riego Hídrico:** Posibilidad que ocurra un daño social, ambiental y/o económico en un territorio o periodo de tiempo determinado, derivado de la cantidad y calidad del agua disponible para su uso (EH2030, 2018).

**Soluciones o prácticas ancestrales:** Son conocimientos y prácticas desarrolladas por comunidades locales a través del tiempo y por generaciones para comprender y manejar sus propios ambientes locales con el fin de incrementar la resiliencia de su entorno natural y, en este caso, referidas a la gestión del agua (EH2030, 2019b).

**Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN):** Son acciones dirigidas a proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible ecosistemas naturales o modificados, que hacen frente a retos de la sociedad de forma efectiva y adaptable, proporcionando simultáneamente bienestar humano y beneficios de la biodiversidad (Resolución 069 de la UICN WCC, 2016).

**Soluciones de eficiencia hídrica:** Medidas que tienen por objetivo reducir la demanda hídrica a través de la optimización del uso del recurso.

**WetSpass:** Modelo de balance de agua distribuido espacialmente para simular promedios anuales o estacionales de recarga de agua subterránea, evapotranspiración, escorrentía e interceptación. Corresponde a un modelo especialmente adecuado para estudiar los efectos a largo plazo de los cambios de uso del suelo en el régimen hídrico de una cuenca<sup>4</sup>.

4. [https://www.researchgate.net/publication/251732752\\_WetSpass\\_A\\_flexible\\_GIS\\_based\\_distributed\\_recharge\\_methodology\\_for\\_regional\\_groundwater\\_modelling](https://www.researchgate.net/publication/251732752_WetSpass_A_flexible_GIS_based_distributed_recharge_methodology_for_regional_groundwater_modelling)  
[https://www.vub.be/WetSpa/introduction\\_wetpass.htm](https://www.vub.be/WetSpa/introduction_wetpass.htm)

# Manual **HESMASH** Herramienta Estratégica para Selección de Medidas, Acciones y Soluciones Hídricas



ESCENARIOS  
HÍDRICOS  
**2030**  
CHILE

**Abril 2022**

