

Actualización del Balance Hídrico Nacional y aplicaciones para planificación

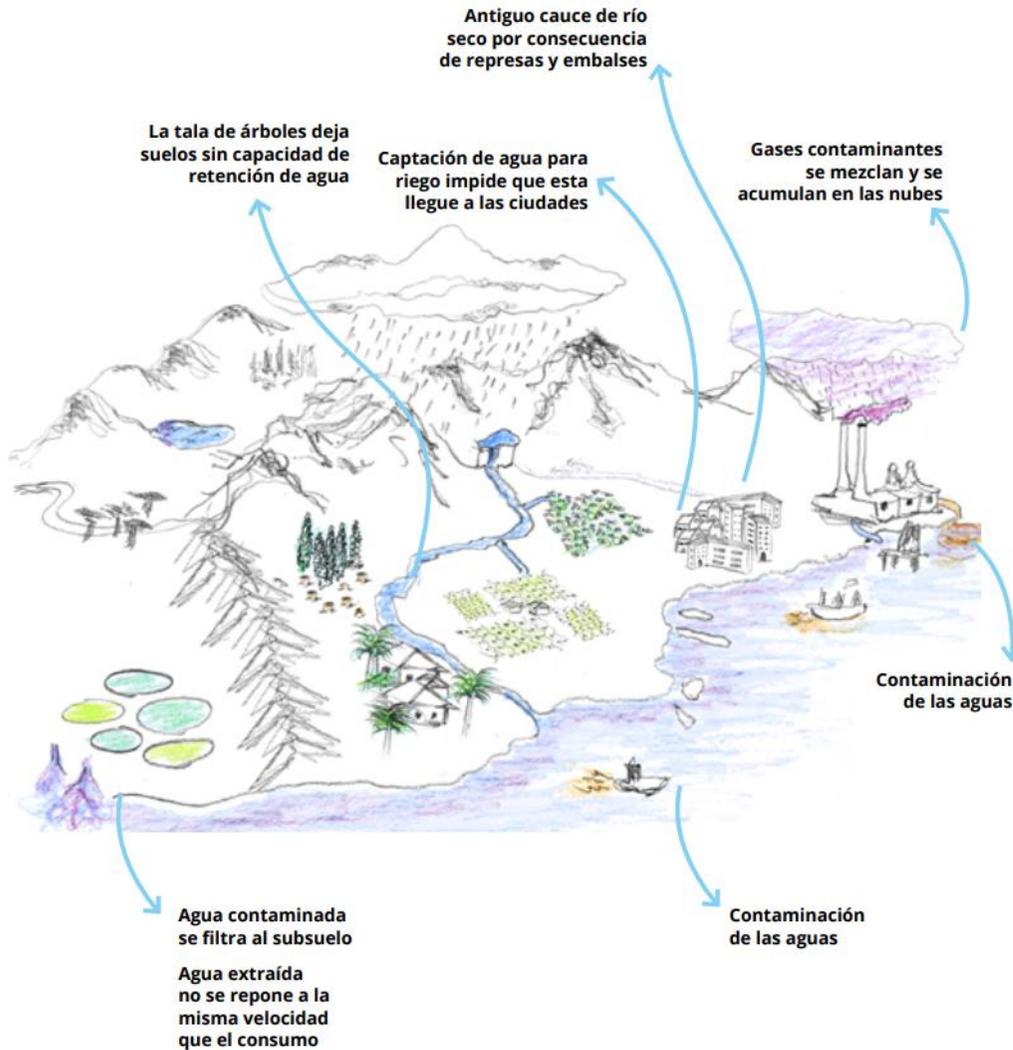


Ministerio de
Obras
Públicas

División de Estudios y Planificación
Dirección General de Aguas
Ministerio de Obras Públicas

Gobierno
de Chile

Ciclo Hidrológico y Balance Hídrico



Ecuación de Balance Hídrico general

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(t) = P - Q - E$$

Ejemplo en una cuenca

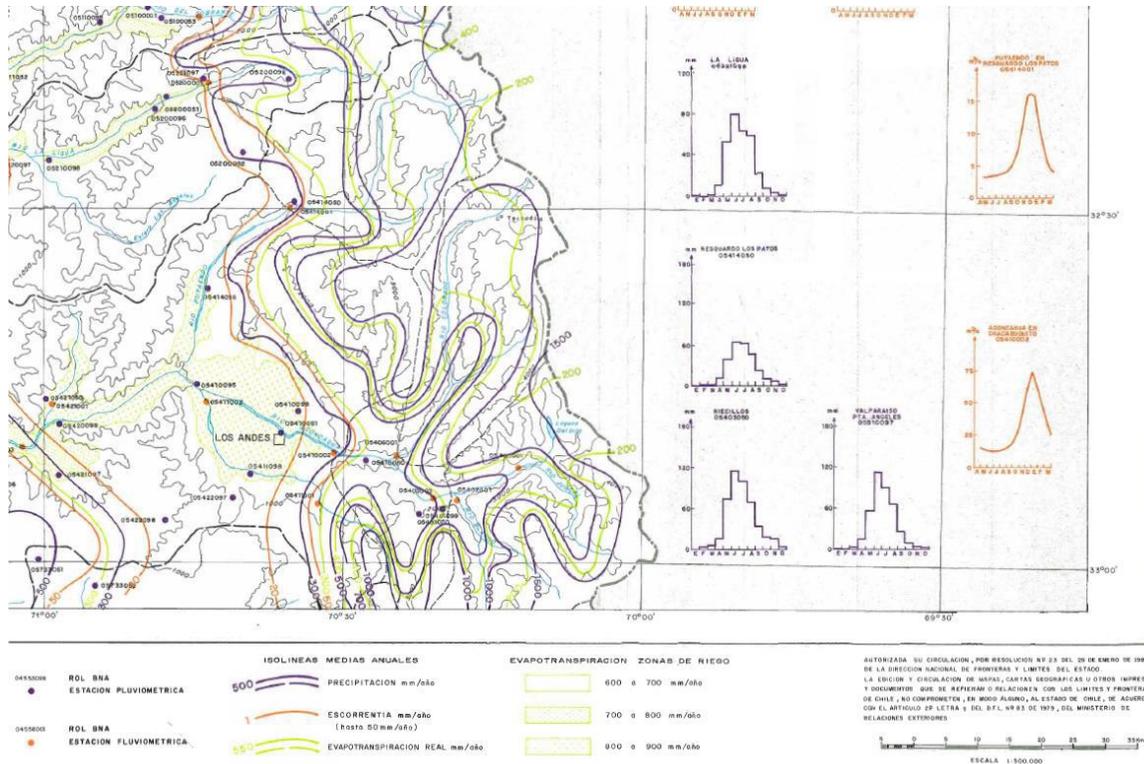
$$\frac{dH}{dt} + \frac{dNa}{dt} + \frac{dS}{dt} = \pm FaL + Qat + Ir + I_{APR} + I_{APU} + Rsr + Pp - r_s - r_{SS} - apu_{SS} - apr_{SS} - m_{SS} - eu_{SS} - calj_{SS} - Qms - Fmss - ETn$$

Fuente: Simón, I., Aravena, B., 2021

1er Balance Hídrico Nacional (1987)

- El primer esfuerzo para estimar el balance hídrico en cuencas de Sudamérica fue liderado por la UNESCO (1982).

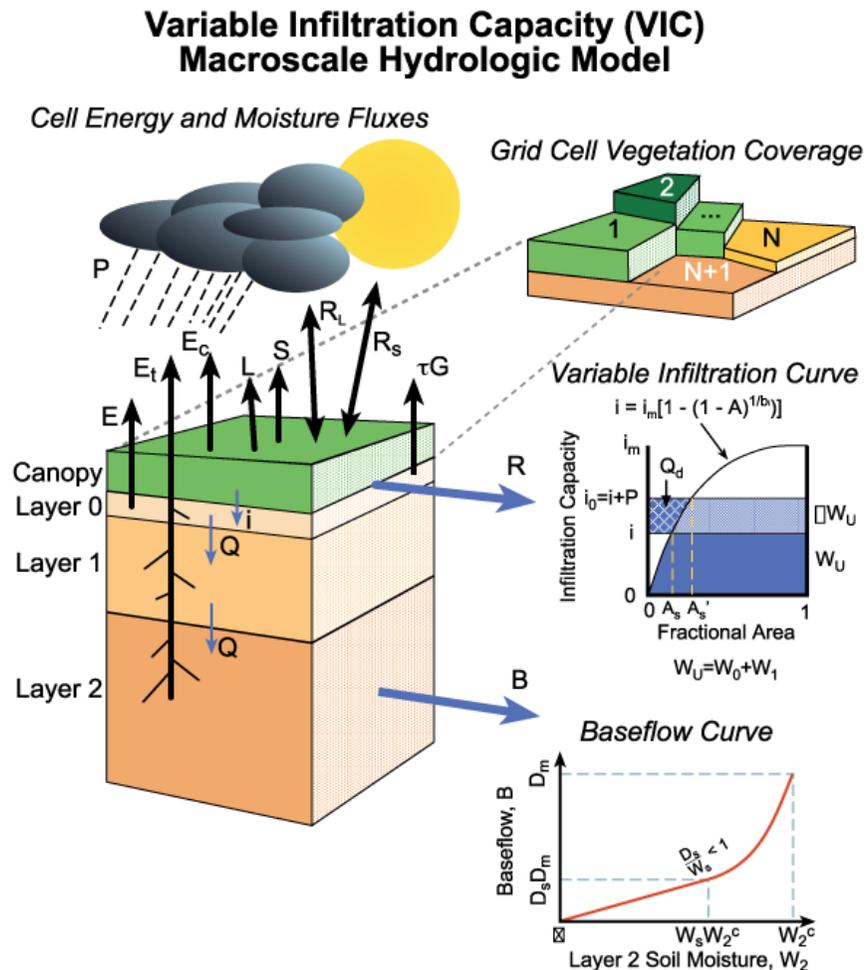
$$\langle \bar{P} \rangle - \langle \bar{Q} \rangle = \langle \bar{E} \rangle + \eta$$



Fuente: Vargas, X., 2021

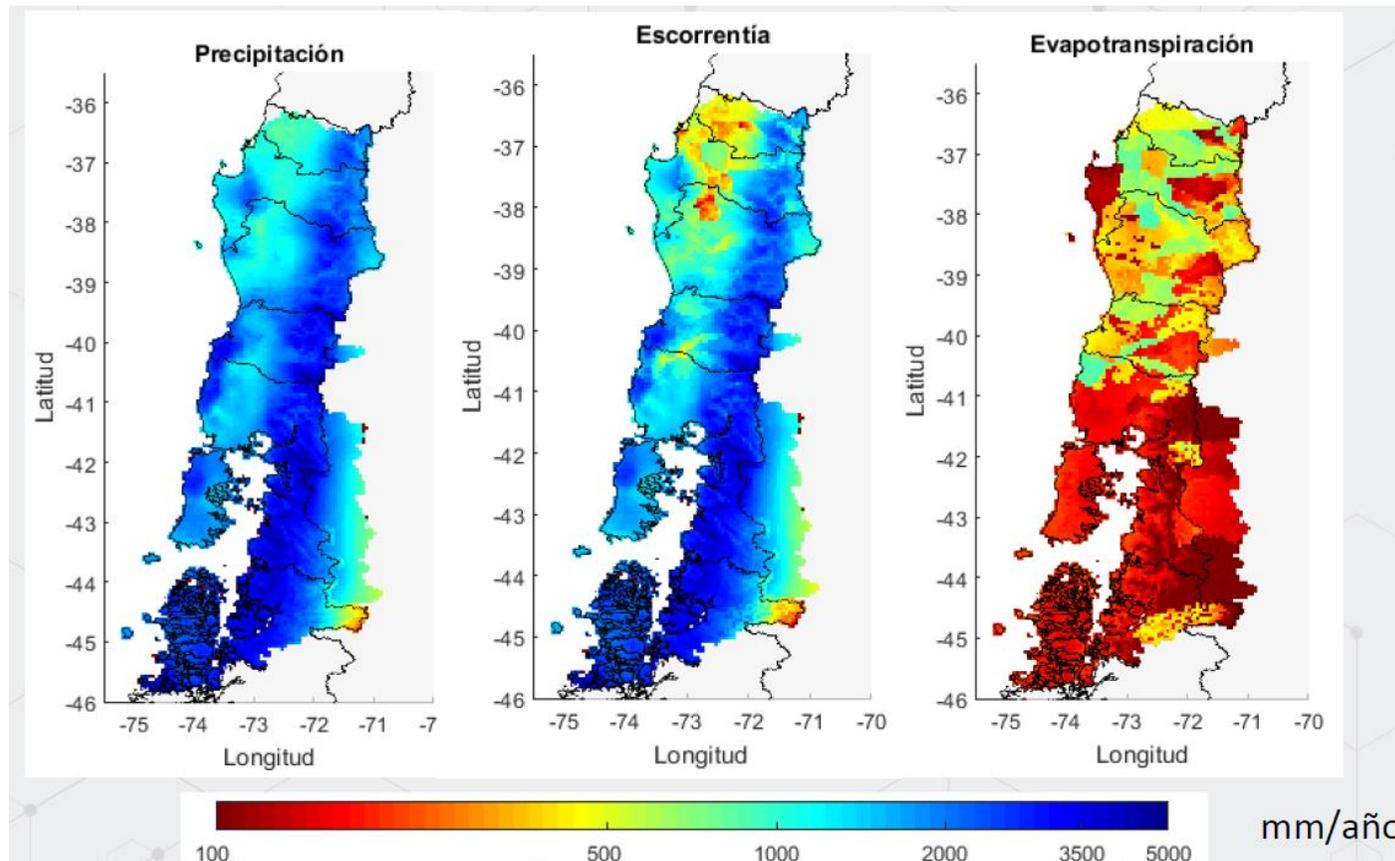
Actualización del Balance Hídrico Nacional (2017- a la fecha)

- Imágenes satelitales .
- Más información (más estaciones).
- Modelos atmosféricos (reanálisis).
- Avance de las ciencias atmosféricas, hidrológicas y de computación.
- Cambio en los usos.
- Cambio climático.
- Modelos hidrológicos: Permiten **comprender** los fenómenos y **predecir** almacenamientos y flujos.



Fuente: University of Washington Computational Hydrology Group, 2016,

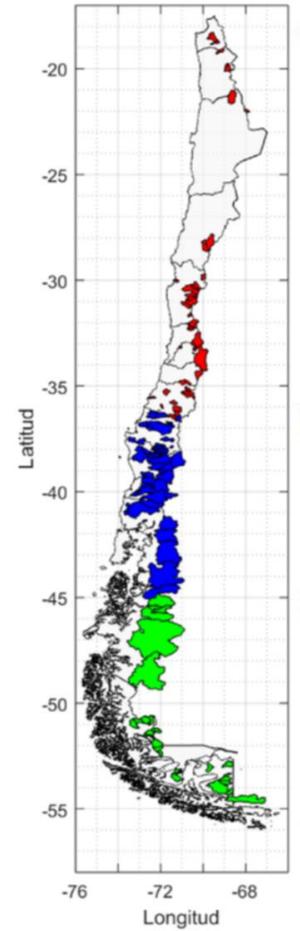
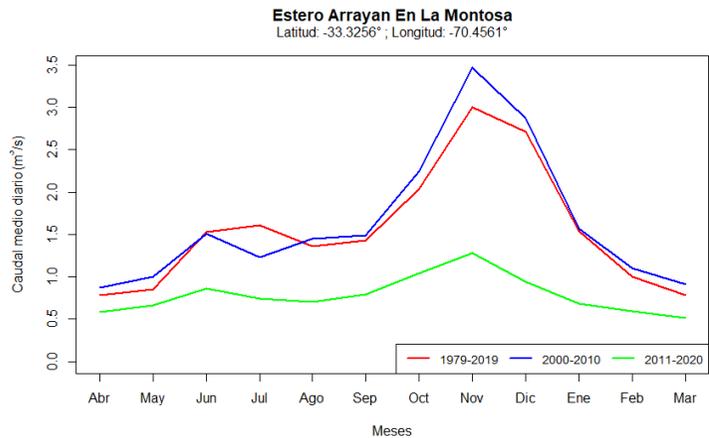
Actualización del Balance Hídrico Nacional (2017- a la fecha)



Fuente: DGA, 2019.

Falta mucha información

- ¿Qué tanto se parecen las cuencas?



BH2 (CR2Met v1.3)

- N° total de cuencas calibradas: 43 (= 41)

$$\frac{P_c}{P_{BH2}} \approx 11\%$$

BH3 (CR2Met v1.4.2)

- N° total de cuencas calibradas: 61 (+ lagos)

$$\frac{P_c}{P_{BH3}} \approx 28\%$$

BH4 (CR2Met v2.0)

- N° total de cuencas calibradas: 58 (+ lagos)

$$\frac{P_c}{P_{BH4}} \approx 32\%$$

$$\frac{P_c + P_c + P_c}{P_{BH2} + P_{BH3} + P_{BH4}} \approx 21\%$$

Un poco más concreto

- Balance Hídrico permite entender cómo se mueve (y cómo se va a mover) el agua en cada cuenca => asegurar la sostenibilidad del bien.
- ¿Cómo seguimos?
 - Cuidando la información que ya tenemos
 - Entender nuestro territorio
- Planificar => Planes Estratégicos de Gestión Hídrica en todas las cuencas del país.
 - Permiten estimar la disponibilidad actual y futura y establecer acciones que aseguren el abastecimiento de agua.
 - 101 cuencas a 2030.
 - 50+ a 2022.

Avance de Planes Estratégicos de Gestión Hídrica



Resumen PEGH río Maule

División de Estudios y Planificación
Dirección General de Aguas
Ministerio de Obras Públicas



Ministerio de
Obras
Públicas

Gobierno
de Chile

DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA

Cuenca con grandes activos naturales, y altamente intervenida



Generación eléctrica



Agricultura



Actividad Forestal

Superficie Total

21.050
km²

ECOSISTEMAS



4

Áreas Silvestres Protegidas



3

Santuarios de la Naturaleza



2

Sitios Prioritarios



13

Red de Áreas Protegidas Privadas

Hidrosfera



MUY BUENA
calidad de agua en fuentes naturales



09

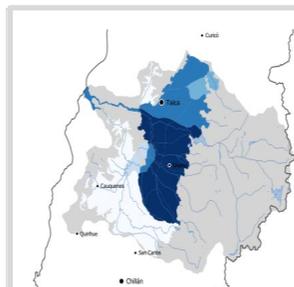
Cuerpos de agua principales

62

Glaciares
22,5 Km²

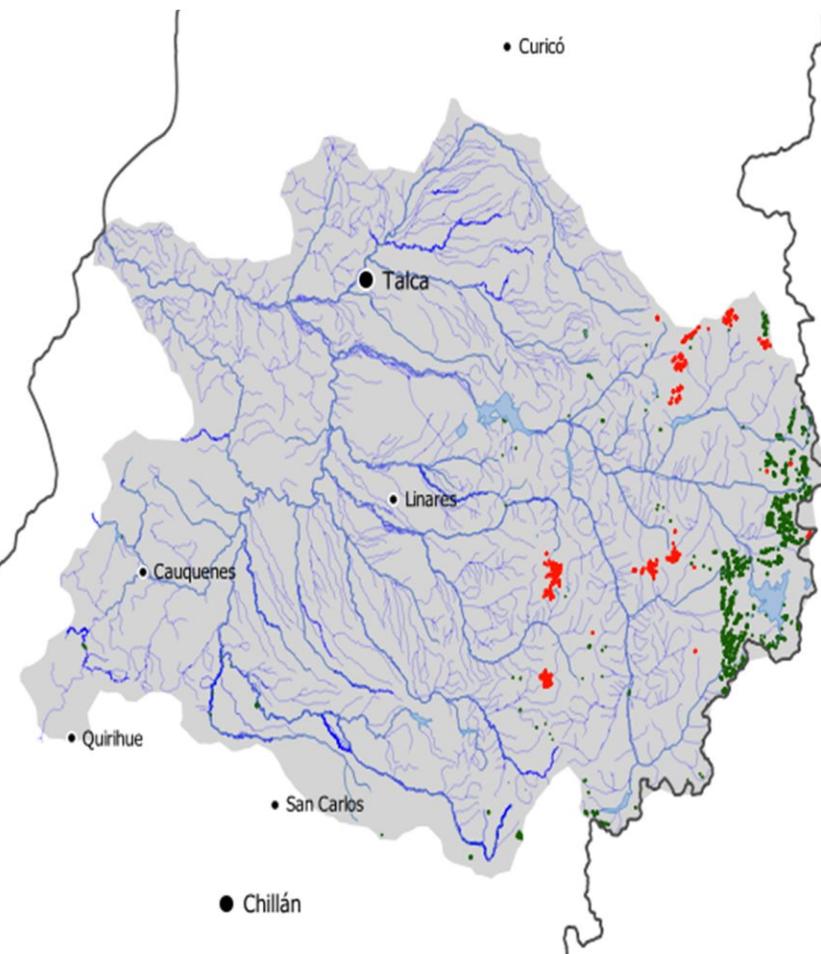
2.670

Humedales principalmente Altoandinos



STOCK en acuíferos
339.093 hm³

Modelo hidrogeológico conceptual



DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA

Características del uso del agua



CONSUMO HUMANO AÑO 2020

52

Hm³/año
URBANA

12

Hm³/año
RURAL

7.200

Familias abastecidas por camiones aljibe

CUENCA DEL MAULE



879.507 hab



72,1 % urb



305 APR



259.321 Ha



364.057 Ha



3.743 hm³



1.680 MW

Cuerpos de Agua y Embalses Según destino principal de las aguas

Leyenda

- Riego
- Generación eléctrica

3.743

Hm³
Capacidad de acumulación de la cuenca

Embalse Ancoa
80 hm³

Embalse Tutuvén
22 hm³

Embalse Digua
255 hm³

Embalse Bullileo
60 hm³

1.837

Hm³
Destinados a Agricultura

Embalse Colbún
1.544 hm³

Embalse Machicura
55 hm³

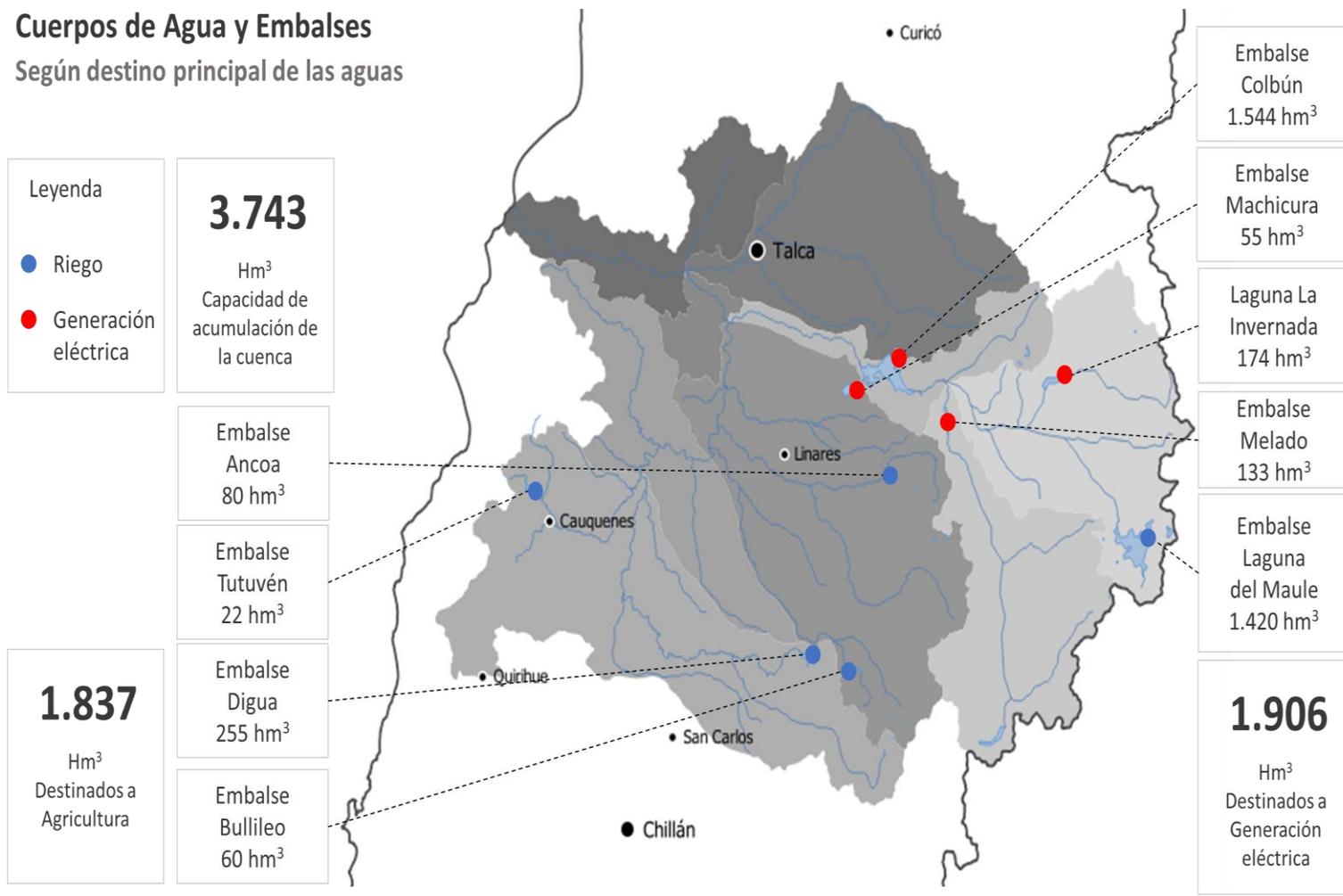
Laguna La Invernada
174 hm³

Embalse Melado
133 hm³

Embalse Laguna del Maule
1.420 hm³

1.906

Hm³
Destinados a Generación eléctrica



MODELOS HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO



Water
Evaluation
And
Planning

SEI Stockholm
Environment
Institute



Visual MODFLOW Flex

MODELOS



Superficial
WEAP

Representa
redes de
oferta y
demanda en
base a nodos

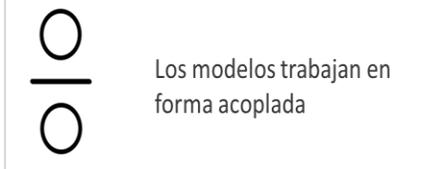


Subterráneo
MODFLOW

Representa
flujos de
aguas entre
celdas

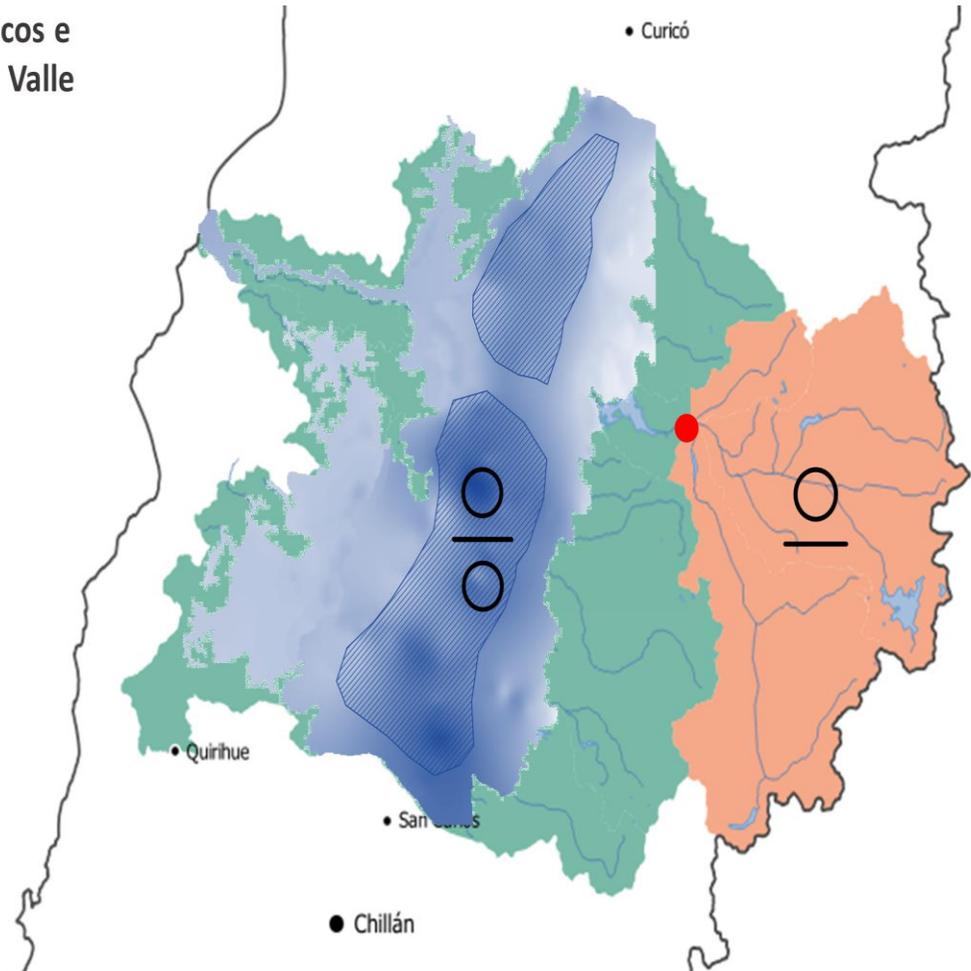


Distribución de Modelos hidrológicos e hidrogeológicos de Cordillera y de Valle



Leyenda

- Modelo WEAP de Cordillera
- Modelo WEAP de Valle
- Modelo WEAP + MODFLOW
- Punto de Unión (Armerillo)



ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO



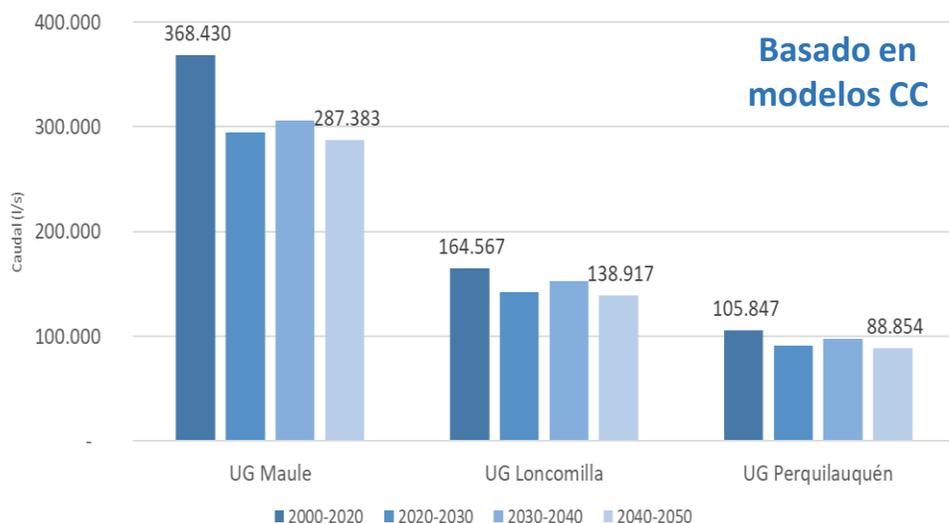
Se utilizó el escenario de cambio climático

RCP 8.5

Modelo CSIRO-MK3-6-0

30 años
de
estadística
hidrológica

Proyección de la Oferta de agua superficial por unidad de gestión (l/s)

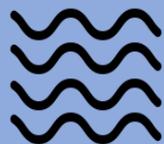


OFERTA DE AGUAS SUPERFICIALES

↘ **19,4%**

Basado en modelos CC

2020 **2050**



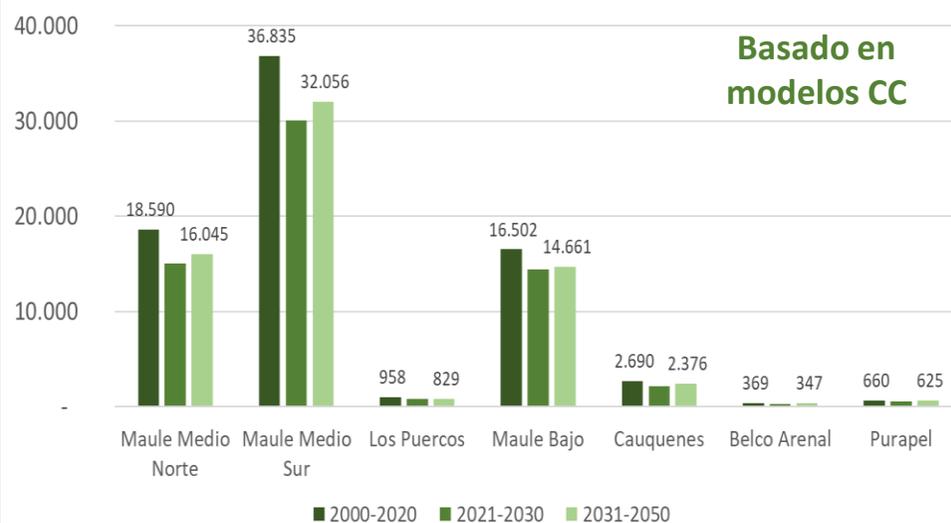
l/s

638.822 **515.157**

Hm³/año

20.145 **16.246**

Proyección de la Recarga de agua por SHAC (l/s)



RECARGA DE ACUÍFEROS

↘ **12,7%**

Basado en modelos CC

2020 **2050**



l/s

76.604

66.939

Hm³/año

2.416

2.111

BRECHA DE AGUA AL 2050

Demanda de Agua por tipo de uso y Brechas estimadas



GENERACIÓN ELÉCTRICA

2020
26.656
Hm³/año

2050
20.111
Hm³/año



AGRICULTURA

2020

Demanda Neta Demanda Bruta

1.597 **2.858**
hm³/año hm³/año

2020 Brecha 2050
(Bruta)

-572 **-817**
Hm³/año Hm³/año
80% **72%**



CONSUMO HUMANO

Demanda Bruta 2020

64
hm³/año

2020 Brecha 2050

-1,2 **-14,3**
Hm³/año Hm³/año



CAUDAL ECOLÓGICO

La brecha se produce en los meses de estiaje, cuando el caudal pasante es inferior al caudal ecológico estimado.

2020 Brecha 2050

-111 **-173**
Hm³/año Hm³/año

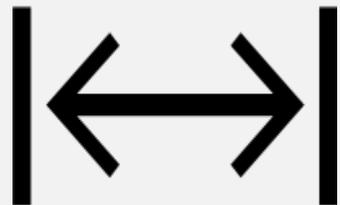
DEMANDAS DE LOS USUARIOS

Sector Hm³/año

Agricultura **1.600**
Expectativas de los usuarios

Consumo Humano **14**
Crecimiento de la población

Caudal Ecológico **212**
Brecha + aporte base por cuenca



Brecha espacial y temporal de agua estimada al año 2050

2050 >

Brecha del Modelo (Demanda Bruta)

-1.004
hm³/año

Brecha de los Usuarios (Expectativas y Experiencia)

> **-1.826**
hm³/año

ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE GESTIÓN

Para aprovechar nuevas fuentes de agua



Escenario de Gestión de Aguas Superficiales (Embalses)

10
Embalses Actuales

3.743
Hm³

Ancoa S.O.	102 *
Longaví	279 *
Huedque	38 **
Río Claro	250
Achibueno	187
Lavadero	200



Escenario de Gestión de Aguas Subterráneas

Acuífero Maule
Medio Norte

72.940
Hm³

Acuífero Maule
Medio Sur

250.662
Hm³



Escenario de Gestión por Aumento de la Eficiencia de Riego mediante tecnificación

Consumo de
agua en
agricultura
97%
Total

Eficiencia de
riego actual
57%
promedio

Escenario

06
Nuevos
Embalses

1.056
Hm³
adicionales

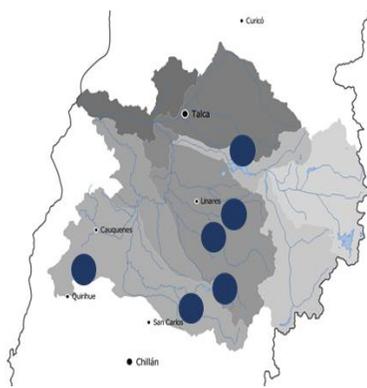
520
Pozos
100 l/s - 100m

52
m³/s

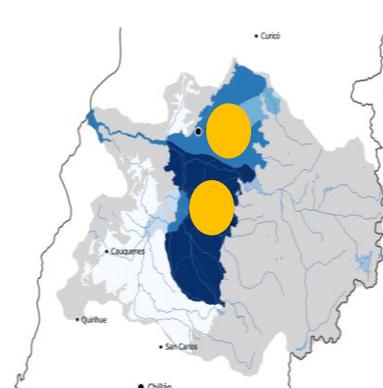
535
Hm³/año
(120 días
operación)

70%
Eficiencia futura
promedio del riego

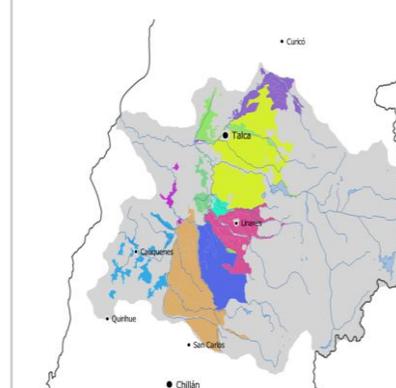
361
Hm³/año
de menor demanda



Los nuevos embalses tienen respaldo hidrológico, pero la **ejecución excede el 2050**



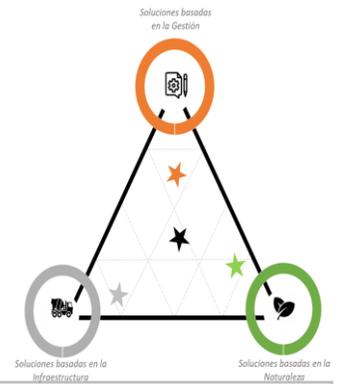
Pérdida de 10% de stock de agua en acuíferos al año 2050 sin recarga artificial



Reducción de la demanda, pero **depende de la disponibilidad de agua**

FORMULACIÓN DEL PLAN

Caja de Herramientas para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos



[Infraestructura Gris]

[SLOW WATER]

[Infraestructura Verde y Azul]



Soluciones Basadas en la Infraestructura



Embalses



Trasvases entre cuencas



Elevación de agua



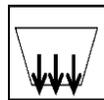
Extracción de Aguas Subterráneas con Infiltración



Tratamiento de Aguas (potabilización, desalación)



Soluciones Basadas en la Naturaleza



Recarga de Acuíferos Gestionada



Recarga de Acuíferos desde Canales de Riego



Aportes al Caudal Ecológico



Protección y restauración de cuencas

MRSE. Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos.



Soluciones Basadas en la Gestión



Tecnificación del riego



Revestimiento de canales de riego



Telemetría y automatización de compuertas



Capacitación a los usuarios del agua



Acuerdos entre usuarios

- Simón, I., Aravena, B., 2021. El Ciclo Hidrosocial: Una propuesta didáctica desde la historia, la geografía, las ciencias sociales y la educación para la ciudadanía.
- Vargas, X., 2021. Curso de especialización: principios de modelación hidrológica aplicados a estimaciones de balance hídrico.
- University of Washington Computational Hydrology Group, 2016. VIC Model Overview.
- DGA 2019. Aplicación de la metodología de actualización del Balance Hídrico en las cuencas de las macrozona sur y parte norte de macrozona Austral.
- DGA, 2020. Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca del Maule.



**CHILE LO
HACEMOS
TODOS**