

CORFO

ESCENARIOS
HÍDRICOS
2030
CHILE

FCh
FUNDACIÓN CHILE

MAGALLANES

RADIOGRAFÍA DEL AGUA

SEPTIEMBRE 2024

MAGALLANES, RADIOGRAFÍA DEL AGUA

Magallanes, Chile, Septiembre 2024.

Equipo de desarrollo de contenidos:

Equipo Escenarios Hídricos - EH2030:

Paola Matus, Fundación Chile

Valentina Cárdenas, Fundación Chile

Ulrike Broscheck, Fundación Chile

Gerardo Diaz, Fundación Chile

Paul Dourojeanni, Fundación Chile

Adriana Lopez, Fundación Chile

Claudia Galleguillos, Fundación Chile

Ignacio Santelices, Fundación Chile

Hernán Araneda, Fundación Chile

Expertos que apoyaron el desarrollo de los distintos componentes de Magallanes, Radiografía del Agua:

Manuel Contreras, Centro de Ecología Aplicada (CEA), Chile.

Alejandro Aguado, Centro de Ecología Aplicada (CEA), Chile.

Pablo Sanhueza, Centro de Ecología Aplicada (CEA), Chile.

Javiera Cáceres, Centro de Ecología Aplicada (CEA), Chile.

Patricio Pliscoff, Universidad Católica de Chile.

Joao Nascimento, WaterWays, Portugal.

Nuno Barreiras, WaterWays, Portugal.

Diseño y Diagramación:

Verónica Zurita V.

Fotografías :

Valentina Cárdenas, Fundación Chile

Publicación sin fines comerciales. Reservados todos los derechos. Queda autorizada

su reproducción y distribución con previa autorización y citando como fuente:

Escenarios Hídricos 2030- EH2030. **MAGALLANES, RADIOGRAFÍA DEL AGUA**

Magallanes, Chile, 2024. Fundación Chile, Santiago, Chile.

INSTITUCIÓN MANDANTE



EQUIPO TÉCNICO EJECUTOR



MESAS TERRITORIALES



CONTENIDO

PRÓLOGO

RESUMEN EJECUTIVO

1. INTRODUCCIÓN

Proceso de construcción

2. METODOLOGÍA

- 2.1. Estimación de la recarga
- 2.2. Determinación de zonas con susceptibilidad de contaminación
- 2.3. Análisis del estado actual de los ecosistemas
- 2.4. Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN)
- 2.5. Índice de Seguridad Hídrica

3. RESULTADOS

- 3.1. Determinación de la recarga
- 3.2. Determinación de las zonas de alta recarga
- 3.3. Aplicación del Índice de Susceptibilidad de Contaminación
- 3.4. Ecosistemas de la Región de Magallanes
 - Cambios de uso del suelo
 - Áreas de mayor valor ecológico
- 3.5. Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) potenciales
- 3.6. Estimación del caudal ambiental
- 3.7. Cálculo del índice de seguridad (ISH)
 - ISH histórico (1981-2020)
 - ISH proyectado (2020-2060)
 - ISH proyectado con aplicación de SbNs potenciales
- 3.8. Curvas de abatimiento

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

Prólogo

Desde sus inicios, **Escenarios Hídricos 2030** ha sido una iniciativa pionera en impulsar cambios, promover el diálogo y relevar la importancia de la gestión y gobernanza del agua en Chile, con un enfoque claro y decidido en abarcar la totalidad del territorio nacional. Esta ambición ha permitido a la iniciativa analizar los desafíos hídricos de distintas regiones del país, adaptándose a sus particularidades y proponiendo soluciones que aseguren la sostenibilidad a largo plazo. Hoy, tras años de esfuerzo y colaboración, Escenarios Hídricos 2030 llega a la Región de Magallanes, una de las áreas más remotas y climáticamente complejas de Chile, marcando un hito en su compromiso por contribuir en alcanzar la seguridad hídrica en todo el país.

El presente documento, titulado **Magallanes, Radiografía del Agua**, consolida el resultado de un estudio exhaustivo realizado en esta región. A lo largo de su trayectoria, Escenarios Hídricos 2030 ha buscado responder preguntas fundamentales sobre cómo avanzar hacia una gestión hídrica que no solo responda a las necesidades actuales, sino que también anticipe los desafíos futuros. En esta ocasión, la atención se centra en una región caracterizada por su singularidad hidrológica y sus vastos ecosistemas, cuyas dinámicas dependen en gran medida del comportamiento del agua basado en la conformación del paisaje.

La llegada de Escenarios Hídricos 2030 a Magallanes no solo refuerza el compromiso

de la iniciativa con una visión de país, sino que también subraya la importancia de incluir territorios de difícil acceso en la planificación estratégica del recurso hídrico, atendiendo a las particularidades territoriales que presenta cada cuenca existente. La Región de Magallanes, con sus 10 cuencas hidrográficas y sus complejas interacciones entre glaciares, turberas y estepas, representa un desafío único que requiere un análisis detallado y soluciones que respondan a sus características particulares.

Este trabajo no solo se detiene en la identificación de zonas críticas para la recarga de acuíferos y la conservación del ciclo hidrológico, sino que también propone una serie de medidas que, implementadas, podrían garantizar la seguridad hídrica en un contexto de cambio climático. Además, se presentan índices de seguridad hídrica específicos para la región, fundamentales para la toma de decisiones informadas que promuevan el desarrollo sostenible y la protección de los ecosistemas locales.

La investigación y el análisis presentados en este informe son testimonio del compromiso de Escenarios Hídricos 2030 de construir un futuro resiliente para Chile, donde todas las regiones, desde el extremo norte hasta el sur más austral, estén preparadas y tomando acciones para enfrentar los desafíos hídricos actuales y del futuro.

Equipo de Escenarios Hídricos 2030
Fundación Chile

Resumen Ejecutivo

Este documento consolida los resultados del estudio “Magallanes, Radiografía del Agua”, realizado por Escenarios Hídricos 2030 en la Región de Magallanes.

El objetivo de este estudio ha sido la identificación y el análisis detallado de las zonas hídricas críticas, importantes para la conservación del ciclo hidrológico y con potencial para la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) y estrategias de reparación hidrológica. Esto se logró mediante la implementación de herramientas y modelos avanzados como:

WetSpass (Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere under quasi Steady State) el cual logra identificar las zonas de mayor recarga en la región.

Análisis de Cambio de Uso de Suelo

compara un periodo histórico y una ventana temporal que abarca 24 años (1995-2019) mostrando cuál ha sido el impacto o modificación que se ha generado sobre los ecosistemas hídricos.

Finalmente, **HydroBID y WaterAlloc**, permitieron medir la brecha hídrica de tres cuencas en escenarios actual y proyectado, evaluando la oferta y demanda de agua integrando parámetros ecosistémicos, productivos y ambientales.

Adicionalmente, se ha desarrollado un **Índice de Seguridad Hídrica (ISH)**, que servirá de herramienta esencial para la toma de decisiones en la administración de los recursos hídricos.

Con este estudio, se logra comprender y visualizar el estado actual de los recursos hídricos y de los ecosistemas asociados a ellos. Estos datos son fundamentales para la planificación territorial adecuada y para el desarrollo productivo sostenible de la región.

Los resultados del trabajo lograron identificar áreas críticas que necesitan intervención a nivel de gestión para asegurar la sostenibilidad de la recarga natural de los acuíferos y la seguridad ecológica de las cuencas que sostienen actualmente el desarrollo.

Además, los resultados muestran que las principales zonas de alta recarga se sitúan en áreas forestales asociadas a bosques de caducifolios y coníferas, donde la recarga anual promedio excede los 200 mm, contribuyendo de manera significativa a la sostenibilidad de los acuíferos regionales. Además, el estudio del cambio de uso del suelo demostró que en los últimos 24 años se produjo el 91% de pérdida de los ecosistemas presentes en la región. En cuanto a la seguridad hídrica, el índice desarrollado indica que el 51% de las cuencas evaluadas en el periodo histórico presentan una brecha hídrica crítica, situación que aumenta en 56% en el futuro, destacando la urgente necesidad de implementar estrategias de conservación, reparación y gestión del agua, antes de que el problema se intensifique y requiera esfuerzos aún mayores para su resolución/enfrentamiento.

Las principales zonas de alta recarga se sitúan en áreas forestales asociadas a bosques de especies caducifolias y coníferas, donde la recarga anual promedio excede los 200 mm, contribuyendo de manera significativa a la sostenibilidad de los acuíferos regionales.

Este estudio proporciona una base científica robusta para la formulación de políticas futuras de gestión de recursos hídricos en la Región de Magallanes, ofreciendo un marco que ayude a definir las intervenciones necesarias para mitigar los efectos del cambio de uso del suelo y otras acciones que afectan a la disponibilidad del recurso hídrico. Esto ayudará a señalar los lineamientos a seguir para garantizar la conservación de áreas críticas para la recarga de acuíferos, fomentando la implementación de SbN, que fortalecerán la resiliencia regional ante el cambio climático y otros desafíos ambientales.



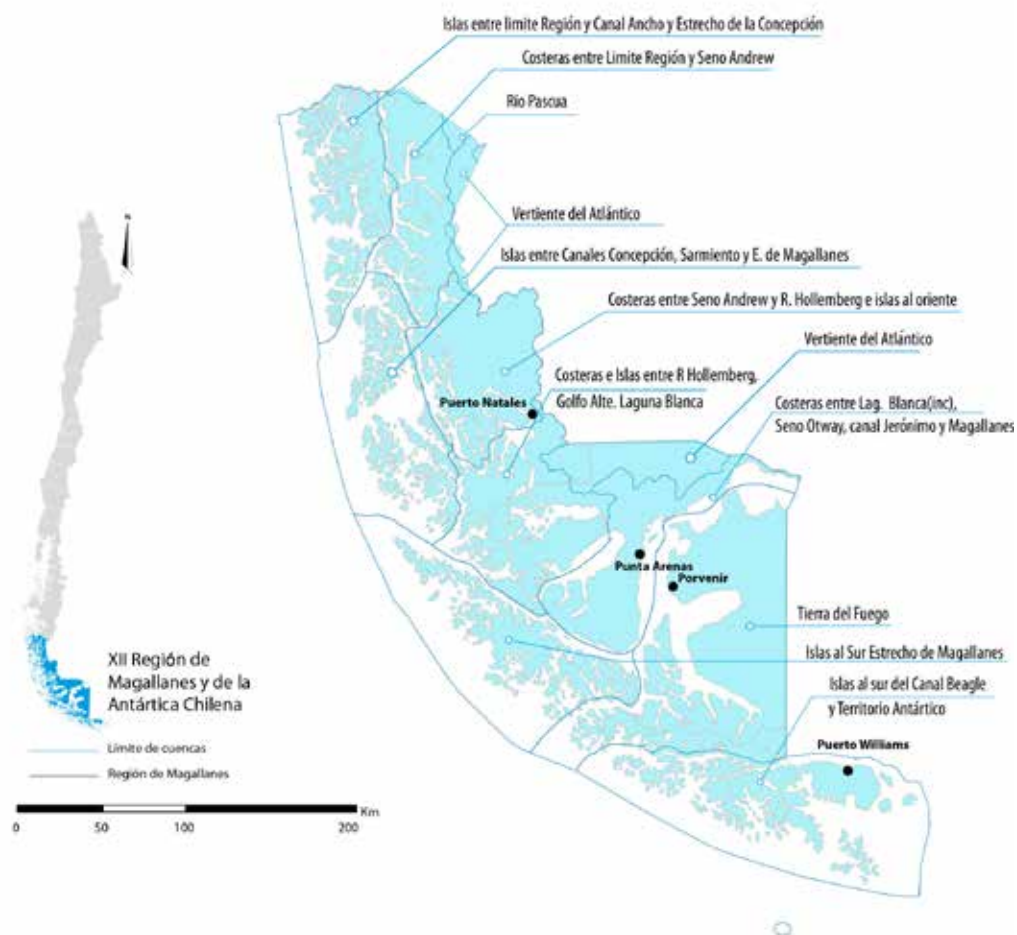
DÉFICIT HÍDRICO EN LA REGIÓN DE LOS GLACIARES

La hidrología de la región de Magallanes destaca por su singular conformación, evidenciada en sus **10 cuencas hidrográficas**, las cuales se subdividen en 83 subcuencas y 244 subsubcuencas (Inventario público de cuencas, DGA). Este intrincado sistema de drenaje refleja la particularidad de sus cursos hídricos, caracterizados por la presencia de numerosos tributarios que, en muchos casos, fluyen directamente hacia el mar sin confluir con otros cursos. Además, la existencia de cuencas transfronterizas añade una capa de complejidad a la gestión de estos recursos hídricos, planteando un desafío importante para la implementación de estrategias sustentables y coordinadas entre los involucrados. (Figura 1)

Por otro lado, el clima de Magallanes se caracteriza por ser bastante variable a lo largo de su extensión territorial. Por ejemplo, en la cuenca de Punta Arenas, entre el fuerte Bulnes y San Gregorio, se tiene una diferencia de montos de precipitación anuales de 600 mm de agua, en una extensión de 170 km, lo que se traduce también en la vegetación presente en cada zona, existiendo bosques siempre verdes, bosques caducifolios y presencia de turberas en la zona sur, en contraste de las estepas y pastizales en la zona de San Gregorio.

1 | INTRODUCCION

Figura 1. Cuencas presentes en la Región de Magallanes.



Este informe representa el resultado final del estudio de línea base hídrica Magallanes, que tuvo como objetivos:

1 Identificar zonas hídricas críticas que aportan a la conservación del ciclo del agua, levantando oportunidades para la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza y de reparación hidrológica.

2 Desarrollar un Índice de Seguridad Hídrica en cuencas estratégicas de la región, que permitan establecer la brecha hídrica territorial base histórica y proyectada al 2050, considerando componentes de uso de agua ecosistémicos, productivos y ambientales.

Para lograr los objetivos anteriores se utilizaron tres herramientas y modelos:

WETSPASS (Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere).

Determina las áreas dentro de una cuenca hidrográfica con mayor potencial de infiltración de agua lluvia en el suelo para recarga de acuíferos y almacenamiento de agua. Además, determina la capacidad de recarga natural de los acuíferos para gestionar su sostenibilidad en el tiempo.

Cambio de Uso de Suelo. Determina los ecosistemas hídricos críticos que aún permanecen y los que se han perdido en una ventana temporal determinada. Estos ecosistemas son críticos pues aportan agua a la cuenca hidrográfica y forman parte de las fuentes naturales de agua, como por ejemplo ríos, riberas, humedales, bosque y vegetación específica, vegas, bofedales, lagos, lagunas, entre otros.

Índice de Seguridad Hídrica. Se establece a través de la modelación hidrológica, utilizando dos herramientas fundamentales: HydroBID y WaterAlloc. Estas herramientas permite determinar la brecha hídrica, que es la diferencia entre la oferta y la demanda de agua dentro de una cuenca hidrográfica, y cómo esta brecha se distribuye en cada localidad a lo largo del año. No solo considera la demanda productiva y humana de agua, sino también el caudal ecológico de los ecosistemas hídricos.

La comprensión precisa del estado actual del recurso hídrico y sus ecosistemas asociados, es de suma importancia para la planificación territorial y el desarrollo productivo, especialmente en el contexto del cambio climático y las presiones antropogénicas a las que se puede ver enfrentado el territorio. En respuesta a esta necesidad actual, ha surgido

el proyecto Magallanes, Radiografía del Agua, cuyo objetivo principal es llevar a cabo un análisis exhaustivo a nivel de gestión del recurso hídrico en la región.

El propósito fundamental de este proyecto es identificar áreas críticas que son fundamentales para el abastecimiento del sistema hídrico o que desempeñan un papel crucial en el mantenimiento del ciclo hidrológico en condiciones óptimas. Este análisis se convierte en un elemento clave para la planificación territorial sustentable, ya que asegura una consideración adecuada del componente hídrico en el desarrollo regional, además de garantizar la seguridad hídrica a largo plazo.

Además, como parte integral de este proyecto, se contempla la identificación de zonas de conservación y reparación hídrica para la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) en la Región de Magallanes. Este enfoque busca aprovechar los procesos naturales de los mismos ecosistemas identificados en el territorio, para mejorar la gestión del agua y fomentar la resiliencia frente a eventos climáticos extremos.

Asimismo, se llevó a cabo el desarrollo de un Índice de Seguridad Hídrica en las cuencas de la Región de Magallanes. Este índice proporcionará una medida comprensiva de la capacidad de las cuencas para satisfacer las demandas de agua de manera sostenible, considerando factores como la disponibilidad y calidad del agua, la gestión de riesgos y la vulnerabilidad ante el cambio climático.

PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

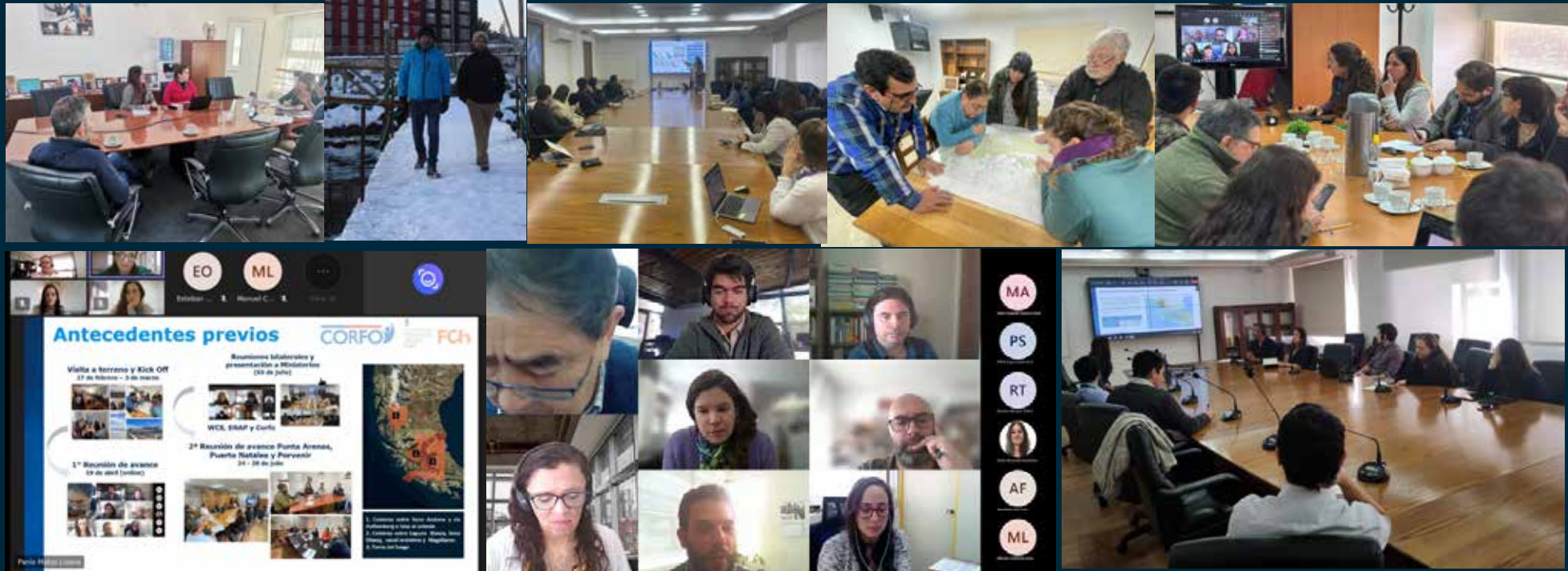
+40
Participantes

13

Meses de trabajo

6

Reuniones
Bilaterales
y de nivel Central



+15
Especialistas

16
Reuniones
regionales

DIAGRAMA
METODOLÓGICO





2 | METODOLOGÍA

2.1. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA¹

METODOLOGÍA

El modelo Wetspass se utiliza para calcular la recarga en la Región de Magallanes (Waterways 2023). El proceso se realizó en varias fases. Inicialmente, se enfocaron en áreas con más información disponible, calibrando el modelo y luego extendiendo el análisis a otras zonas. Se dividieron en 4 fases de modelación, cada una abordando diferentes cuencas (Figura 2). Posteriormente, se evaluaron el impacto del cambio de uso del suelo, el riesgo de contaminación y se definieron medidas de protección y gestión de aguas subterráneas. La Figura 2 muestra la distribución espacial de estas fases. Se detallan las variables de entrada, su origen, procesamiento y configuración para el modelo.

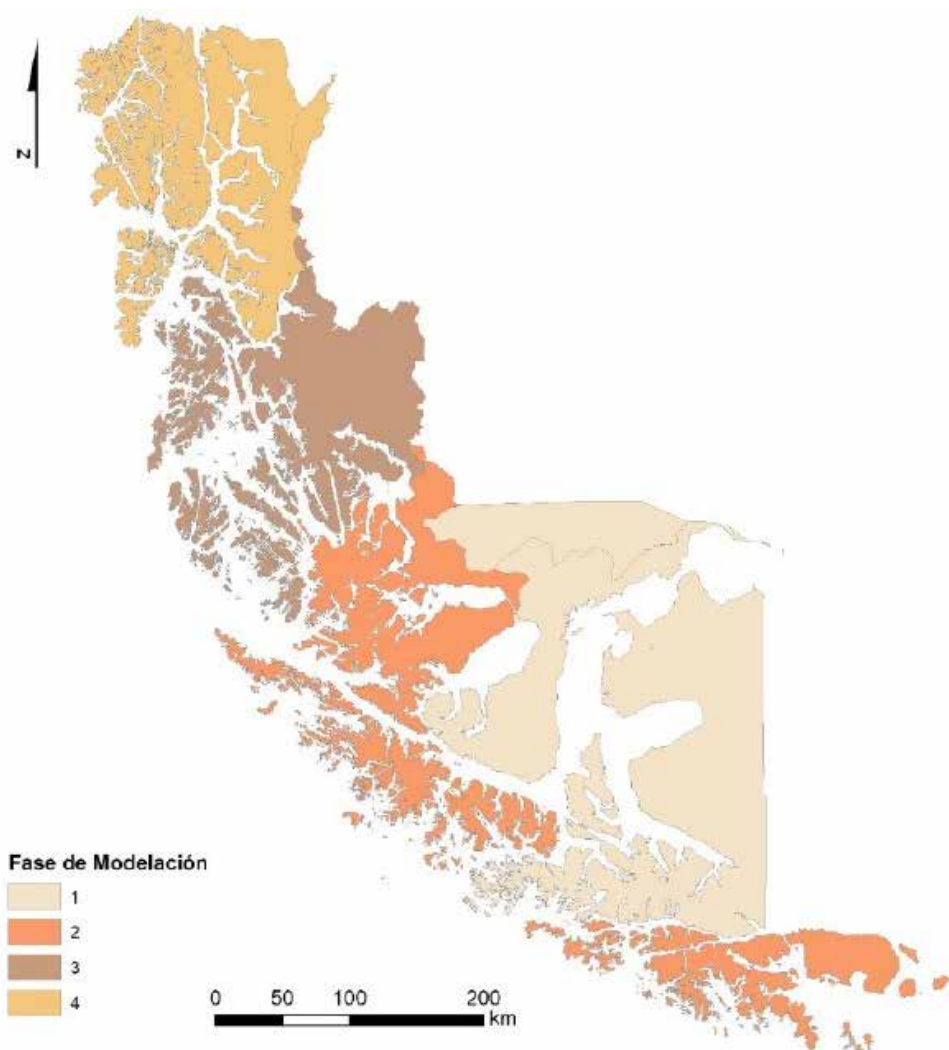
Pendiente del terreno

El mapa de pendientes de la Región de Magallanes y Antártica Chilena se elaboró con modelos digitales del terreno. La región, situada en el extremo sur de Chile, muestra una topografía montañosa, con densos bosques y una compleja red de fiordos y canales. Destacan glaciares, como el Pío XI, y archipiélagos, como Tierra del Fuego. En contraste, la Antártica Chilena es una vasta extensión congelada, con cordilleras

¹. Waterways,2024. Estimación de la recarga en la Región de Magallanes a través del Modelo WetSpas.

Figura 2: Fases de modelación para la estimación de la recarga en la Región de Magallanes.

Se consideraron 4 fases de modelación según la disponibilidad de datos para el cálculo. En la primera, se trabajó en la zona geográfica con mayor cantidad de datos y estudios (DGA), con esta área se logró calibrar el modelo WetSpa y obtener resultados para comparar con datos observados. En las siguientes fases se consideraron distintas variables para comprobar la similitud de las cuencas y poder realizar el cálculo calibrado.



Fuente: Waterways, 2024. Estudio elaborado para EH2030

subyacentes. El análisis revela que la geografía regional se encuentra conformada por dos tipos marcados de conformaciones. Por un lado, la mayor parte del territorio en su zona baja presenta pendientes suaves (0-5 grados), mientras que las áreas de mayor pendiente se concentran en la cordillera de los Andes. Esta información es de gran relevancia a la hora de planificar su uso e intervenciones.

Uso del suelo

Este trabajo presenta un estudio comparativo entre el uso del suelo en 1995 y 2019, integrando variables de recarga y riesgo de contaminación del agua subterránea por nutrientes para ambos años, lo que permite generar un análisis respecto a la disponibilidad y calidad de las aguas subterráneas del territorio en estudio. Este análisis está basado en información del estudio del estado actual de los ecosistemas terrestres en toda la Región de Magallanes (Pliscoff, 2023), lo que permite delimitar espacialmente varios tipos de ecosistemas y hacer una categorización de estos mediante métodos de teledetección. Las categorías otorgadas al uso del suelo en la región fueron: bosque caducifolio, bosque siempreverde, estepas y pastizales, herbazal de altitud, matorral bajo de altitud, matorral caducifolio, sin vegetación, turberas, áreas urbanas-industriales, plantación, terrenos agrícolas, humedales estacionales, humedales intermareales, lago, laguna, humedales permanentes, ríos y turberas.

Los resultados muestran que el uso del suelo en la región está fuertemente asociado a la geomorfología de la cuenca que casi no presenta cambios en gran parte del área. Existe un gran predominio de turberas,

En la región, existe un gran predominio de turberas, principalmente en la zona más septentrional y en toda la cordillera de los Andes, que se extiende hacia el sur, en las Islas al Sur Estrecho de Magallanes, y al sur de Tierras del Fuego.

principalmente en la zona más septentrional y en toda la cordillera de los Andes, que se extiende hacia zonas más australes, en las Islas al Sur Estrecho de Magallanes, y al sur de Tierras del Fuego.

En la franja norte-sur en el límite nororiental de la región, existe una extensa y continua área sin vegetación, asociada a áreas permanentemente cubiertas de nieve o áreas de glaciares, lo que representa un desafío importante para obtener información respecto al tipo de suelo en estas zonas.

Textura del suelo

La Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, caracterizada por un limitado número de estudios de suelo, basa su conocimiento edafogeográfico en investigaciones exploratorias y en el Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las Cuencas de Punta Arenas (DGA, 2021), que recopila datos principalmente del estudio de Luzio de 2010. Los suelos de la región, ubicados en terrazas con pendientes variadas, presentan texturas que van desde franco limosas a arcillosas, y son predominantemente

Podzoles, con características de horizontes de turba y materia orgánica. La capacidad de uso de los suelos varía y su drenaje depende de la pendiente. Además, se han clasificado varios tipos de suelos como Cambisoles, Phaeozems, Luvisoles, y Leptosoles, cada uno con características específicas relacionadas con su formación geológica y litológica. Esta información se usó para mapear y entender mejor la distribución y características de los suelos en la región.

Precipitación

La información pluviométrica para este estudio proviene de datos de la herramienta Explorador Climático (CR)², que proporciona un mapa mensual de precipitaciones en todo Chile. Esta plataforma fue desarrollada por el Centro de Ciencia y Resiliencia del Clima e implementada por Meteodata, basado en datos observados en estaciones climáticas gestionadas por diversas instituciones, incluyendo la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y la Dirección General de Aguas (DGA). Para la Región de Magallanes, se creó un mapa de precipitación mensual basado en registros entre 1940 y 2022, tomando un promedio anual para el análisis de recarga. Los resultados muestran un aumento de la precipitación hacia el norte, superando los 8000 mm en las áreas más altas, mientras que en Tierra del Fuego, una zona más densamente poblada con expansión agrícola e industrial, las precipitaciones oscilan entre 80 y 2000 mm anuales. Con estos resultados

se generó un histograma de precipitaciones, el cual indica que el rango de precipitaciones oscila entre 87 y 653 mm.

Temperatura

Al igual que con las precipitaciones, los valores de temperatura utilizados provienen de las series registradas en las estaciones del Explorador Climático (CR)². Se creó un mapa de temperatura promedio anual para la Región de Magallanes utilizando datos desde 1940 hasta 2022 el cual muestra que las temperaturas más altas, entre 12 y 15°C, se encuentran en la cuenca central (Punta Arenas y Tierra del Fuego), mientras que las temperaturas más bajas (-6 a 4°C) se registran en las zonas más altas al noreste. El análisis muestra que el rango de temperatura más común (10 a 11°C) se presenta en la región central, sur y las islas costeras de la región.

Evapotranspiración potencial

El mapa de evapotranspiración potencial de la Región de Magallanes se obtuvo usando el Índice de Evapotranspiración de Precipitación Estandarizada (SPEI) para el periodo 2000-2014, utilizando datos de los productos satelitales CHIRPS V2 y MOD16. La evapotranspiración potencial promedio anual está representado en un mapa con valores completos, obtenidos mediante un tratamiento geoestadístico para llenar los vacíos de información.

Los resultados muestran que la región norte presenta una ausencia de datos debido a la nubosidad y campos de hielo, mientras que en las cuencas de Ensenada de Torino y Punta Dungeness presentan los mayores déficits, con sequías moderadas y severas.

En este sentido, se identificaron seis períodos de déficit hídrico entre 2002 y 2012, pero hubo períodos de normalidad desde 2012 hasta finales de 2014, mostrando un patrón natural de variabilidad. Con estos antecedentes se evidenció que el rango de evapotranspiración potencial más común es de 600-700 mm/año registrado en el centro y norte de la región, con valores más bajos, inferiores a 458 mm/año, en la zona de la cordillera de los Andes.

Velocidad del viento

Para obtener el mapa de velocidad del viento, se utilizó el Energy Explorer del Ministerio de Energía de Chile, una herramienta que ofrece información sobre el recurso eólico a partir de modelación numérica con el modelo Weather Research and Forecasting (WRF). Este modelo, desarrollado por el NCAR en Estados Unidos, genera datos promedio anuales independientes de las estaciones meteorológicas locales, con una resolución de 1 kilómetro y datos verticales de hasta 120 metros de altura. Para la Región de Magallanes, se usaron datos de simulación de 2015, a 10 metros de altura.

El análisis del mapa muestra que las velocidades del viento más recurrentes están entre 5 y 7 m/s, predominando en las zonas centrales de la cuenca. Las mayores velocidades se encuentran en las áreas más elevadas.

Profundidad del nivel piezométrico

La elaboración del mapa de profundidades del nivel piezométrico en la Región de Magallanes se basó en datos del informe de la DGA (2016), que actualizó la información hidrológica de la zona. El estudio recopiló datos de 195 pozos de agua subterránea



en las comunas de Laguna Blanca, Punta Arenas, Porvenir, Primavera y San Gregorio. De estos se analizaron mediciones de nivel de agua en 158 pozos, de los cuales alrededor de 30 solo tenían indicaciones de nivel superficial o surgente.

Los datos se obtuvieron entre noviembre de 2014 y enero de 2015, limitando su alcance espacial y temporal. Debido a la escasez de datos en otras áreas, se estudió la relación entre el nivel del agua y la topografía para extrapolar los valores a las zonas sin información.

Un análisis inicial mostró una correlación significativa entre el nivel piezométrico y la altitud. Aunque el reducido número de piezómetros genera incertidumbre, esta correlación se validó para las áreas de la Península de Brunswick, la zona continental norte y la Isla de Tierra del Fuego, siendo utilizada para representar la profundidad del nivel piezométrico en toda la región.

2.2 DETERMINACIÓN DE ZONAS CON SUSCEPTIBILIDAD DE CONTAMINACIÓN²

El análisis del riesgo de contaminación por nutrientes se basó en el **Índice de Susceptibilidad (IS)**. Este método es una adaptación del índice de vulnerabilidad DRASTIC (Aller *et al.*, 1987) y fue propuesto por Ribeiro (2005), con aplicaciones a diferentes ambientes y casos de estudio a nivel mundial (por ej. Stigter *et al.*, 2005; Ribeiro *et al.*, 2017, Zhang *et al.*, 2018). La novedad principal de este método fue el uso del parámetro LU (Landuse), que corresponde al uso del suelo, dejando atrás el concepto de un índice puramente intrínseco, basado únicamente en las condiciones naturales. En otras palabras, el IS fue desarrollado con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad específica, que considera los impactos potenciales del uso del suelo y posibles contaminantes asociados a ese uso.

El IS se calcula a partir de la suma ponderada de valores otorgados a los siguientes parámetros:

Profundidad del nivel freático (D) indica el espesor de la zona no saturada, siendo la distancia que atraviesa el agua infiltrada (que potencialmente contiene el contaminante) hasta alcanzar el acuífero. Cuanto menor sea la profundidad del nivel freático, mayor será la probabilidad del contaminante de alcanzar el acuífero.

Recarga (R) es la cantidad de agua por unidad de superficie que alimenta el acuífero. Este proceso es el principal vehículo de entrada de contaminante, por lo que cuanto mayor sea la recarga, mayor será la probabilidad del contaminante de llegar al nivel freático.

Material del acuífero (A) determina la movilidad del contaminante que lo atraviesa. Cuanto mayor sea el tiempo de movilización del contaminante en el acuífero, más mitigados serán sus efectos.

Inclinación del terreno (T) contribuye para el cálculo del índice en función de la pendiente. Cuanto mayor sea la pendiente, menor será el potencial de contaminación, debido al incremento de la escorrentía superficial.

Uso del suelo (LU) define el tipo de uso del suelo. Para ello, el uso del suelo se divide en clases, aplicando la clasificación que se muestra en la Tabla 2 los valores otorgados se representan en un rango del 1 al 100, donde las clases con valores más bajos se asocian a menor riesgo y las clases con valores más altos, se asocian a mayor riesgo.

Tabla 2 - Puntuación del tipo de uso del suelo.

Ocupación del suelo	Puntuación
Áreas agrícolas	
Regadíos (cultivos anuales, entre otros.)	90
Cultivos permanentes (viñas, huertos, oliveras, entre otros.)	70
Áreas agrícolas heterogéneas	50
Pastos y áreas agroforestales	50
Áreas artificiales	
Descargas de residuos industriales y vertederos	100
Canteras, astilleros, minas a cielo abierto	80
Áreas urbanas continuas, aeropuertos, puertos, vías férreas, áreas con actividades industriales y comerciales, entre otros.	75
Áreas urbanas discontinuas	70
Áreas naturales	
Ambientes acuáticos (marismas, salinas, etc.)	50
Bosques y zonas seminaturales	0
Cuerpos de agua	0

Fuente: Waterways, 2024. Estudio elaborado para EH2030

Tabla 3 - Parámetros y factores de ponderación de IS.

Parámetro	D	R	A	T	LU
Ponderación	0,186	0,212	0,259	0,121	0,222

Fuente: Waterways, 2024. Estudio elaborado para EH2030

Los pesos otorgados a cada parámetro para la ponderación se basaron en un panel DELPHI elaborado por especialistas en hidrogeología (Tabla 3).

Después de calcular el índice para cada celda, los resultados se clasifican en 8 grupos, donde los valores más elevados indican un mayor riesgo de contaminación.

2. Waterways, 2024. Estimación de la recarga en la Región de Magallanes a través del Modelo WetSpaas.

2.3. ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LOS ECOSISTEMAS³

METODOLOGÍA

La metodología se dividió en varias secciones según cada objetivo específico descrito anteriormente.

• Análisis de cambio de uso de suelo

Se utilizaron las dos fechas del Catastro de los recursos vegetacionales nativos de CONAF (1995 y 2019), para realizar un análisis de cambios para las tres coberturas de uso de suelo de origen antrópico: Agricultura, Plantaciones Forestas y Urbano/ Industrial. Para cada una de estas coberturas, se calculó el área de **estabilidad** (mantención de la cobertura en los dos periodos de tiempo), **expansión** (presencia de la cobertura solamente en la fecha más reciente (año 2016)), y **cambio** (reemplazo de la cobertura que estaba en el primer periodo (año 1995) por otro tipo de cobertura en el segundo periodo (año 2019)). Se realizaron los cálculos a nivel comunal para las dos cuencas de estudio, calculando la superficie en hectáreas por comuna para la estabilidad, expansión y cambio. Además, se realizó el cálculo porcentual, respecto al área total de la comuna dentro de la cuenca.

• Análisis de ecosistemas hídricos (vegetación ripariana)

Para la definición de la vegetación boscosa ripariana, se definió un área buffer de 200

metros para todos los tipos de drenes que cumplan las características de río o estero. Para esto se utilizó la cobertura de red hidrográfica de Chile, disponible en la mapoteca online del Congreso Nacional (https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales). La distancia de 200 metros de buffer para la definición de la vegetación boscosa ripariana se definió a partir de la ley 20.283 del año 2008, sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal, la que define esta distancia para la protección de superficies boscosas sobre los 45% de pendiente. Se analizaron todas las superficies boscosas dentro de esta área buffer, independiente del grado de pendiente.

• Análisis de pérdida de los ecosistemas:

Para el cálculo de la pérdida de hábitat, se aplicaron métricas de pérdida de hábitat en dos ventanas temporales: pérdida histórica y pérdida reciente. La pérdida histórica se basó en la diferencia entre un periodo histórico y actual. El periodo histórico se definió por la distribución potencial del ecosistema (obtenidas de Luebert & Plissock, 2017), y el periodo actual a la versión más actualizada de la cobertura vegetacional, obtenida del Catastro de los recursos vegetacionales nativos de CONAF (1995; 1999). La pérdida reciente, según la Lista Roja de Ecosistemas, corresponde a cualquier periodo de 50 años que involucre un tiempo pasado al actual y

uno futuro. Para el análisis, se tomó como primera etapa del periodo, la primera versión del Catastro CONAF, correspondiente al año 1995 (entregado el año 1997) y a la versión más actualizada que corresponde a los años 2017 al 2019 (CONAF 2019), esto entregó una ventana de tiempo de 24 años, para analizar la pérdida y fragmentación de las cuencas en estudio.

Cabe mencionar que, para realizar los cálculos descritos, se utilizaron como descriptor de ecosistemas las formaciones vegetacionales, propuestas por Luebert & Plissock (2017). Este nivel corresponde al superior en la estructura jerárquica de esta clasificación y se basa en la fisonomía (estructura) de la vegetación dominante (ej. Bosque Caducifolio, Bosque Siempreverde, Estepas y Pastizales, etc.). Se aplicaron dos cálculos a partir de los criterios de evaluación definidos por la Lista Roja de Ecosistemas correspondientes al criterio asociado a la disminución de la distribución de los ecosistemas (Plissock, 2015; Bland et al., 2016).

• Definición de áreas de valor ecológico

A partir de los resultados de pérdida y fragmentación en las cuencas analizadas, así como de los ecosistemas específicos (vegetación boscosa ripariana y bosques en cabeceras de cuencas), se identificaron las áreas de mayor valor ecológico señalizando territorialmente las zonas recomendadas para conservación, rehabilitación y/o restauración ecosistémica, para avanzar en la adaptación del Cambio Climático y la restauración del ciclo hidrológico. Para ello, se combinaron cinco criterios que den cuenta del valor de la diversidad biológica en las cuencas de estudios, a nivel de ecosistemas (riesgo, protección, diversidad) y de especies (riqueza de flora y fauna). Estos criterios se

complementaron con la presencia de los ecosistemas hídricos específicos analizados.

A) RIESGO POR ECOSISTEMA:

Se utilizó la categorización de riesgo de ecosistemas amenazados definidos en la Lista Roja de Ecosistemas de Chile, información que se encuentra a nivel de pisos de vegetación (unidad inferior luego de la formación de vegetación en la jerarquía de la clasificación de Luebert & Plissock, 2017). La metodología de la Lista Roja de Ecosistemas utiliza criterios de pérdida de ecosistemas, tamaño y perturbación biótica o abiótica de los ecosistemas.

B) PROTECCIÓN:

Se categorizaron los pisos de vegetación presentes en cada cuenca, a partir del análisis de representatividad ecosistémica (Plissock & Fuentes-Castillo, 2011) más actualizado para Chile.

C) DIVERSIDAD DE ECOSISTEMAS AZONALES:

A partir de la propuesta de clasificación de pisos de vegetación de Chile, se realizó un conteo de los ecosistemas azonales (ecosistemas que están definidos por elementos distintos al clima zonal, ej. suelos, relieve) presentes en cada piso de vegetación.

D) DIVERSIDAD DE FLORA:

Número total de especies de flora colectadas dentro de un piso de vegetación, a partir de la base de datos del sistema global de información de biodiversidad, GBIF (www.gbif.org)

E) DIVERSIDAD DE FAUNA:

Número total de especies de fauna colectadas dentro de un piso de vegetación, a partir de la base de datos del sistema global de información de biodiversidad, GBIF (www.gbif.org)

F) EROSIÓN ACTUAL:

Nivel de erosión actual del suelo, a partir de los resultados de CIREN, IREN & FIA (2021).

3. Plissock, 2024. Análisis del estado actual de los ecosistemas terrestres, Región de Magallanes.

2.4. SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA (SBN)

Para la obtención de las áreas potenciales de implementación de SBNs, se consideraron los estudios ya antes mencionados, donde se determinan los ecosistemas críticos para el ciclo del agua y zonas de alta recarga, obteniendo las superficies (Ha) potenciales de conservar por su relevancia en el ciclo hídrico. Luego de esto, estas superficies potenciales se ingresaron a la Herramienta Estratégica para la Selección de Medidas Acciones y Soluciones Hídricas (HESMASH). La aplicación de 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, fue 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 construyó una curva de abatimiento, con el objetivo de comparar las soluciones que abordan el mismo problema, pudiendo identificar y priorizar aquellas que son más costo-eficientes.



CRITERIOS DE POTENCIAL IMPLEMENTACIÓN DE SBN

CONSERVACIÓN	CRITERIO
Conservación de humedales	Humedales que se mantienen a la actualidad sin un uso de suelo sobre ellos.
Conservación de Estepas	Estepas y pastizales que se mantienen a la actualidad sin un uso de suelo sobre ellos y que se encuentren cercanas a cuerpos de agua
Conservación de ríos	Superficie de ríos considerando un ancho promedio a lo largo de su extensión
Conservación bosque siempreverde	Bosque siempreverde que se mantiene a la actualidad sin un uso bosque suelo sobre ellos.
Conservación de bosque caducifolio	Bosque caducifolio que se mantiene a la actualidad sin un uso bosque suelo sobre ellos.
Conservación de turberas	Turberas que se mantienen a la actualidad sin un uso de suelo sobre ellos.
Conservación de zonas de alta recarga	Zonas identificadas como zonas de alta recarga que se mantienen a la actualidad sin un uso alta suelo sobre ellos.
REPARACIÓN	
Reparación de Estepas	Superficie de estepas y pastizales que se han perdido por cambios de uso de suelo entre los años 1995 y 2019
Llanuras de inundación	Superficies de baja pendiente aledañas a un río con condiciones territoriales que favorecen una alta recarga al acuífero
Cochas Bordos	Superficies con baja pendiente ubicadas en zonas de alta recarga sin uso antrópico sobre ellas y que no estén asociadas a turberas
Zanjas de infiltración	Superficies con pendiente mayor a 5% y menor a 30%, ubicada en zonas de alta recarga al acuífero sin uso antrópico sobre ellas
Reforestación y forestación de cuencas	Superficie de bosque nativo (caducifolio y siempre verde) que se ha perdido entre los años 1995 y 2019

Fuente: Elaboración propia. EH2030.

2.5. INDICE DE SEGURIDAD HIDRICA⁴

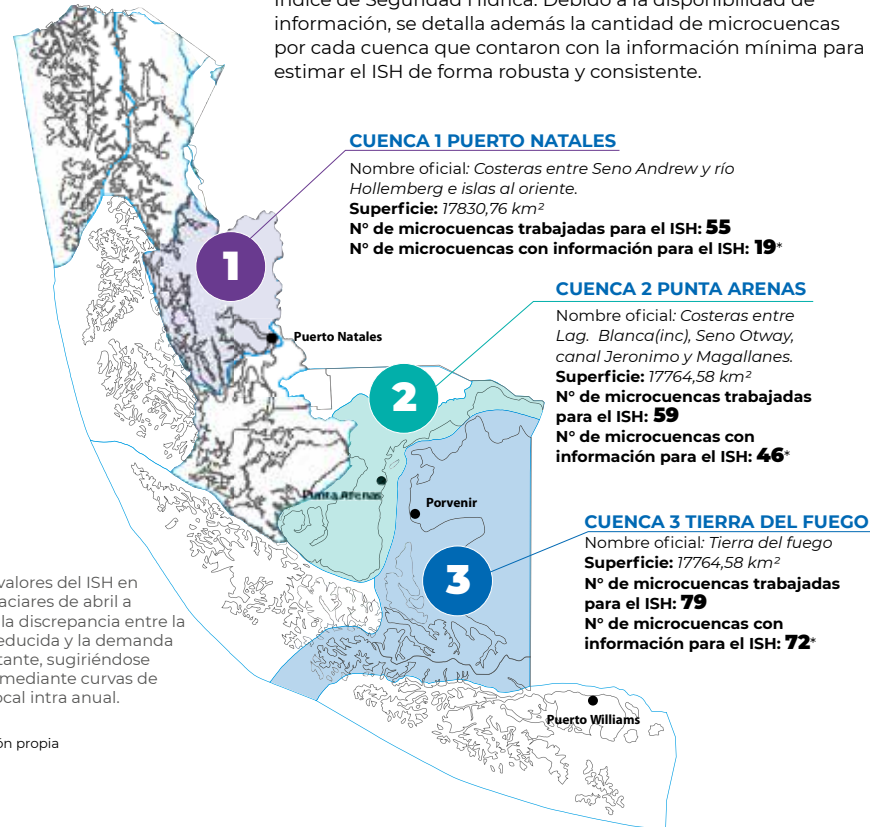
Metodología general para el ISH

El Índice de Seguridad Hídrica (ISH) evalúa la capacidad de las cuencas hidrográficas de la Región de Magallanes para satisfacer las demandas de agua presentes y futuras, manteniendo al mismo tiempo la salud ecológica. Este índice considera factores como la oferta hídrica superficial y subterránea, la demanda de agua, y los

requerimientos ecológicos del caudal ambiental. El cálculo del ISH permite identificar los déficits y superávits hídricos en el territorio, y es una herramienta clave para la gestión sostenible de los recursos hídricos, proporcionando una base para la toma de decisiones relacionadas a la planificación de medidas de adaptación y mitigación enfocadas en el territorio.

Figura 16:

Cuencas seleccionadas por actores locales para el trabajo del Índice de Seguridad Hídrica. Debido a la disponibilidad de información, se detalla además la cantidad de microcuencas por cada cuenca que contaron con la información mínima para estimar el ISH de forma robusta y consistente.



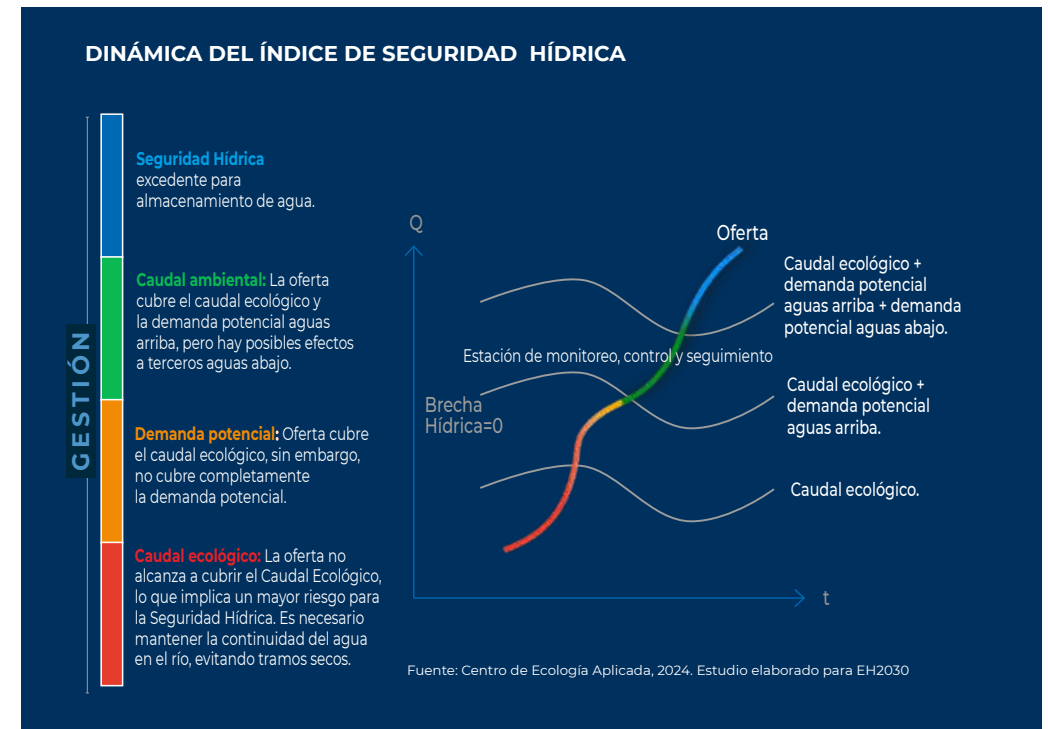
Fuente: Elaboración propia

4. Centro de Ecología Aplicada, 2024. Análisis de la seguridad hídrica en cuencas de la Región de Magallanes

El ISH clasifica la seguridad hídrica en distintos niveles:

- **ISH < 0:** Indica que la oferta hídrica es insuficiente para cubrir todas las demandas identificadas en la cuenca, incluyendo la componente ecológica del caudal ambiental hacia aguas abajo. Esta situación se clasifica como insuficiente o crítica.
- **ISH ≥ 0:** Muestra que la oferta hídrica es suficiente para satisfacer las demandas aguas arriba, incluida la componente ecológica del caudal ambiental, por lo que esta situación se clasifica como suficiente. Si, además, la oferta puede cubrir las demandas aguas abajo hasta el siguiente punto de evaluación, esta situación se clasifica como excedente.

Este análisis se llevó a cabo en tres cuencas de la región, las cuales fueron escogidas en conjunto con actores locales mediante una mesa territorial, considerando una visión estratégica y relevancia dentro de la región (Figura 16). Debido a la complejidad hídrica en la región y para poder tener valores que sean representativos y consistentes territorialmente, se trabajó en cada una de las cuencas a nivel de microcuenca. Sin embargo, dada la disponibilidad de información para poder realizar la evaluación del índice es que, del total de microcuencas identificadas, se logró trabajar con el 51%, 80% y el 94% en las cuencas de Natales, Punta Arenas y Tierra del Fuego, respectivamente. Por ejemplo, en la cuenca de Natales, existen 55 microcuencas identificadas en las cuales se aplicó la metodología del ISH. Sin embargo, debido a la presencia de glaciares en algunas



de las subcuencas de estudio, se obtienen en ellas índices críticos en los meses de invierno, esto posiblemente debido a la contraposición entre la disminución de la oferta hídrica en los meses de invierno, por su régimen de condición glacial versus el valor constante a lo largo del año de la componente ecológica del caudal ambiental. Por esta razón, se opta por omitir el valor del ISH para las cuencas con presencia de glaciares, de acuerdo con el Inventario Público de Glaciares 2022 versión 2 (IPG2022_v2) en los meses de mayo a octubre. Lo anterior se debe a que la información que entregan las series de tiempo para cuencas glaciales de la zona de estudio (ver sección 4.2.2 Caudales Observados), se observa que el caudal disminuye al punto medio de la curva entre el máximo y mínimo anual promedio en el mes de **abril** y, de manera análoga, en **noviembre** el caudal alcanza el punto medio entre estos dos extremos; por ende, se logra obtener un ISH en sólo 28 microcuencas.

Brechas de información necesarias para el ISH

Para poder abordar la estimación del ISH en las cuencas mencionadas, fue necesario ajustar la metodología debido a la falta de información fluviométrica en parte importante de la zona de estudio (Figura 17). Para vencer este obstáculo, se realizó una sectorización de la zona de estudio, según la cobertura de uso de suelo, utilizando la actualización del 2019 del estudio de coberturas de uso de suelo de Luebert y Pliscoff (2017). La sectorización consistió en la agrupación de zonas con proporciones similares de “estepas y pastizales” y “bosques”, principales tipos de suelo que condicionan la escorrentía superficial de las cuencas. De esta forma, se buscó realizar una extrapolación de los caudales observados a aquellas zonas sin

información basándose en la sectorización, criterios y metodología que se detallará más adelante.

Estimación del caudal ambiental

El caudal ambiental se define como aquel necesario para mantener los servicios ecosistémicos que ofrece un río, incluyendo los hábitats de diversas especies como la ictiofauna, avifauna y macroinvertebrados bentónicos. Este caudal no es constante, sino que varía según las secciones del río, sus afluentes y las estaciones del año. Los resultados del estudio proveen una aproximación inicial a estos requerimientos por zona, que debe complementarse con análisis locales detallados antes de realizar intervenciones (obras) que modifiquen el régimen de caudales.

Para establecer los requerimientos del caudal ambiental se consideraron cuatro categorías jerarquizadas:

- **Sociales** (sector doméstico).
- **Ecológicos** (fauna íctica nativa en categoría de conservación o macroinvertebrados bentónicos sobre 1000 msnm).
- **Servicios** relevantes para el desarrollo (silvoagropecuarios, minería, energía e industria) y por último,
- **Usuarios** (actividades antrópicas recreativas).

A) CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA FLUVIAL:

Para estimar los requerimientos ecológicos de un área, es crucial caracterizar sus condiciones hidrodinámicas. Dado el alto costo de obtener datos topobatemétricos, se optó por una metodología general del estudio “Conservación de ecosistemas acuáticos continentales y su biodiversidad”, hecho por CEA para el MMA en 2014. Este método

Figura 17. Ubicación estaciones fluviométricas y cuencas aportantes a cada una de ellas.

Fuente: Informe CEA, Anexo 3.



Fuente:

calcula las condiciones hidrodinámicas medias esperadas localmente, permitiendo identificar áreas con las características morfológicas adecuadas para sostener diversos hábitats.

Para mayores detalles sobre la metodología de la *caracterización del sistema fluvial* (determinación de pendientes, estimación del ancho característico del tramo, estimación del número de Manning) revisar el Anexo 3.

B) PREFERENCIA DE ESPECIES:

Para determinar las condiciones hidráulicas adecuadas para un desarrollo ecosistémico

óptimo en un río, se utilizó la fauna íctica como indicador clave. Esta selección se debe a que los peces dependen directamente de las condiciones hidráulicas, como la velocidad y profundidad del agua, para su desarrollo a nivel de tramos del río. Debido a la falta de curvas de preferencia detalladas para todas las especies, se adoptó un enfoque práctico utilizando datos de condiciones hidráulicas de áreas donde se observaron especies. Este método implicó analizar la coincidencia entre avistamientos de especies y condiciones hidráulicas, y luego desarrollar histogramas de caudal versus profundidad y velocidad, que se utilizaron para aproximar



las curvas de preferencia de las especies. Para considerar la presencia de avifauna asociada al sistema hídrico, se propuso la identificación y preservación de tramos de río con baja pendiente y planicies de inundación como hábitat potencial.

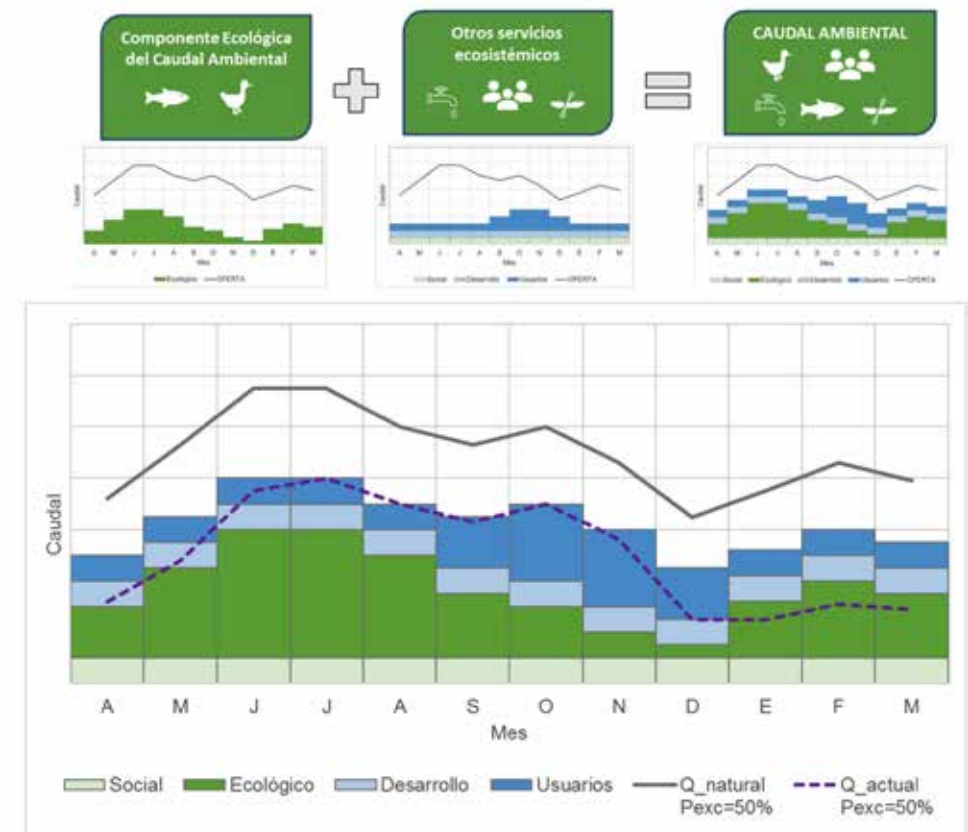
C) CARACTERIZACIÓN DE HÁBITAT:

Para modelar el hábitat fluvial se utilizó la metodología IFIM ("Instream Flow Incremental Method"), comúnmente aplicada en análisis de caudal ambiental a través del

software PHABSIM. Este software evalúa el "Weighted Usable Area" (WUA) bajo diferentes caudales simulados, asumiendo que la disponibilidad de hábitat físico para especies acuáticas está limitada por condiciones hidráulicas. PHABSIM integra las preferencias de las especies por ciertas condiciones hidráulicas con los datos reales de caudales para estimar la idoneidad del hábitat.

Dada la falta de datos topobatimétricos en la Región de Magallanes, se adaptó

Figura 18 – Ejemplo de serie de caudal mensual total según requerimientos de caudal ambiental. En color plomo se muestra como referencia el caudal natural del río asociado a la probabilidad de excedencia 50%, comprendido como la condición media "natural". Además, en línea segmentada morada, se esquematiza el caudal actual asociado a la probabilidad de excedencia 50%, comprendido como la condición media "actual" (Fuente: Centro de Ecología Aplicada, 2024).



este enfoque usando rutinas de código Python para procesar la caracterización fluvial realizada, permitiendo la evaluación del hábitat en cada tramo analizado. A diferencia del modelo PHABSIM, que evalúa múltiples variables incluyendo el sustrato del río, el enfoque adaptado simplifica el análisis tratando cada sección del río como una única celda y no incluyó una evaluación detallada del lecho del río, aunque reconoce su importancia en etapas críticas como el desove de peces.

Para mayor detalle sobre la metodología para la caracterización de hábitat, revisar el apartado 4.3.3 del Anexo 3.

D) DETERMINACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL EN TRAMOS DE RÍO:

En el análisis de hábitat utilizando la metodología IFIM, se evaluó la relación entre el área de hábitat utilizable ponderada (WUA*) y el caudal (Q) para determinar el caudal óptimo que maximiza el WUA*. Si no se identifica un máximo claro, se selecciona un caudal óptimo local o un punto de inflexión adecuado. Los resultados de WUA* se normalizaron por sección para facilitar una evaluación integral del sistema, comparando además el caudal óptimo con las variaciones estacionales, utilizando el caudal mensual con un 85% de probabilidad de excedencia como referencia, para asegurar su viabilidad durante todo el año. El caudal mínimo necesario se estableció para mantener la habitabilidad de las especies, integrando todos los requerimientos ecológicos y sociales del caudal ambiental.

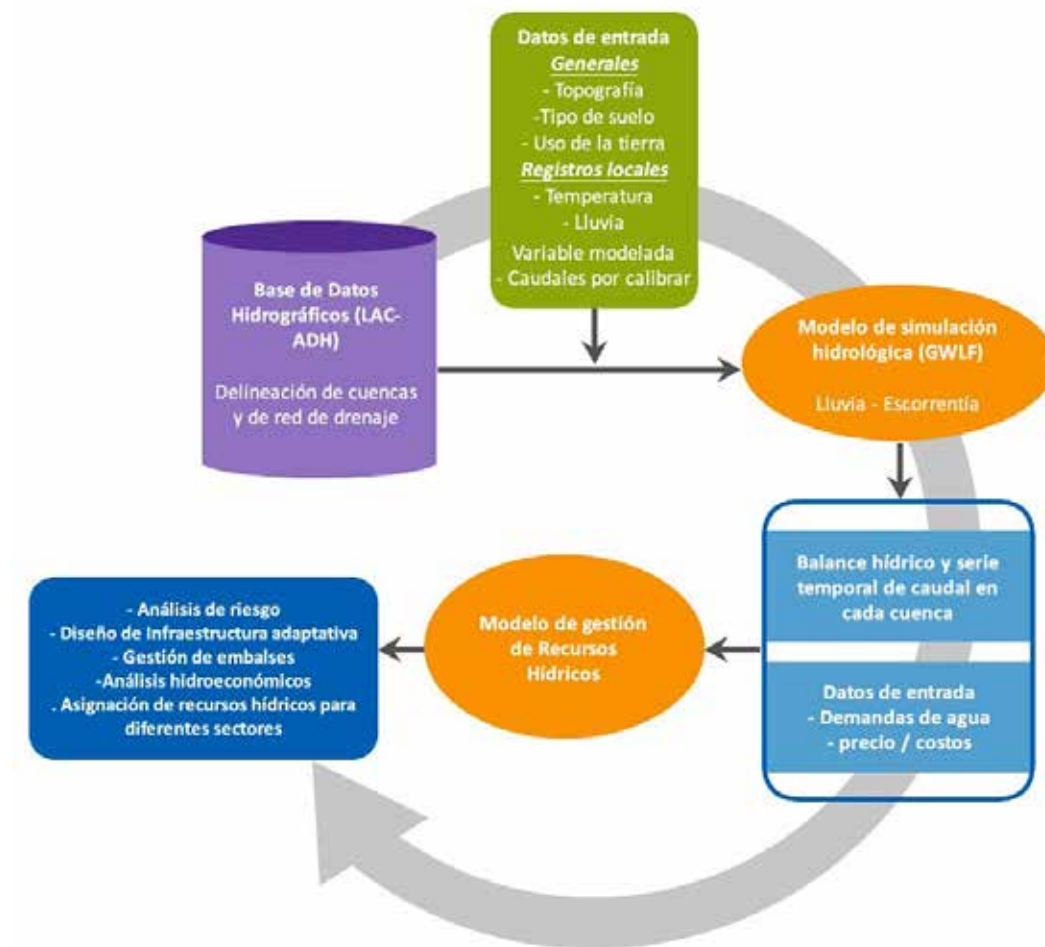
Modelación hidrológica

La modelación hidrológica se realizó utilizando el modelo Hydro-BID, desarrollado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), utilizando para realizar balances hídricos en las cuencas, denominadas "COMID", identificador único para cada cuenca en América Latina y el Caribe según la base de datos LAC-AHD. Este modelo de precipitación-escorrentía maneja datos de entrada como la precipitación y temperatura y considera flujos como la escorrentía superficial y subterránea, evapotranspiración, y extracciones de agua (Figura 19). Hydro-BID está basado en el "modelo estándar Factor de Carga de Cauces Generalizados" (GWLF) y la metodología de tiempo de retardo-enrutamiento, Hydro-BID puede simular los impactos del cambio climático en los recursos hídricos a diversas escalas, desde una cuenca individual hasta una cuenca entera. Además, permite un análisis detallado por el uso de la tierra y las condiciones del suelo dentro de cada cuenca. Los resultados del modelo se presentan en series temporales diarias o mensuales, facilitando la interpretación mediante una interfaz gráfica y tabular. La información necesaria para el modelo proviene principalmente de datos locales de temperatura y precipitación, especificados en una escala diaria por el producto grillado CR2MET v2.0, lo que permite estimar la escorrentía superficial en cada uno de los cauces considerados en los COMIDs.

El esquema de la Figura 19 muestra las partes principales que componen al modelo Hydro-BID y de cómo ellas se interrelacionan en la resolución de las simulaciones.

Figura 19. Componentes y relaciones existentes entre las distintas partes y procesos de la modelación en Hydro-BID.

Fuente: Centro de Ecología Aplicada, 2024.



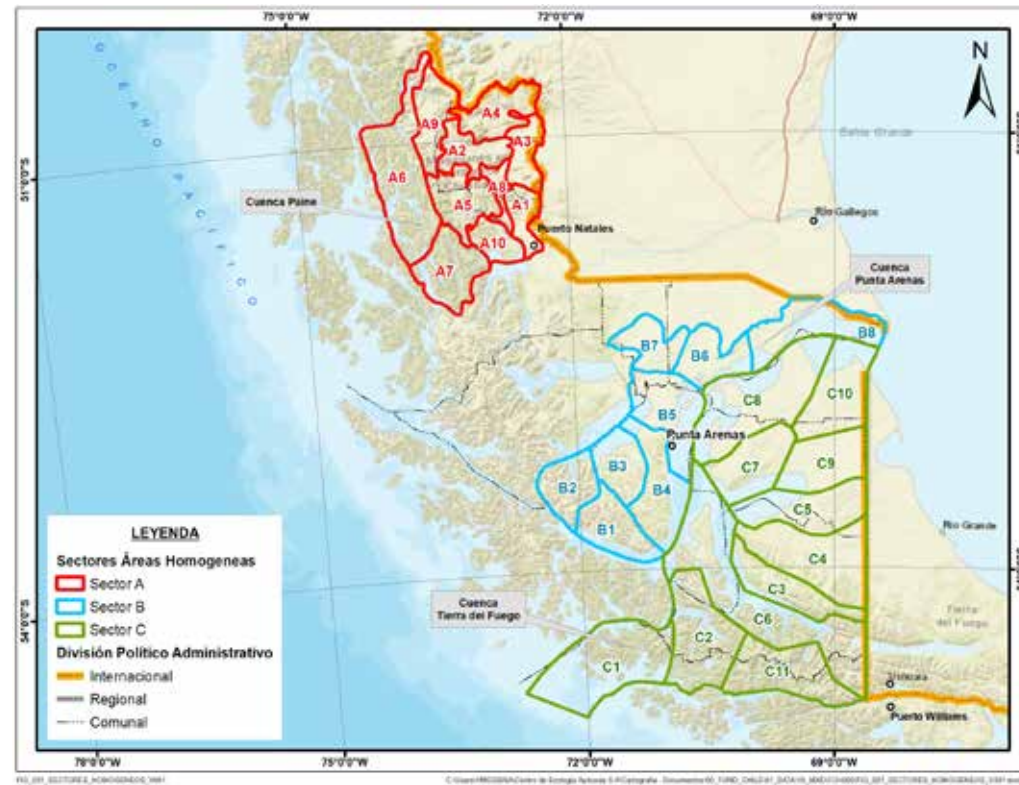
E) ESTIMACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL:

La oferta superficial en la modelación incluyó los caudales superficiales y la incorporación del aporte del derretimiento de glaciares. Como se mencionó anteriormente, debido a que no se cuenta con información fluviométrica en todo el territorio, los resultados obtenidos se clasificaron en

tres categorías, dependiendo de dónde se obtenga la información base. La *primera categoría* se basó en datos observados de caudal y pueden ser calibrados y validados mediante estaciones fluviométricas especificadas. La *segunda categoría* incluyó cuencas sin datos fluviométricos, pero se encuentran dentro del mismo sector homogéneo, según la similitud hidrológica

basada en las formaciones vegetacionales (revisar sección e.1). La *tercera categoría* abarcó cuencas sin datos fluviométricos ni similitudes hidrológicas directas, utilizando datos de otro sector similar en cuanto a coberturas para calibración. Además, se utilizó un criterio de la Dirección General de Aguas para establecer un valor de referencia para los caudales, que es el caudal con una probabilidad de excedencia del 85% menos el caudal ecológico.

Figura 20. Sectores homogéneos según similitud hidrológica basada en las formaciones vegetacionales. Los sectores corresponden a los prefijos junto con el número que diferencia cada uno de ellos. De este modo se crean los sectores con prefijo A para referirse a la cuenca 1 (Costeras entre Seno Andrew y R. Holleberg e islas al oriente), B para referirse a la cuenca 2 (Costeras entre Lag. Blanca (inc.), Seno Otway, Canal Jerónimo y Magallanes) y C para referirse a la cuenca 3 (Tierra del Fuego).



Fuente: Centro de Ecología Aplicada, 2024. Estudio elaborado para EH2030

Similitud hidrológica basada en las formaciones vegetacionales: Debido a la falta de datos de caudal observado en gran parte del área de estudio, se realizó una sectorización de esta, a partir de la actualización del 2019 del estudio de coberturas de uso de suelo de Luebert y Pliscoff (2017), donde se agruparon las zonas con proporciones similares de “estepas y pastizales” y “bosques”, que son los

principales tipos de suelo que condicionan la escorrentía superficial de las cuencas. Dentro de la categoría bosques, consideraron tanto bosques caducifolios como bosques siempreverdes.

Para poder llevar a cabo la metodología descrita, se estimó por sector, el porcentaje de cobertura de bosques (caducifolio y siempreverdes) y de Estepas y Pastizales, de manera tal que con ellos se pudo extrapolar los resultados del modelo. Por ejemplo, el sector C9 tiene una cuenca pequeña con información fluviométrica en el sur (Figura 20) lo que dará resultados de primera categoría en esa cuenca. Sin embargo, gran parte del mismo sector C9 no cuenta con información; por lo tanto, los parámetros calibrados en la cuenca con información se adoptarán para el análisis de las cuencas sin información del sector C9, entregando resultados de segunda categoría por haber sido validadas con una cuenca diferente, pero del mismo sector.

Para mayor detalle sobre esta metodología, revisar apartado 4.4.1.1 en el Anexo 3.

Aporte glacial: El estudio aborda el aporte glacial en los caudales de cuencas con presencia de glaciares, utilizando datos del balance hídrico nacional (DGA, 2022). Este incluye modelaciones diarias de caudal glacial para el período histórico 1981-2020 y proyecciones hasta 2060, basadas en cuatro simulaciones climáticas globales: CCSM4, CSIRO, IPSL y MIROC. Los glaciares se agruparon geográficamente en cada nodo de calibración, estimando el caudal medio anual y una tasa de disminución anual basada en la variación porcentual entre caudales consecutivos. Esta tasa permitió calcular la reducción mensual del aporte glacial para el período 2020-2050.

F) ESTIMACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA SUBTERRÁNEA:

En algunas cuencas del territorio nacional, las demandas de agua son parcialmente cubiertas por la extracción de aguas subterráneas mediante bombeo. Dada la complejidad para cuantificar la disponibilidad de este recurso, se utilizó la metodología de Waterways (2022), que analiza la capacidad de uso del agua subterránea basándose en la relación entre los volúmenes extraídos actualmente y los niveles de recarga de los acuíferos. Esta metodología propone que el máximo volumen aprovechable de los acuíferos sea el 35% de su recarga por infiltración, con el objetivo de mantener la sostenibilidad de los sistemas acuíferos en la Región de Magallanes. (Revisar apartado 4.4.1 de Anexo 3)

G) ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA Y REGLAS DE OPERACIÓN HISTÓRICAS:

Para la estimación de la demanda existente en cada una de las cuencas, se procesó las demandas considerando la división territorial de los datos recopilados, distribuyéndolas territorialmente según la proporción de áreas los respectivos usos de suelo, pasando de nivel recopilado (por ejemplo, comunal) al nivel de las subcuencas definidas por las estaciones fluviométricas.

Para estimar la demanda hídrica en las cuencas de Chile, se utilizó la información de la huella hídrica azul (Jaramillo & Acevedo, 2017), que proporciona datos de demanda a nivel comunal y anual. Para el sector forestal, que no tiene huella hídrica azul, se consideró la huella verde, reflejada en la evapotranspiración de las coberturas de suelo, sin tratar al sector como demandante directo en la simulación. Para los sectores pecuarios, agrícolas y doméstico/industrial,

se ajustó la demanda mediante un factor de corrección basado en el uso del suelo, aplicándolo a nivel de subcuenca. Para los sectores de energía y minería, se distribuyó la demanda proporcionalmente según el área de cada subcuenca relacionada con su comuna, especificando así la demanda de estos sectores por subcuenca.

Para revisar la distribución sectorial de demanda según los distintos sectores productivos y mayor detalle en el procesamiento de datos, revisar el apartado 4.4.3 del Anexo 3.

H) PROYECCIÓN FUTURA:

Se consideró analizar el ensamble de cuatro modelos climáticos globales (GCMs) regionalizados con el método multivariado de corrección de sesgo (Multivariate bias correction, MBCn) sobre el producto observacional CR2MET, que contempla el escenario de forzamiento radiativo RCP8.5. La aplicación de la técnica de escalamiento estadístico QDM conservó los cambios originales de los modelos, tanto en medias como en cuantiles, corrigiendo al mismo tiempo los sesgos en la distribución de frecuencia de la variable simulada respecto a la referencia (CR2MET). El ensamble corresponde al promedio de los GCM: CSIRO-MK3-6-0 (CSIRO), CCSM4, MIROC-ESM (MIROC) e IPSL-CM5A-LR (IPSL).

Cálculo del Índice de Seguridad Hídrica

El Índice de Seguridad Hídrica (ISH) corresponde a un balance de caudales entre la oferta hídrica (metodología descrita en apartado E y F) menos la demanda potencial (apartado G) identificada en una cuenca particular; además, incorpora la componente ecológica del caudal ambiental (Q_{amb_eco}), que corresponde a un uso no consuntivo para la mantención del ecosistema hacia aguas abajo, que para efectos prácticos es considerada como una restricción a la oferta.

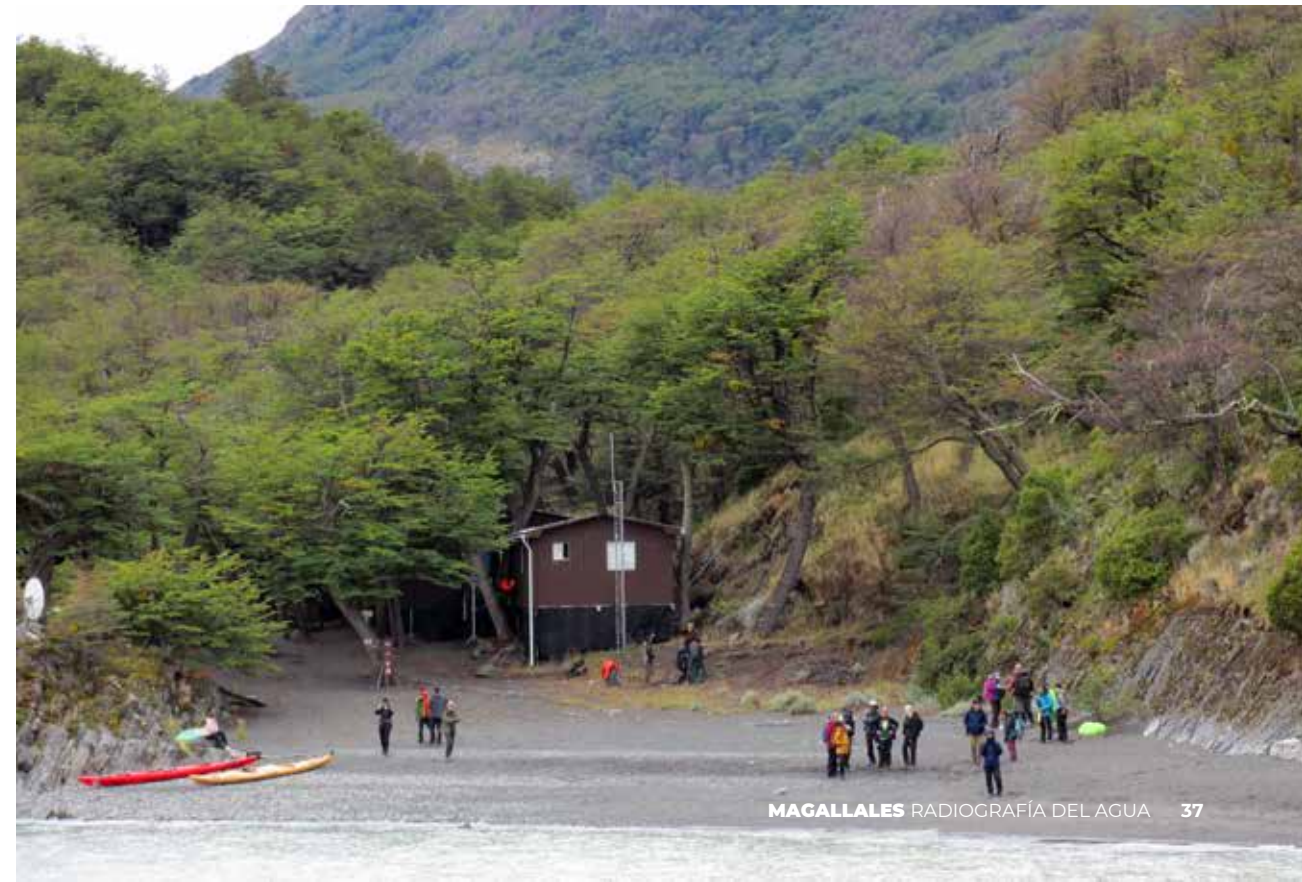
$$ISH = (Oferta\ hídrica - Q_{amb_eco}) - Demanda\ Potencial$$

A continuación, se presenta una clasificación del Índice de Seguridad Hídrica (ISH) basada en la comparación entre la oferta y la demanda hídrica en puntos específicos de una cuenca de estudio (Tabla 14). Un valor negativo del ISH indica que la oferta hídrica no es suficiente para cubrir todas las demandas identificadas en la cuenca, incluyendo la componente ecológica del caudal ambiental hacia aguas abajo. Por el contrario, un valor de ISH mayor o igual a cero muestra que la oferta puede satisfacer completamente las demandas aguas arriba y la componente ecológica del caudal ambiental hacia aguas abajo. Si la oferta además cubre las demandas aguas abajo hasta el siguiente punto de evaluación, se considera que existen excedentes de agua disponibles para nuevos usos.

Tabla 14. Clasificación del Índice de Seguridad Hídrica, conocido internacionalmente como Índice de escasez hídrica.

Índice de Seguridad Hídrica	Comparación Oferta y Demandas	Color y clasificación
ISH < 0	Oferta < Q_{amb_eco}	Crítica
	Oferta < Demandas arriba + Q_{amb_eco}	Insuficiente
	Oferta $\geq Q_{amb_eco}$	
ISH \geq 0	Oferta $\geq Q_{amb_eco}$ + Demandas arriba	Suficiente
	Oferta $\geq Q_{amb_eco}$ + Demandas aguas arriba + Demandas aguas abajo	Excedente

Fuente: Rivera et al., 2004. Basado en OMM, 1997. Utilizado en la Radiografía del Agua, 2018





3.1. DETERMINACIÓN DE LA RECARGA

La aplicación del **Modelo WetSpass** para los años 1995 y 2019, permitió conocer los impactos que los cambios en el uso del suelo provocaron en la recarga. Las simulaciones se llevaron a cabo teniendo en cuenta toda la información previamente utilizada para la calibración del modelo, con la excepción del mapa de uso del suelo.

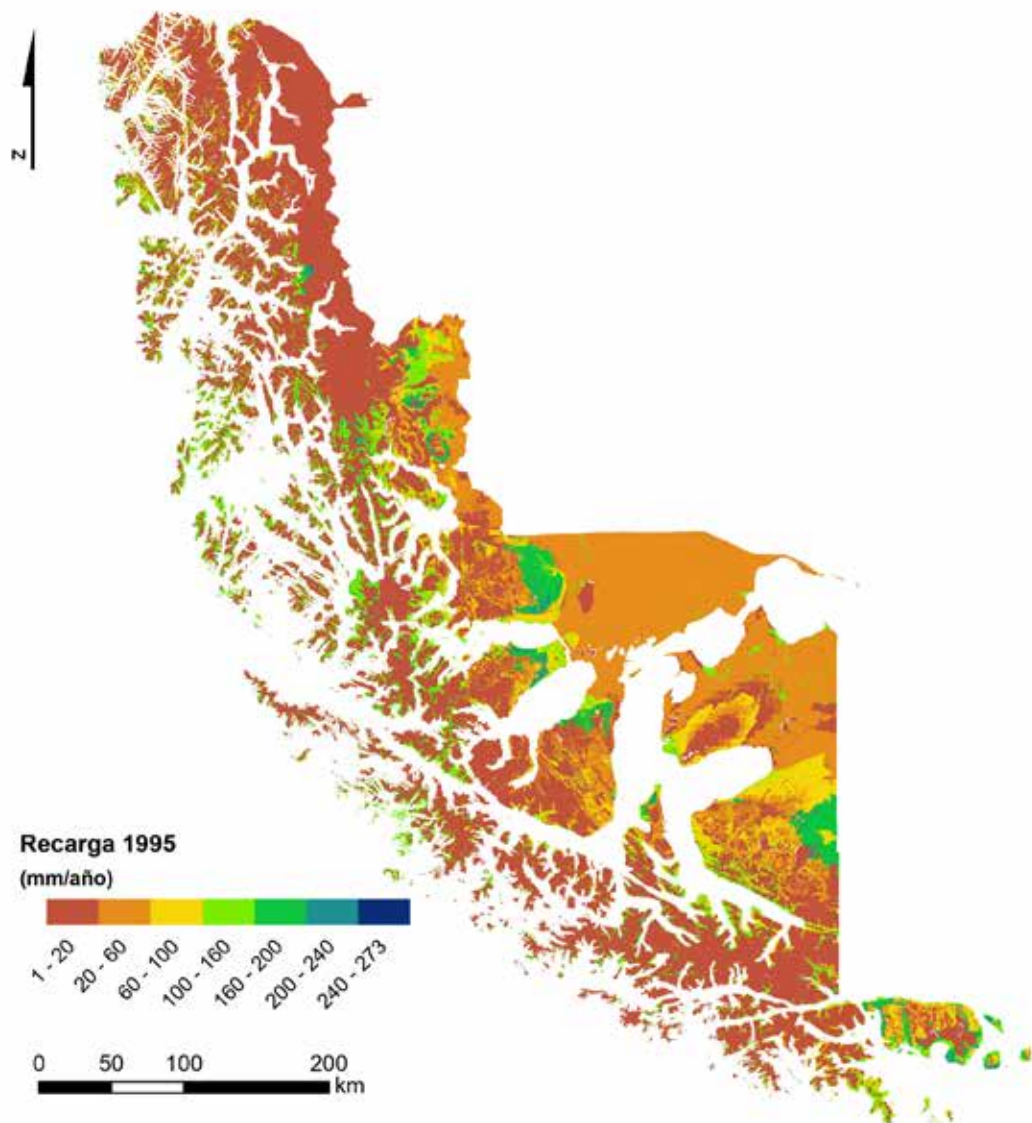
En la Figura 3, se muestra la recarga calculada a partir del uso del suelo en 1995. Como se observa en los resultados obtenidos durante el proceso de calibración del modelo, **las áreas con mayor recarga se encuentran asociadas a áreas de bosques caducifolios, coníferos y matorrales, mientras que las principales zonas donde no se produce recarga están relacionadas con los mayores pendientes y zonas urbanas e industriales.**

En el área metropolitana de Porvenir y Punta Arenas se observa una pequeña zona donde la recarga es bastante baja, debido a la impermeabilización de los suelos en las áreas metropolitanas. Las zonas del sur y norte tienen valores de recarga bajos, ya que la pendiente es bastante alta, además de la presencia de nieve en la zona (cordillera de los Andes). Esto último se debe a que WetSpass no modela estas áreas con cobertura nival, ya que no es capaz de modelar suelos de “permafrost”, modelando solo el deshielo y la infiltración de agua.

La simulación con el uso del suelo de 2019 (Figura 4) mostró que los valores no

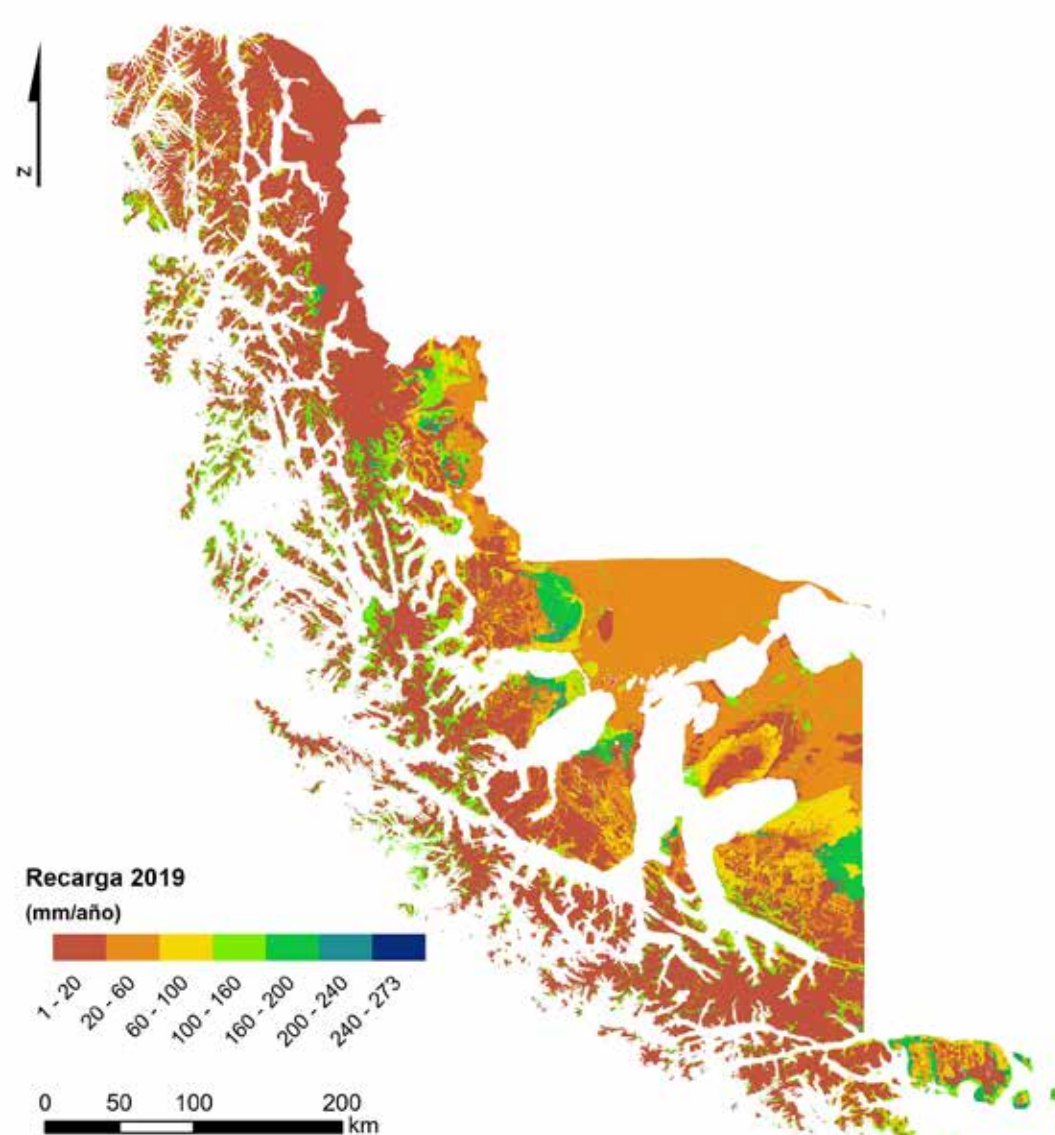
3 | RESULTADOS

Figura 3 – Distribución de la recarga promedio anual en el año 1995.



Fuente: Waterways, 2024. Estudio elaborado para EH2030

Figura 4 – Distribución de la recarga promedio anual en el año 2019.



Fuente: Waterways, 2024. Estudio elaborado para EH2030

cambian significativamente, con excepción de algunas áreas convertidas a terrenos agrícolas durante el periodo analizado (1995 a 2019), variación del uso del suelo que provoca una alteración en la distribución de la recarga, principalmente en Punta Arenas y Continental Norte.

En anexo 1, se presentan los mapas de recarga con resolución de 30 x 30 metros de pixel en toda la región.

3.2 ZONAS DE ALTA RECARGA

Con el objetivo de identificar las zonas preferenciales de recarga, se realizó una reclasificación de los valores de recarga para representarlos por cuartiles. En base a los límites del primer, segundo y tercer cuartil (Q1, Q2 y Q3 respectivamente) y el valor máximo, se definieron cuatro rangos de valores, donde las celdas que presentan valores entre el tercer cuartil y el máximo, son áreas de especial interés para la gestión de la recarga de los acuíferos de la cuenca.

Tabla 1 - Estadísticas de la distribución espacial de la recarga.

Clase de recarga	Área (km²)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Recarga Promedio (mm)	Volumen total (hm³)	Contribución para la recarga total
< Q1	11949	1	45	11	128.81	12%
Q1 < Q2	13194	45	64	19	248.96	22%
Q2 < Q3	11461	64	112	27	304.39	27%
Q3 < Max.	12086	112	272	36	435.10	39%

Fuente: Waterways, 2024.

Estos valores se basan en los resultados del uso del suelo de 2019 para toda la Región de Magallanes, y no consideran el área con recarga cero o próximo a cero (Figura 5). En la Tabla 1 se muestran las estadísticas de

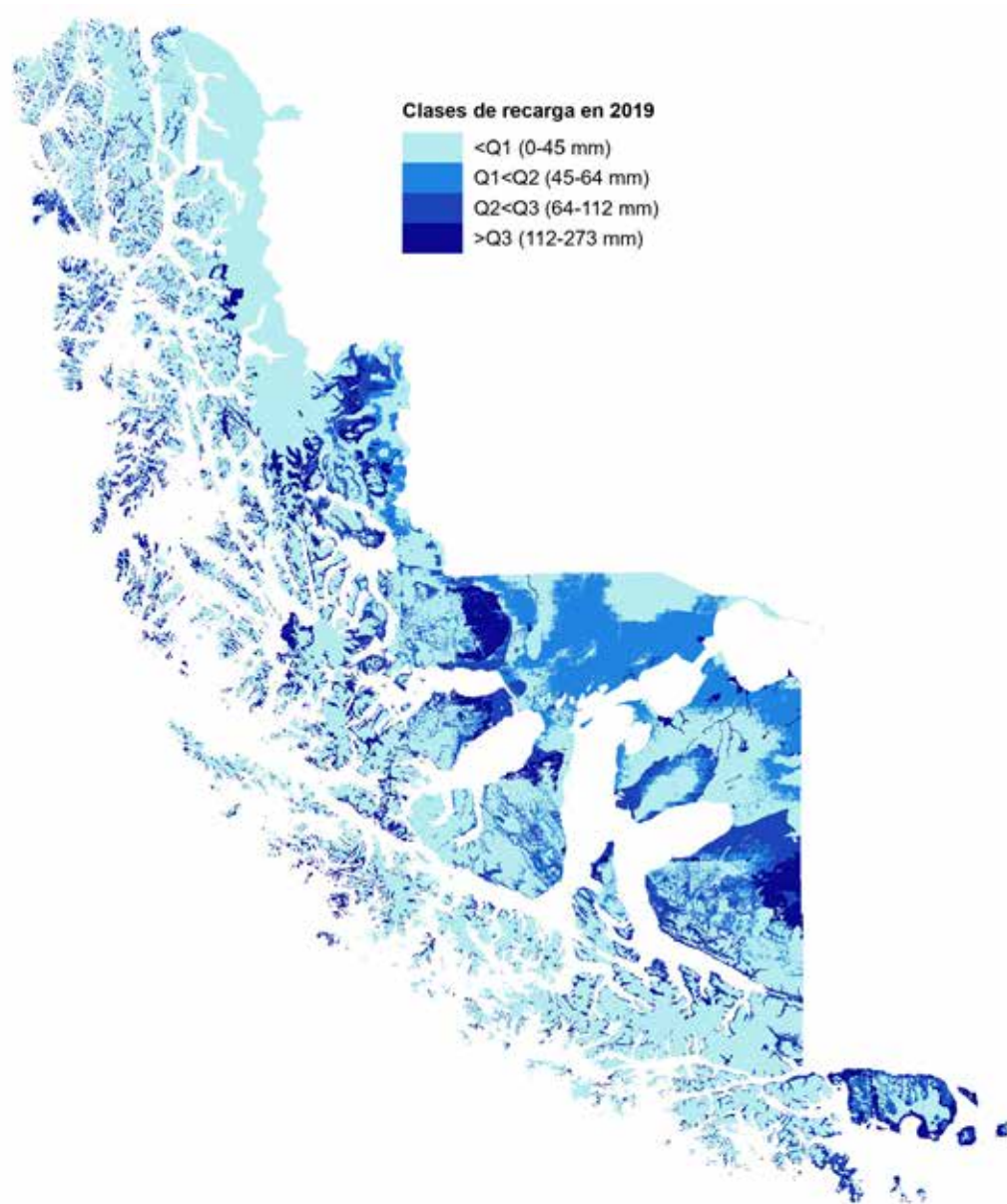
estos rangos, así como su importancia para la recarga total en la región. Se verifica que la clase Q3<Max., contribuye con un 39% de la recarga total, mientras ocupa solamente el 25% de la superficie de la cuenca.

En la Figura 5, se puede comprobar que las áreas de recarga preferenciales (> Q3 = 112-273 mm) se sitúan en el área central y suroeste de la cuenca, coincidiendo con el área de pendientes más bajas, y con tipos de uso del suelo específicos como matorrales y bosques. Sin embargo, debido a la importancia del recurso para la zona y a la escasez de agua presente en gran parte de la región, también se deben tener en cuenta la importancia de las áreas de recarga asociadas a la clase Q2<Q3 (64-112 mm).

Los altos valores de recarga observados en la zona andina se deben a la alta precipitación y baja evapotranspiración de la zona. Sin embargo, la contribución de las precipitaciones a la recarga es menor en esta zona que en las zonas central y suroeste, ya que el porcentaje de precipitación que se infiltra en el suelo es mucho menor en las zonas inclinadas y con suelos poco desarrollados. En la Figura 6, se presentan las frecuencias de clase de la recarga más altas en 2019 y marco con las comunas.

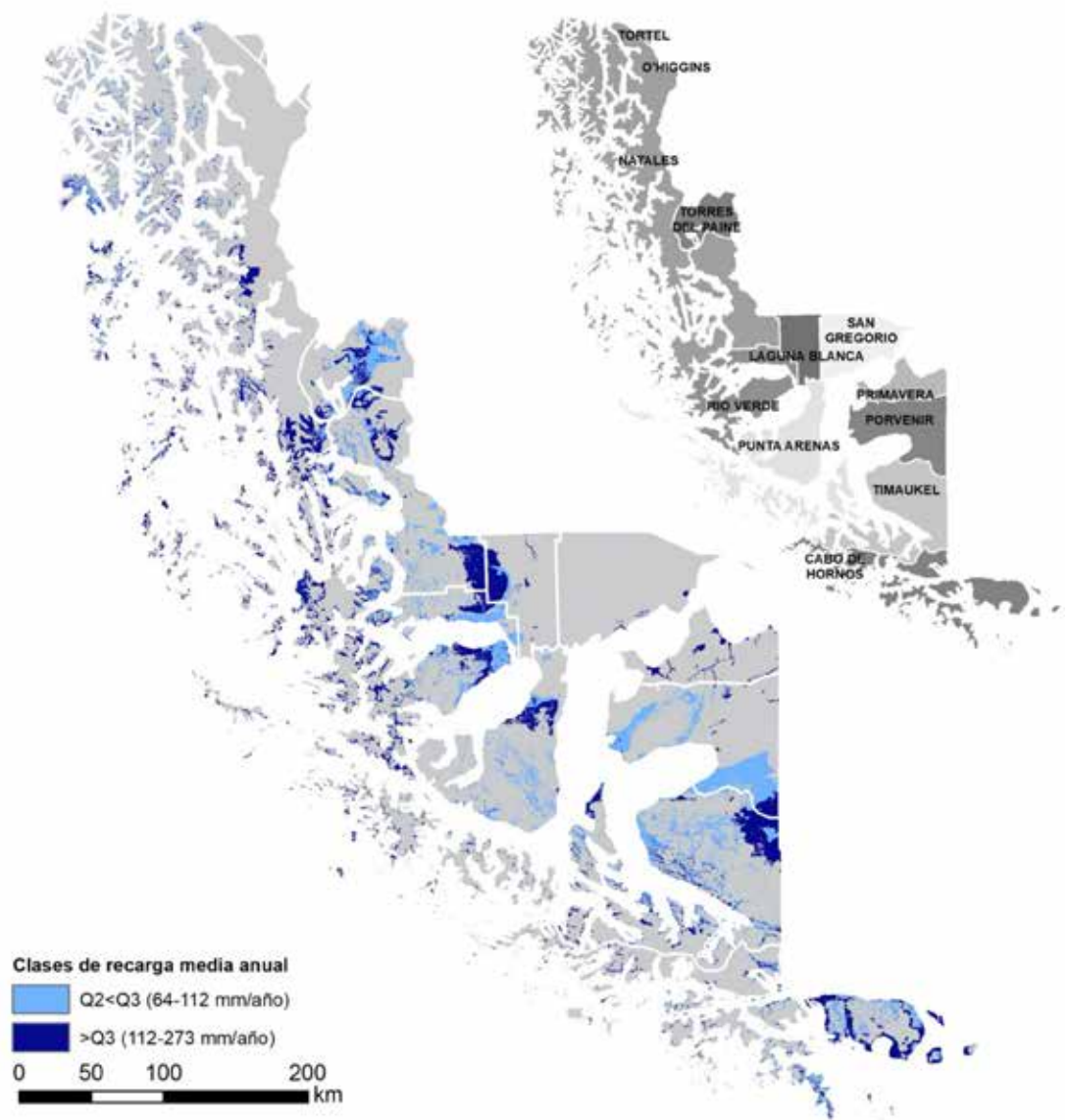
En la actualidad, el 66% del total de la recarga es aportada por las zonas de mayor recarga (64-273mm/año) en la región.

Figura 5. Clasificación de valores de recarga según cuartiles para el año 2019, en donde se identifican las zonas preferenciales de recarga



Fuente: Waterways, 2024. Estudio elaborado para EH2030

Figura 6. Zonas preferenciales de recarga para el año 2019 y comunas asociadas



Fuente: Waterways, 2024. Estudio elaborado para EH2030

3.3. APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD DE CONTAMINACIÓN

En la Figura 7 y 8 se presentan los resultados de la aplicación del ISH a la Región de Magallanes, respecto al cambio de uso del suelo de 1995 y 2019, respectivamente. Se puede comprobar que el riesgo de contaminación en el área de estudio se divide en dos zonas: una con riesgo mayor (pero no significativo) en el área central y otra con riesgo menor hacia el este y norte de la región.

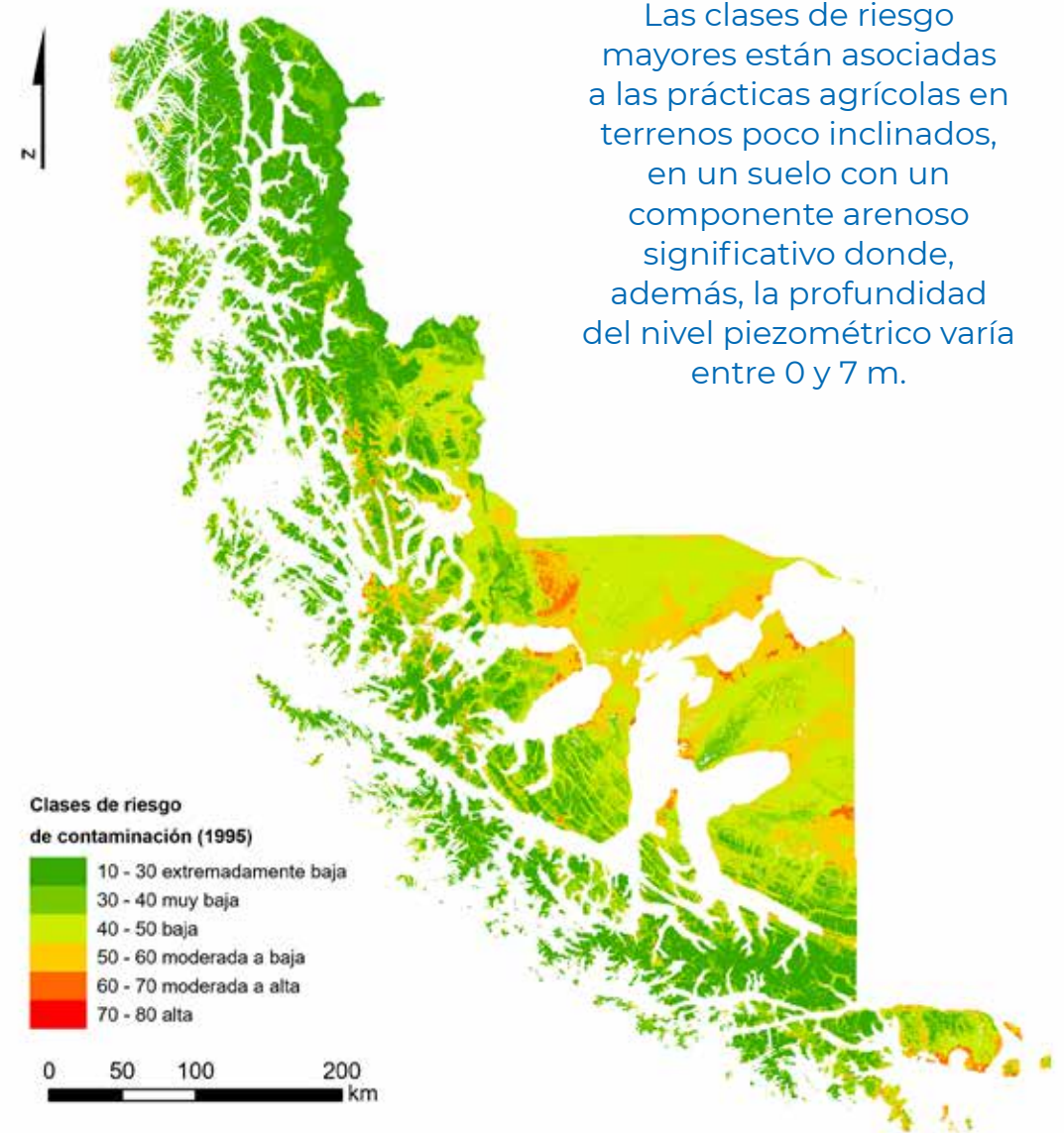
Las clases de riesgo mayores están asociadas a las prácticas agrícolas en terrenos poco inclinados, en un suelo con un componente arenoso significativo donde, además, la profundidad del nivel piezométrico varía entre 0 y 7 m, mientras que las zonas urbanas presentan un riesgo “moderado a alto” debido a la proximidad de los niveles de agua a la superficie.

Se puede concluir, de manera general, que el riesgo de contaminación en la región es similar entre los años 1995 y 2019, observándose un incremento local del riesgo en las nuevas zonas agrícolas o industriales, para la cuenca Costeras e Islas entre R Hollemberg, Golfo Alte en la cuenca Puerto Natales. Laguna Blanca (cod. 124), y Costeras entre Laguna Blanca (inc), Seno Otway, canal Jerónimo y Magallanes (cod. 125), respectivamente en la cuenca Punta Arenas.

Este aumento del riesgo tiene un origen directo, relacionado con las prácticas contaminantes del uso del suelo, pero también indirecto, relacionado con el impacto del uso del suelo en la recarga.

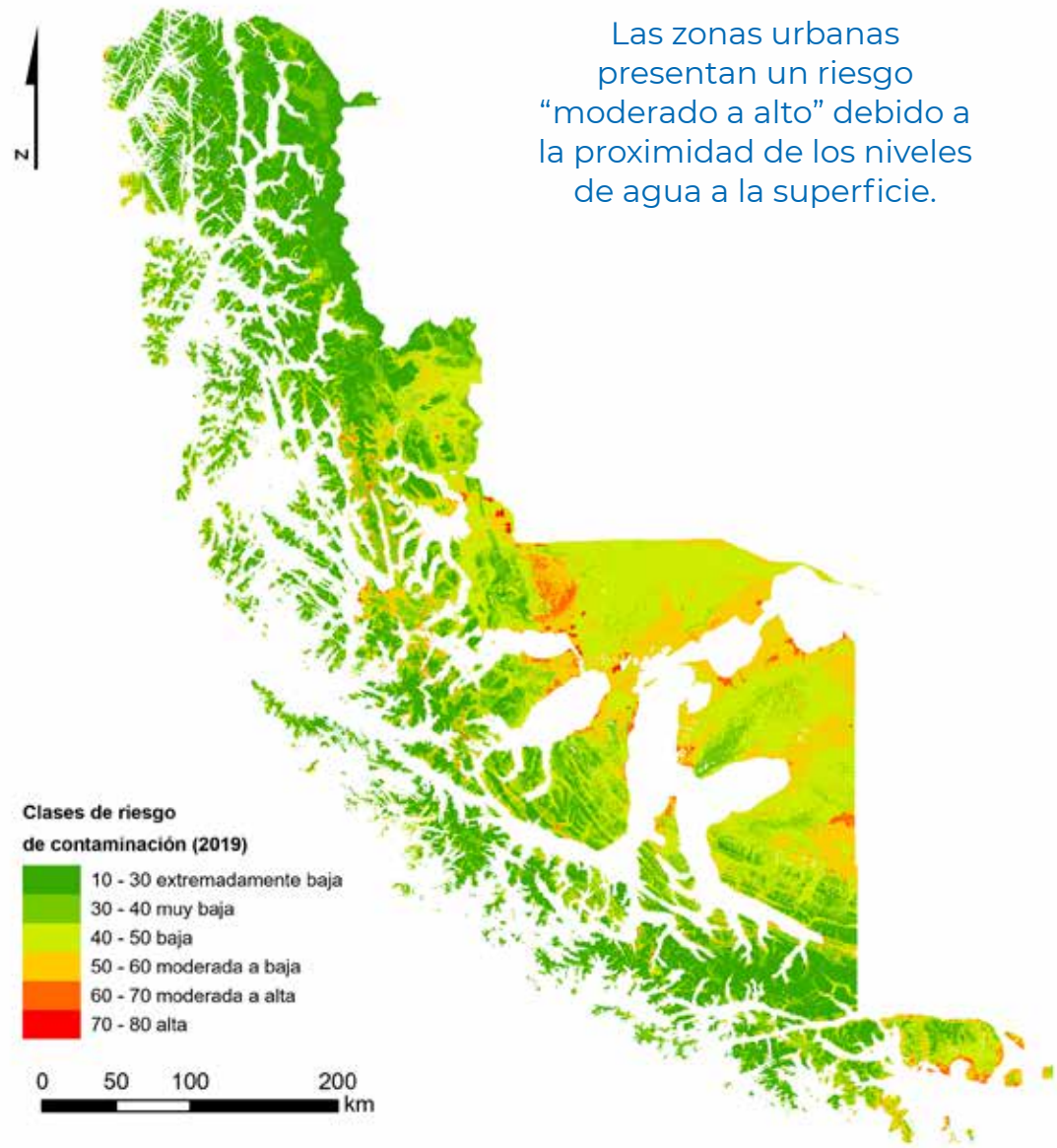
En la Figura 9 y 10 se muestra la variación del área para las clases de frecuencia asociado a la evolución del riesgo de contaminación entre estos años. Se observa que cerca del 0.02% del área presenta una disminución del riesgo de contaminación, mientras que un 0.24% presenta un riesgo mayor en 2019. La ausencia de alteración del riesgo es la clase más representativa (cerca del 99.74% del área), dato que indica que los cambios en la región estudiada son muy reducidos. **Se puede concluir que los cambios observados indican un incremento relativo del riesgo muy poco significativo a escala de toda la Región de Magallanes, pero a nivel de las cuencas del área de Tierra del Fuego, podrán tener algún impacto localizado.**

Figura 7 – Mapa de riesgo de contaminación para el año 1995.



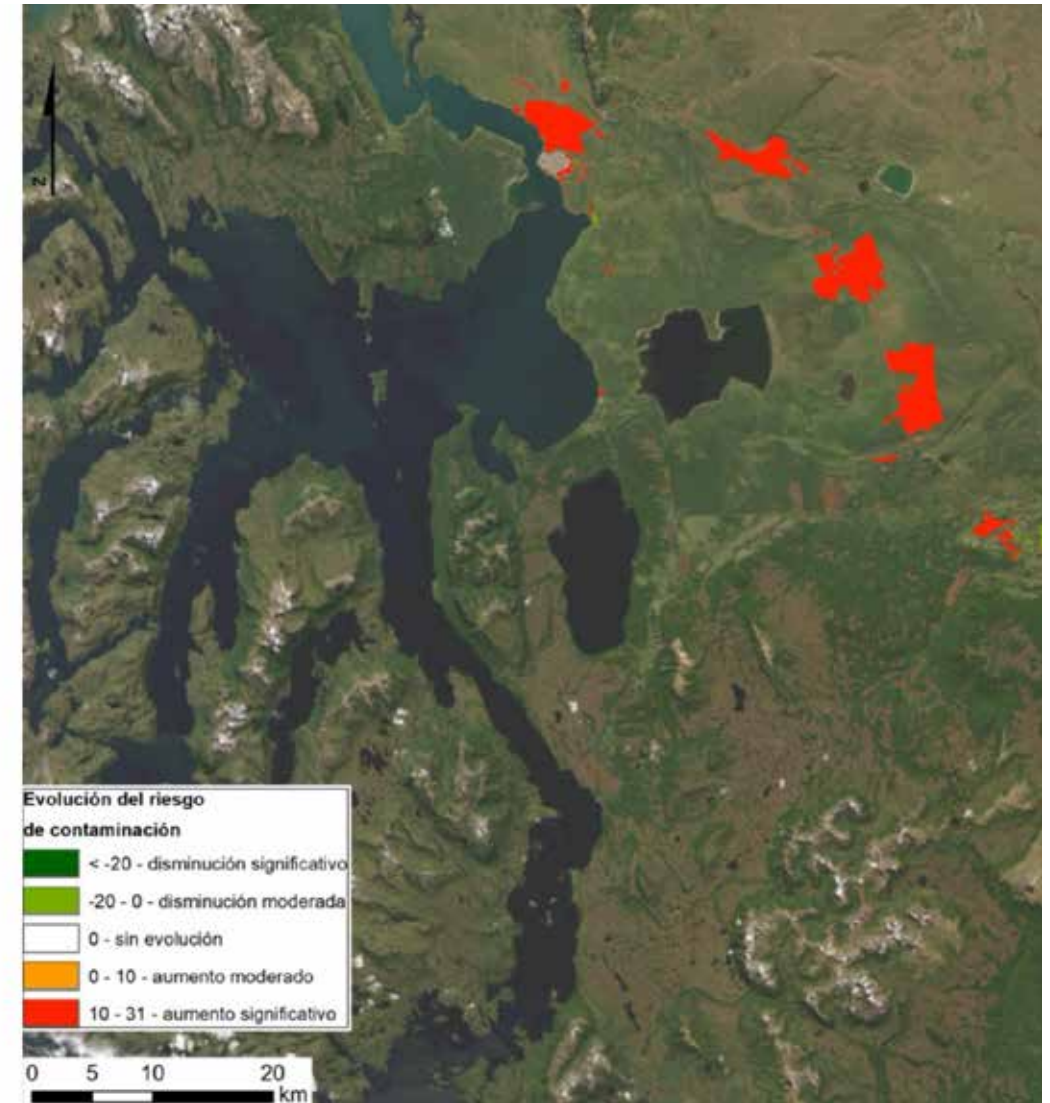
Fuente: Waterways,2024. Estudio elaborado para EH2030

Figura 8 – Mapa de riesgo de contaminación para el año 2019.



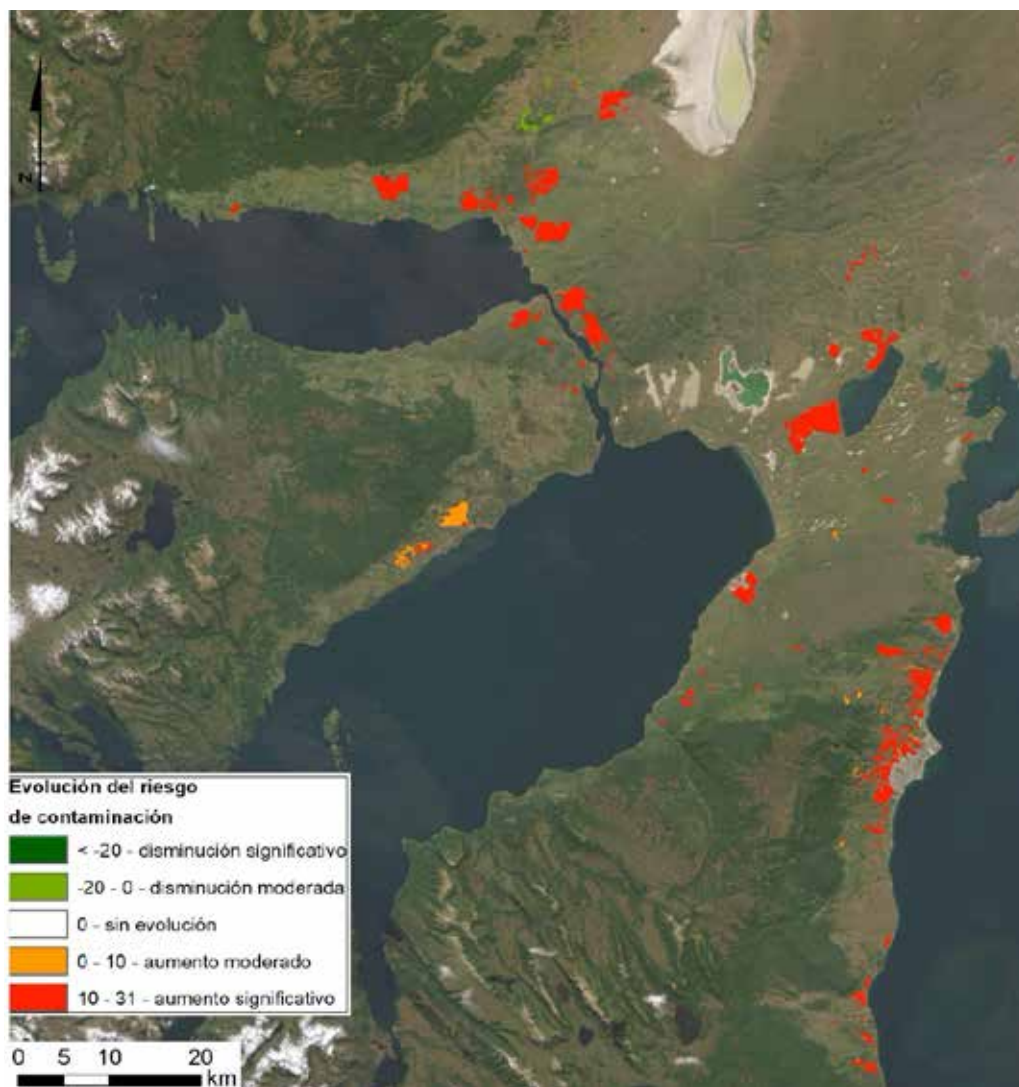
Fuente: Waterways, 2024. Estudio elaborado para EH2030

Figura 9 - Cambios en el riesgo de contaminación entre 1995 y 2019, en la cuenca Costeras e Islas entre R Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca (cod. 124) Puerto Natales.



Fuente: Waterways, 2024. Estudio elaborado para EH2030.

Figura 10 - Cambios en el riesgo de contaminación entre 1995 y 2019, en la cuenca Costeras entre Lag. Blanca (inc), Seno Otway, canal Jerónimo y Magallanes (cod. 125) Punta Arenas.



Fuente: Waterways, 2024.

3.4. ECOSISTEMAS DE LA REGIÓN DE MAGALLANES

En la Región de Magallanes, **se identifican seis tipos de ecosistemas, siendo el Bosque Siempreverde** el tipo de ecosistema con mayor superficie en la región. Este se distribuye principalmente en la zona costera de archipiélagos, junto a las **Turberas**, que es el segundo ecosistema con mayor cobertura. El tercer ecosistema más dominante son las **Estepas y Pastizales**, que corresponde a la vegetación característica del sector oriental de la región, siendo dominante hacia la frontera con Argentina y en amplios sectores de Tierra del Fuego. Además, se presentan otros tipos de ecosistemas con menor cobertura como el **Bosque Caducifolio**, que se distribuye en las zonas interiores, y el **Matorral Caducifolio**, asociado a condiciones ambientales más extremas en los bordes de los cuerpos de hielo y glaciares. Finalmente,

en las zonas de mayor altitud, el ecosistema de **Herbazal de Altitud** señala el límite de la vegetación en la región (Figura 11).

Cambios por ecosistema

Los resultados del cambio por ecosistema para los dos periodos analizados (periodo histórico 1995 - periodo más reciente 2019), se presentaron en la Tabla 4 y 5. **Se puede observar que las mayores pérdidas históricas se presentan en los ecosistemas de Estepas y Pastizales, con más de 20 mil hectáreas reemplazadas por usos de suelo antrópicos.** Al observar la pérdida reciente, se mantiene el mayor cambio en los ecosistemas de Estepas y Pastizales, seguido por el Matorral Caducifolio.

Tabla 4. Pérdida histórica (1995) por ecosistema en la Región de Magallanes.

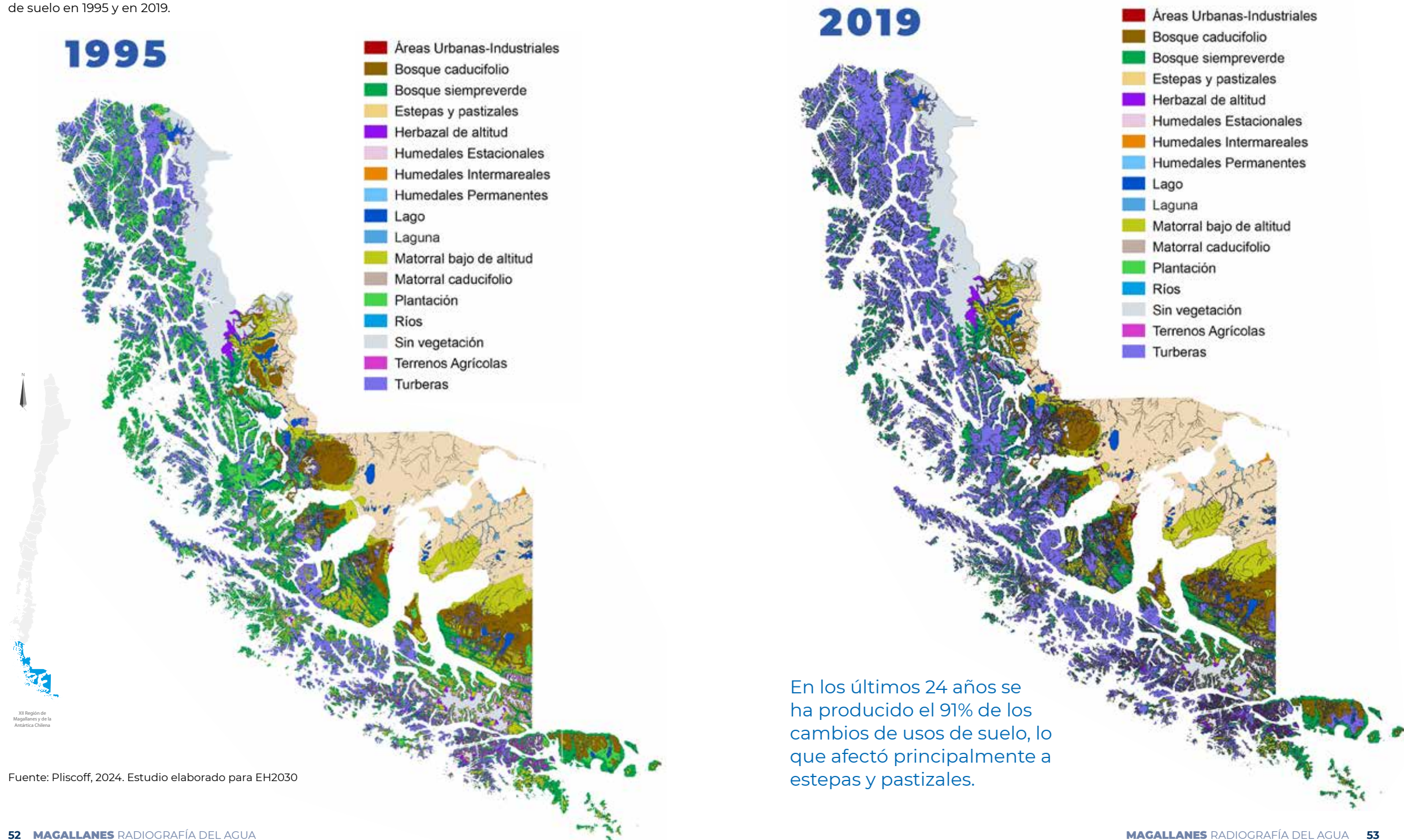
	Superficie Formación (Hectáreas)			
	Histórico	2019	Diferencia	% Pérdida
Estepas y Pastizales	2063308	2042371	-20937	1.01
Bosque Caducifolio	1057152	1056905	-247	0.02
Matorral Caducifolio	714247	708379	-5868	0.85
Bosque Siempreverde	3112551	3110635	-1886	0.06

Tabla 5. Pérdida reciente (2019) por ecosistema en la Región de Magallanes

	Superficie Formación (Hectáreas)			
	1995	2016	Diferencia	% Pérdida
Estepas y Pastizales	2061553	2042371	19182	1,01
Bosque Caducifolio	1057152	1056905	247	0,02
Matorral Caducifolio	714012	708379	5633	0,82
Bosque Siempreverde	3112551	3110635	1886	0,06

Fuente: Pliscoff, 2024. Estudio elaborado para EH2030

Figura 11. Ecosistemas presentes en Magallanes y su distribución de cobertura de uso de suelo en 1995 y en 2019.



Fuente: Pliscoff, 2024. Estudio elaborado para EH2030

Cambios de uso de suelo:

Los resultados del análisis de uso de suelo para las tres categorías analizadas (Agricultura, Plantaciones orestales y Urbano/Industrial) se pueden visualizar en la Tabla 6 para las cuencas de Magallanes. Los resultados dan cuenta de la escasa distribución de las coberturas de uso de suelo de origen antrópico, concentrándose en tres comunas (Puerto Natales, Punta Arenas y Porvenir). El uso de suelo agrícola es el que más se expandió en el último periodo de análisis, principalmente en la comuna de Puerto Natales, mientras que la cobertura

de uso de suelo urbano/industrial es el que tiene mayor superficie, la que se concentra en más de un 60% en la comuna de Punta Arenas, debido a la mancha urbana de la capital regional y a la expansión de las zonas industriales.

Análisis vegetación ripariana:

Los resultados del análisis de la vegetación ripariana son presentados en las Tablas 7 y 8 para los ecosistemas de la Región de Magallanes. En la Figura 12, se presenta la distribución espacial de la vegetación boscosa

Tabla 6. Cambios de uso de suelo en las cuencas de Magallanes para los dos periodos de tiempo analizados (1995-2019). Las superficies están calculadas en hectáreas. La superficie estable corresponde al área que se ha mantenido en el periodo, la expansión indica áreas donde se ha extendido el uso y el cambio corresponde a la pérdida por otro tipo de cobertura de suelo.

Nombre Uso de suelo	Superficie Total Región	Superficie			Porcentaje		
		estable	expansión	cambio	estable	expansión	cambio
Urbano/Industrial	11538	2348	8287	442	20,35	71,82	3,83
Forestal	272	2	261	8	0,74	95,96	2,94
Agrícola	20168	20	19882	46	0,10	98,58	0,23

Tabla 7. Superficie (hectáreas) de vegetación ripariana por ecosistema, en las comunas con mayor cambio de uso de suelo en la Región de Magallanes.

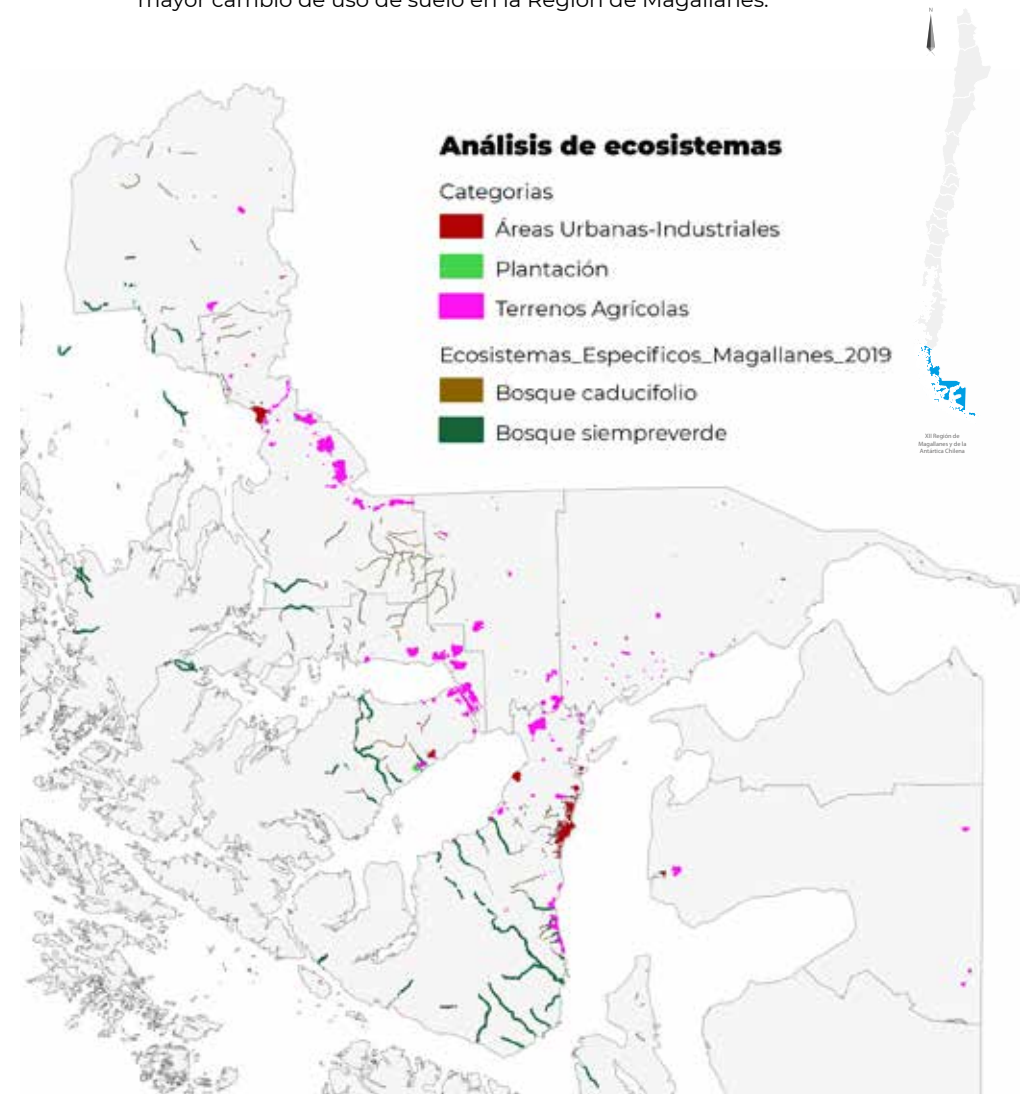
Categoría	1995	2016	Diferencia
Bosque siempreverde	12138	12100	38
Bosque caducifolio	15132	15120	12
Matorral caducifolio	20544	20494	50
Estepas y pastizales	47203	46747	456

Tabla 8. Superficie (hectáreas) de vegetación ripariana por cobertura de uso de suelo, en las comunas con mayor cambio de uso de suelo en la Región de Magallanes.

Categoría	1995	2016	Diferencia
Áreas urbanas-industriales	191	395	-204
Plantación	0	6	-6
Terrenos agrícolas	0	356	-356

Fuente: Pliscoff, 2024. Estudio elaborado para EH2030

Figura 12. Ecosistemas boscosos con vegetación ripariana en las comunas con mayor cambio de uso de suelo en la Región de Magallanes.



Fuente: Pliscoff, 2024. Estudio elaborado para EH2030

ripariana para el periodo de tiempo de análisis más reciente (2019), a partir del buffer de 200 metros definido en los ríos y esteros presentes en las comunas con mayor cambio de uso de suelo: Puerto Natales, Río Verde,

Laguna Blanca y Punta Arenas. Los resultados indican una disminución mínima de superficie de la vegetación ripariana dentro de ecosistemas boscosos en ambas cuencas. En la Tabla 7, se presenta el análisis para los

ecosistemas con mayor cambio de uso de suelo, donde se puede observar que un total de 556 han sido reemplazadas en los últimos 24 años. Esto corresponde a un cambio pequeño en superficie, especialmente para los ecosistemas dominados por Bosques y Matorral. Solamente en los ecosistemas de Estepas y Pastizales presenta 456 hectáreas de vegetación ripariana, lo que ha ocurrido preferentemente en la comuna de Punta Arenas, con la expansión urbana y agrícola.

Áreas de mayor valor ecológico:

Las áreas de mayor valor ecológico identificadas se presentan en la figura 13 para la región de Magallanes. **Las zonas con más importancia (Muy Alto) según la valoración de los criterios definidos, se distribuyen asociadas al Ecosistema de Estepas y**

Pastizales, Matorral Caducifolio, zonas de vegetación ripariana y humedales.

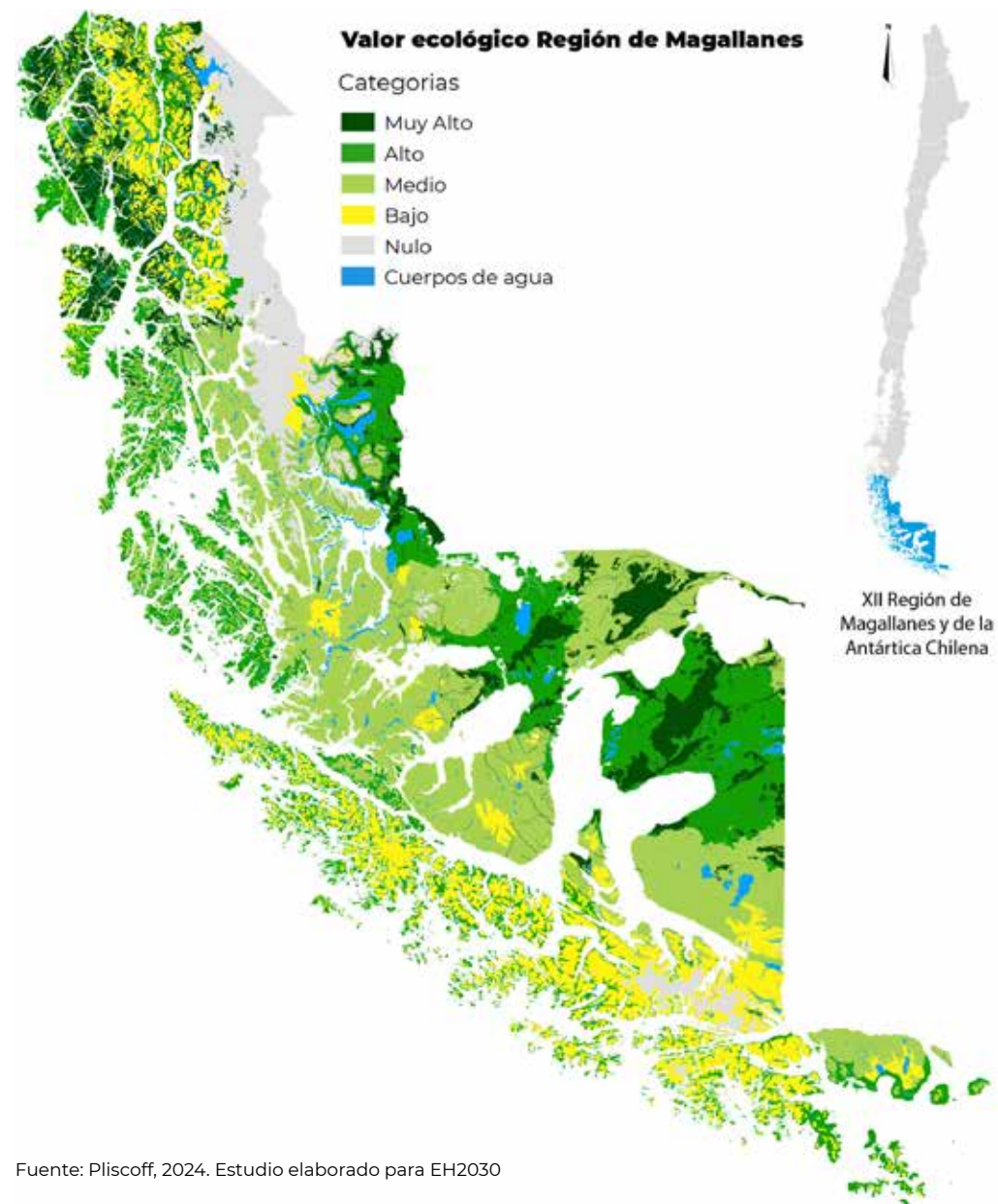
Además, hay una zona de Turberas y Bosques Siempreverdes en la zona norte de archipiélagos de la región. Estos se concentran principalmente en las comunas de Puerto Natales, Río Verde, Laguna Blanca, San Gregorio, Primavera y Porvenir, estas últimas en Tierra del Fuego. **Las zonas con valor alto se distribuyen en forma concatenada a las áreas de valor muy alto, especialmente dentro del ecosistema de Estepas y Pastizales, de Matorral Caducifolio y de Turberas.** Las áreas de valor ecológico medio y bajo se distribuyen preferentemente asociados a ecosistemas boscosos y de turberas, que tienen una amplia superficie y que han tenido menos perturbación por la acción humana.

Tabla 9. Categorías de valor ecológico y superficie (ha), en comunas de la Región de Magallanes.

Valor ecológico Región de Magallanes										
Comuna	Superficie (hectáreas)					Porcentaje				
	Nulo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Nulo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Cabo de Hornos	122510	566015	157727	377076	1230	10,00	46,22	12,88	30,79	0,10
Laguna Blanca	0	0	35645	161952	129133	0,00	0,00	12,25	55,64	44,36
Natales	887134	717413	1286025	1273485	686643	18,29	14,79	26,51	26,25	14,16
Porvenir	0	0	24908	540218	171073	0,00	0,00	3,50	75,95	24,05
Primavera	0	0	38180	224648	94839	0,00	0,00	11,95	70,32	29,68
Punta Arenas	21645	654077	418134	458086	42739	1,36	41,02	26,22	28,73	2,68
San Gregorio	0	0	396331	57990	198855	0,00	0,00	60,68	8,88	30,44
Río Verde	59748	92309	559846	126329	43034	6,78	10,47	63,53	14,33	4,88
Timaukel	101835	332005	478844	100363	31065	9,75	31,80	45,86	9,61	2,98
Torres del Paine	109509	36860	28250	131601	48307	30,89	10,40	7,97	37,12	13,63

Fuente: Pliscoff, 2024. Estudio elaborado para EH2030

Figura 13. Categorización del valor ecológico en la Región de Magallanes. A medida que el color verde se torna más oscuro las áreas destacadas poseen un mayor valor ecológico, siendo el color verde oscuro la categoría de muy alto valor ecológico.



Fuente: Pliscoff, 2024. Estudio elaborado para EH2030

3.5. SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA (SbN) POTENCIALES

Las 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). Existen 2 tipos de SbNs:

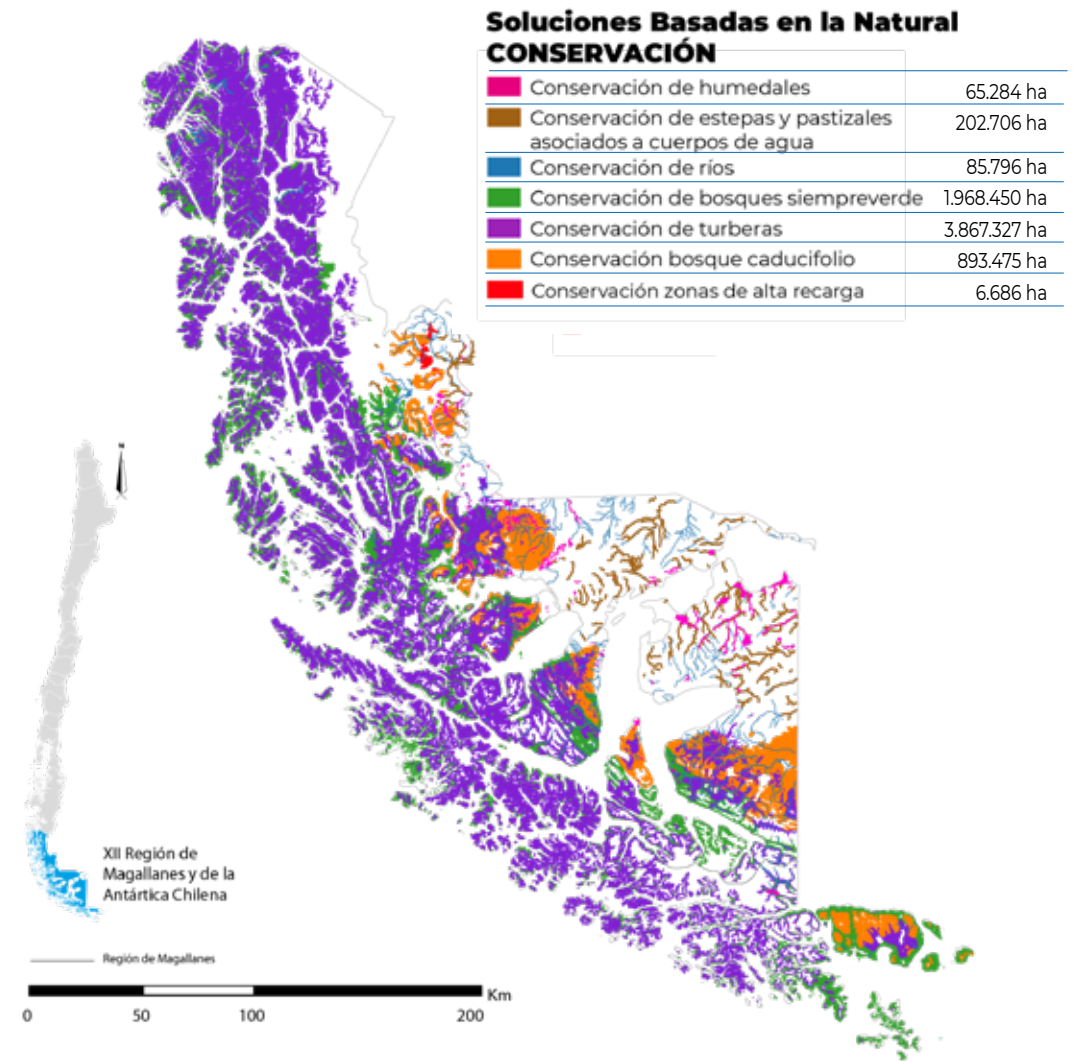
SbN de conservación

Se plantean en zonas que actualmente sostienen ciclo hídrico, cuya intervención debe ser adecuadamente gestionada para mantener su función (Figura 14).

SbN de reparación

Estas soluciones se plantean en aquellas zonas que fueron intervenidas con un uso productivo hasta la actualidad con potencial para ser reparadas estratégicamente (Figura 15).

Figura 14: SbN de conservación potenciales de realizar en la Región de Magallanes.



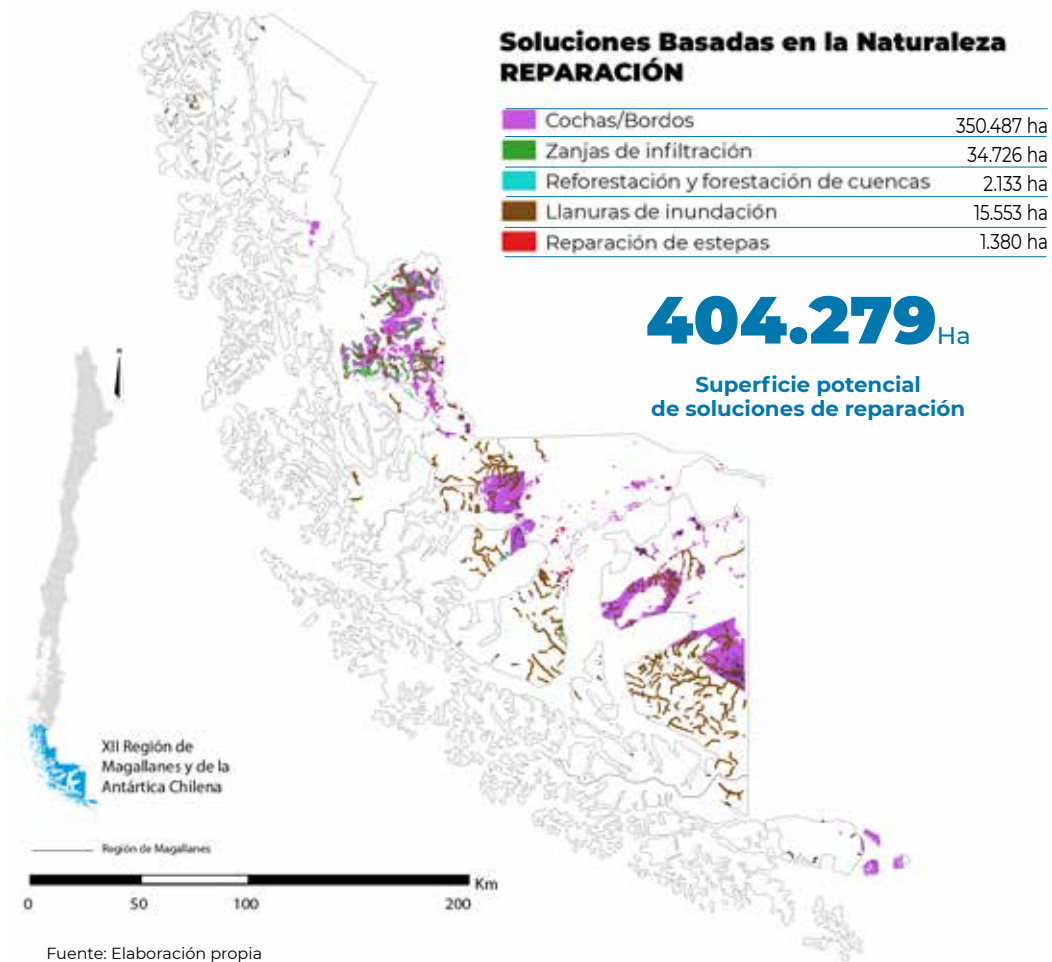
6.909.724 Ha

Superficie potencial de soluciones de conservación

Fuente: Elaboración propia

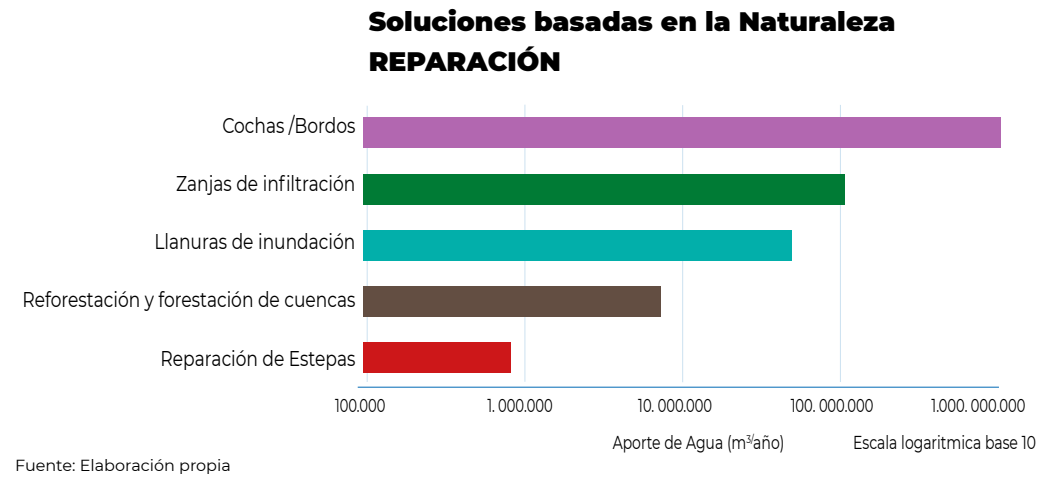
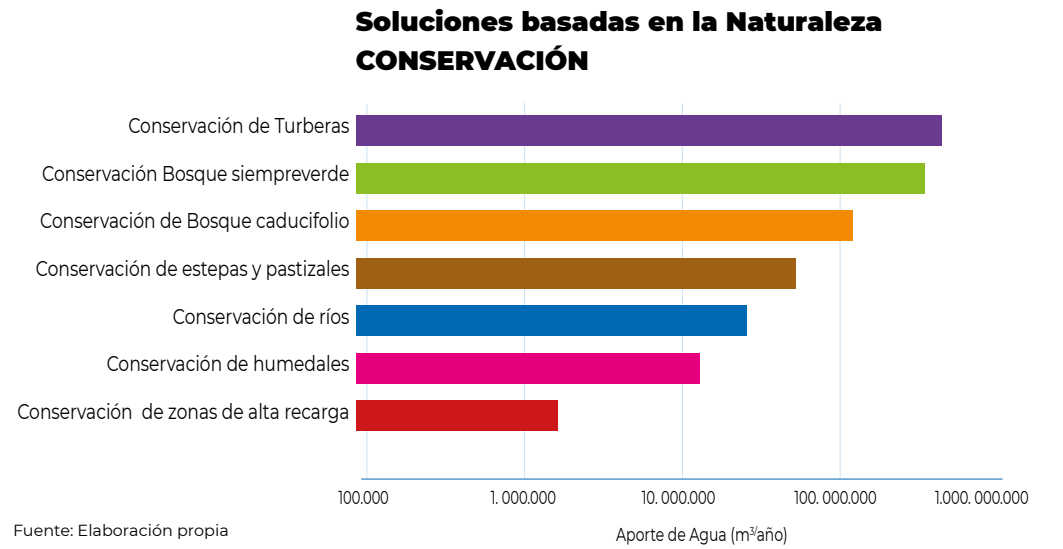


Figura 15: SbN de reparación potenciales de realizar en la Región de Magallanes.



60 MMm³/año
Es el aporte de agua de las SbN de reparación en la Región de Magallanes

Figura 16: Estimación del aporte hídrico de las Soluciones basadas en la Naturaleza Conservación y Reparación con potencialidad de aplicación en la Región de Magallanes.



181 MMm³/año
Aporte de agua de las SbN de conservación en la Región de Magallanes

3.6. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL

Caracterización del sistema fluvial

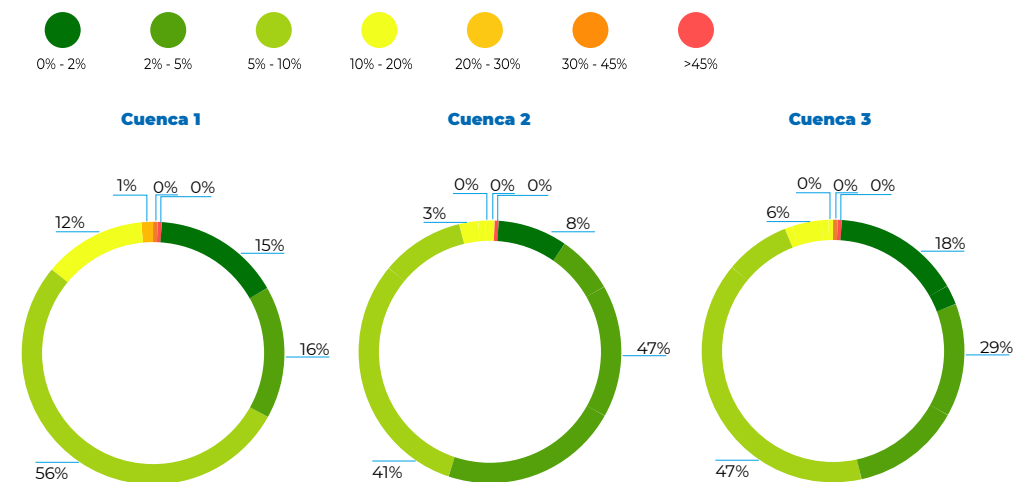
Determinación de pendientes

El análisis de las pendientes en las tres cuencas estudiadas muestra que las pendientes más comunes están en el rango de 5% a 10%, consideradas moderadas, seguido de las pendientes suaves de 2% a 5%, asociadas a un bajo potencial de erosión. Las pendientes casi horizontales de 0% a 2% son menos frecuentes en todas las cuencas. En la Cuenca 1 de Natales, se observa una categorización más detallada de las pendientes, aunque las moderadamente escarpadas de 20% a 30% representan solo el 1% del total analizado. No se encontraron pendientes con un alto grado de erodabilidad en ninguna de las tres cuencas (Figura 17).

Estimación del ancho característico del tramo

Los resultados muestran variaciones en el ancho de los segmentos fluviales en tres cuencas, divididos en nueve categorías (CEA, 2024). En la cuenca de Natales, el 48% de los segmentos tiene un ancho de entre 0 y 25 metros, mientras que un 32% supera los 500 metros, asociado a cuerpos de agua grandes como lagos o glaciares. En la cuenca 2, la mayoría, un 85%, también se encuentra en el rango de 0 a 25 metros, con un 7% entre 25 y 50 metros y un 5% superando los 500 metros. La cuenca 3 sigue un patrón similar con un 68% de sus tramos en el rango de 0 a 25 metros, y un 22% en el rango de más de 500 metros, mostrando una distribución más amplia entre los rangos intermedios.

Figura 17. Distribución de pendientes por rangos en los tramos de cada cuenca



Fuente: Centro de Ecología Aplicada, 2024. Estudio elaborado para EH2030.

Preferencia de especies

Las curvas de idoneidad para la ictiofauna se basaron en datos de campo recogidos entre 1976 y 2018 por Subpesca, incluyendo información sobre especies, cantidad de individuos, y ubicación de las capturas. Dado que a menudo faltan detalles sobre las condiciones exactas de escurrimiento y la fecha precisa de captura, se utilizó el caudal medio anual del año correspondiente y se caracterizaron hidráulicamente los

tramos fluviales para simular las condiciones durante la captura. Las curvas de idoneidad se derivaron, analizando la frecuencia de presencia de las especies en función de la velocidad y altura del escurrimiento, resultando en una curva de habitabilidad que refleja estas condiciones, ascendiendo hasta el valor máximo y descendiendo posteriormente. Para mayor detalle revisar apartado 4.3.2 de Anexo 3.

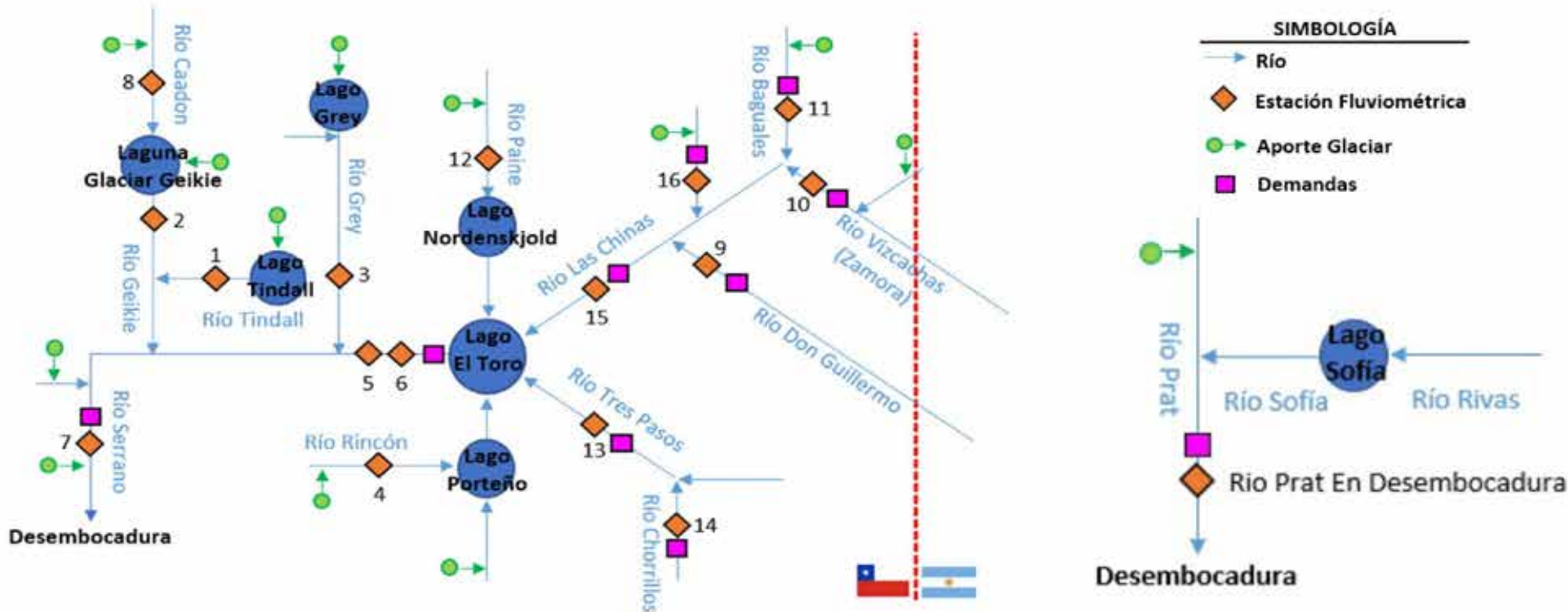


Modelación hidrológica:

Se construyeron diagramas unifilares en las cuencas de primera categoría identificadas. Estos diagramas corresponden a una representación gráfica simplificada de la red hídrica, en la que se identifican sentidos de los flujos, confluencias, cuerpos de agua, aportes o extracciones de caudal, entre otros componentes de interés. Además, estos diagramas dan cuenta de la escala espacial del análisis.

Se presenta, a modo de ejemplo y visualización, el diagrama unifilar de la cueca Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente (Figura 18). El análisis detallado de los diagramas unifilares restantes se encuentra disponible en el apartado 5.3 del Anexo 3.

Figura 18. Diagrama unifilar de la cuenca Costeras entre Seno ANDrew y R. Hollemberg e islas al oriente.



Fuente: Centro de Ecología Aplicada, 2024. Estudio elaborado para EH2030.

A) ESTIMACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL

La oferta hídrica superficial del periodo histórico se obtiene a partir de las estaciones fluviométricas presentes en la zona (ver Figura 5). La Figura 19 muestra la magnitud del caudal medido por estas estaciones. De esta forma, se obtiene de forma directa la oferta para las cuencas de primera categoría.

B) ESTIMACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA SUBTERRÁNEA

Dado que la oferta subterránea proviene del estudio de recarga, en la Figura 4 queda representada la distribución espacial de ella.

Sin embargo, en la Figura 20 se ilustra el caudal máximo disponible para captura, o bien, oferta hídrica subterránea.

C) ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA Y REGLAS DE OPERACIÓN HISTÓRICA

Para obtener la demanda a escala mensual, se utiliza un factor de variabilidad mensual calculado a partir de los derechos de aprovechamiento de aguas registrados en la DGA a agosto del 2023. El cálculo de este factor consideró obtener un factor por uso de agua asociado a cada cuenca. Sin embargo, para el valor final se promediaron sólo aquellos factores de usos de agua que se correspondía con los sectores productivos con demanda en la cuenca.

En la cuenca Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente, se evidencia variabilidad en la demanda de agua en todas las subcuencas excepto en Río Serrano en Desembocadura, con un incremento notable en primavera. En Río Don Guillermo en Cerro Castillo, la demanda mensual es constante, ya que los usos de agua no coinciden con los sectores productivos. Similarmente, en Río Cullen en Frontera, Tierra del Fuego, la demanda es constante por la misma razón. Por otro lado, la cuenca entre Laguna Blanca, Seno Otway, Canal Jerónimo y Magallanes, muestra variabilidad en las subcuencas Río San Juan y Río Tres Brazos, presentando una progresión interanual distinta. En general, Tierra del Fuego muestra variabilidad en todas sus subcuencas demandantes.

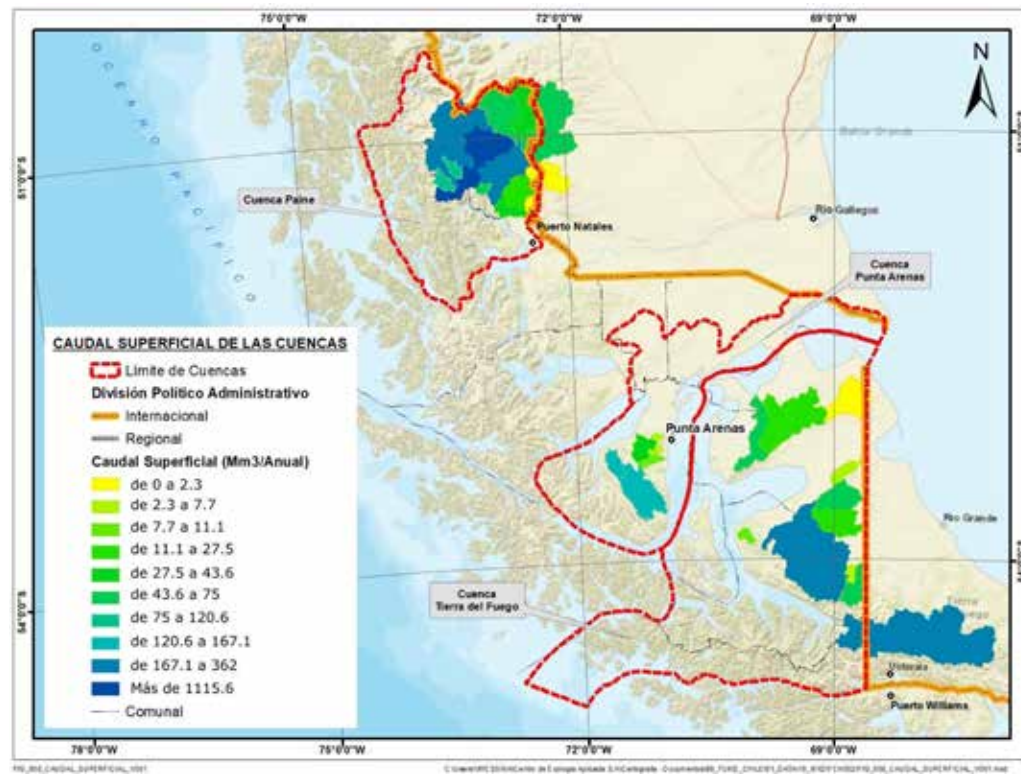
Para mayor detalle con respecto a los factores de variabilidad mensual y la demanda por cuenca mensual y anual, revisar el apartado 5.3.3 del Anexo 3.

Tabla 15. Clasificación del Índice de Seguridad Hídrica actualizado.

Índice de Seguridad Hídrica	Comparación Oferta y Demandas	Color y clasificación
ISH < 0	Oferta < Q_{ambeco}	Crítica
	Oferta < Demandas arriba + Q_{ambeco} Oferta $\geq Q_{ambeco}$	Insuficiente
ISH ≥ 0	Oferta $\geq Q_{ambeco}$ + Demandas arriba	Suficiente
	Oferta $\geq Q_{ambeco}$ + Demandas aguas arriba + Demandas aguas abajo	Excedente
ISH desconocido	Existe presencia de glaciares en la cuenca	Sin información suficiente para evaluar el ISH

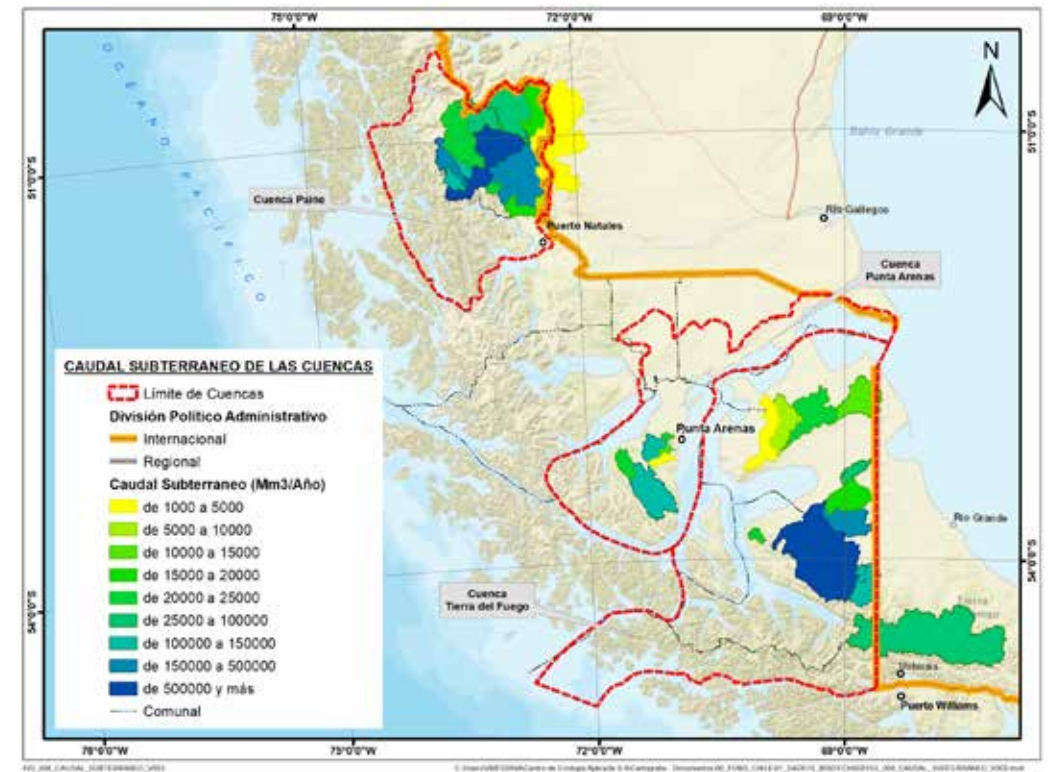


Figura 19. Oferta hídrica superficial en cuencas de primera categoría.



Fuente: Índice de Seguridad Hídrica en Magallanes. Centro de Ecología Aplicada, 2023.

Figura 20. Oferta hídrica subterránea en cuencas de primera categoría.



Fuente: Índice de Seguridad Hídrica en Magallanes. Centro de Ecología Aplicada, 2023.

3.7. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE SEGURIDAD HÍDRICA (ISH)

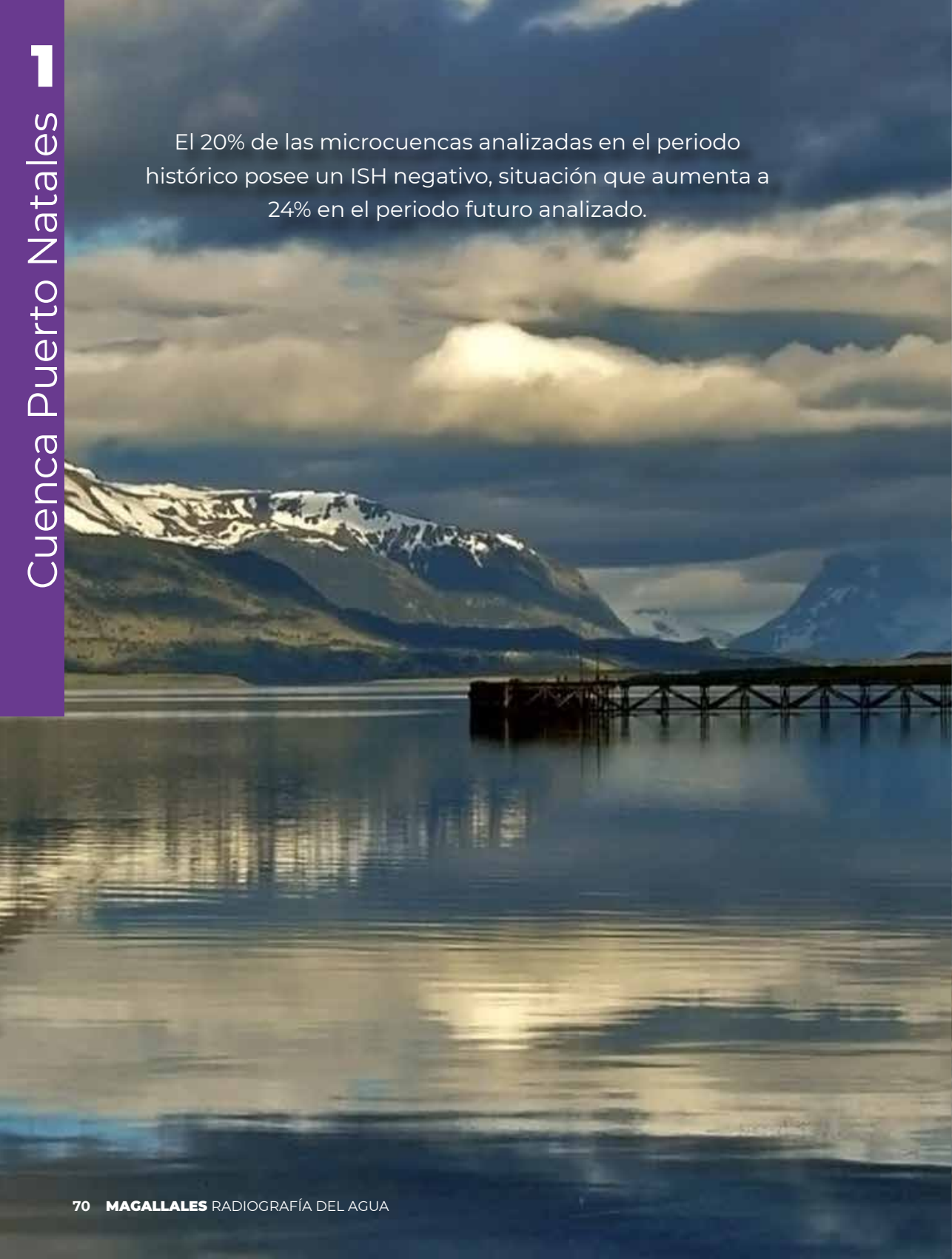
Debido a la presencia de glaciares en ciertas subcuencas, se observan índices críticos durante los meses de invierno, causados por una menor oferta hídrica de régimen glacial contrastando con una demanda ecológica constante del caudal ambiental a lo largo del año. Por esta razón, se decidió omitir el valor del Índice de Seguridad Hídrica (ISH) para las cuencas glaciares de mayo a octubre. Este ajuste se basa en el Inventario Público de Glaciares 2022 versión 2 y se fundamenta en los patrones observados de caudales, donde el caudal disminuye a un punto medio entre los máximos y mínimos anuales en abril y, de forma similar, alcanza este punto medio en noviembre.

De esta forma, se agregó una nueva clasificación al criterio establecido en la sección de metodología del presente informe, sólo aplicable a las cuencas con presencia de glaciares, para las que se requiere una validación de la curva de habitabilidad local intra anual.

A continuación se presenta un análisis de las brechas hídricas en las cuencas de Natales, Punta Arenas y Tierra del Fuego, tanto el período histórico (1981-2020) como proyecciones futuras (2020-2060) (CEA 2024). Para este estudio, se ha seleccionado el Índice de seguridad Hídrica (ISH) más crítico como indicador principal. Posteriormente, se realiza una comparación entre la brecha hídrica futura en dos escenarios: con y sin la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), permitiendo evaluar el impacto que estas intervenciones podrían tener en la disponibilidad de recursos hídricos en el mediano y largo plazo.



El 20% de las microcuencas analizadas en el periodo histórico posee un ISH negativo, situación que aumenta a 24% en el periodo futuro analizado.



1

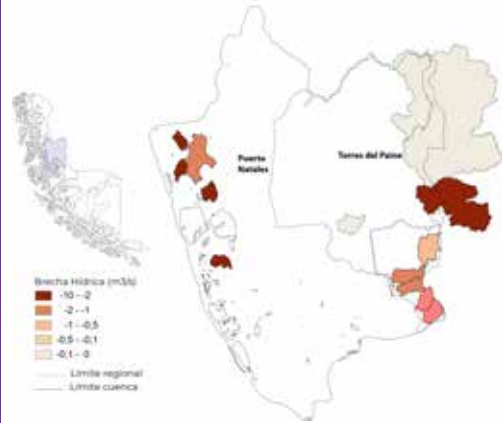


**CUENCA
PUERTO NATALES**

ÍNDICE DE SEGURIDAD HÍDRICA

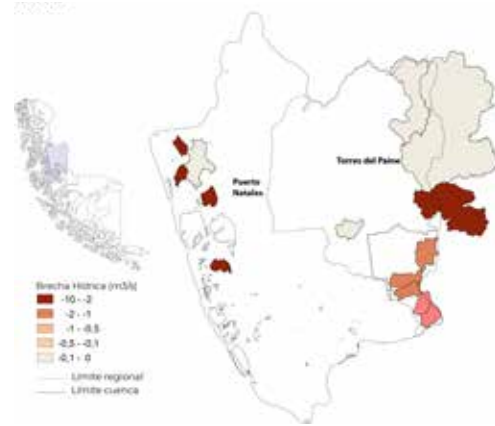
Brecha Hídrica Histórica considerando ISH más crítico

Periodo Abril-Septiembre (2010-2020)



20%
de las microcuencas analizadas poseen un ISH negativo en este periodo

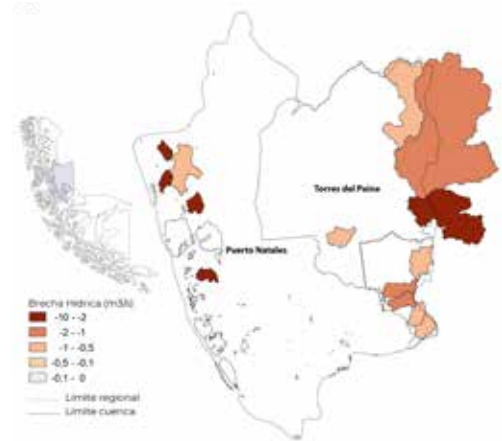
Periodo Octubre-Marzo (2010-2020)



Se observa que las microcuencas Fiordo Doble Pico (Sureste de Isla Evans) y Río El Deshielo (Noreste Isla Evans) presentan los valores máximos a lo largo del año, con un $-8,48 \text{ m}^3/\text{s}$ y $-9,36 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

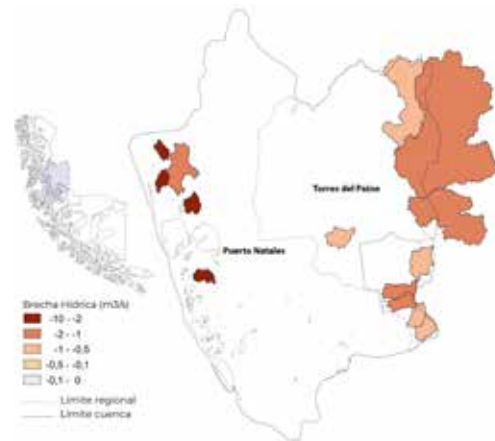
Brecha Hídrica Futura considerando ISH más crítico

Periodo Abril-Septiembre (2060)



24%
de las microcuencas analizadas poseen un ISH negativo en este periodo

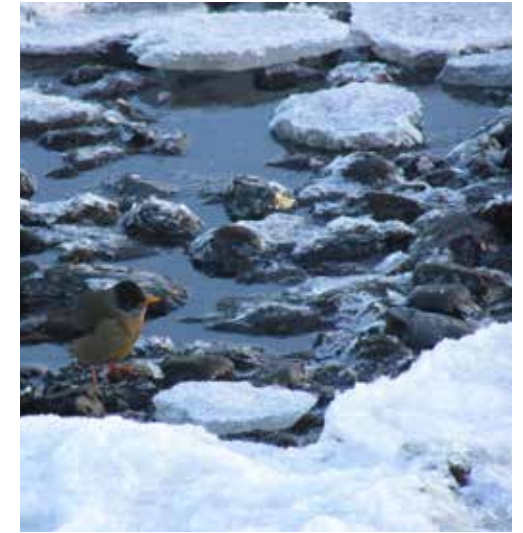
Periodo Octubre-Marzo (2060)



Se observa que las microcuencas Fiordo Doble Pico (Sureste de Isla Evans) y Río El Deshielo (Noreste Isla Evans) presentan los valores máximos de brecha futura, con un $-8,4 \text{ m}^3/\text{s}$ y $-9,3 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

Si bien es cierto, la aplicación de SbN no genera un mayor impacto en aportes de agua para la cuenca de Puerto Natales, la implementación de ellas potencia el desarrollo de distintos servicios ecosistémicos, destacando, por ejemplo, la captura de Carbono en donde la Patagonia almacena el doble de carbono que los bosques de la Amazonía por hectárea (Pérez et. al, 2023).

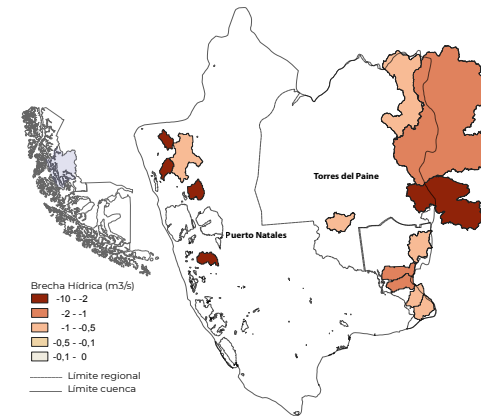
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/aec.13331>



Brecha Hídrica Futura con y sin SbN

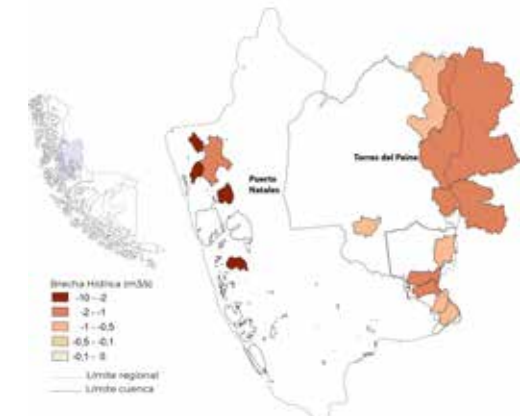
Periodo Abril-Septiembre proyectado al 2060

SIN SbN



Periodo Abril - Septiembre proyectado al 2060

CON SbN



24%
de las microcuencas analizadas poseen un ISH negativo en este periodo

TABLA 16. Índice de Seguridad Hídrica Histórico (1981-2020) en la Cuenca de Natales (m³/s)

Micro cuenca \ Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PROM. ANUAL
CATEGORÍA 1													
RIO RINCÓN EN RUTA Y-290	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RIO SERRANO ANTES JUNTA GREY	140.01	145.80	131.22	-	-	-	-	-	-	-	-	133.78	-
RIO SERRANO EN DESAGÜE LAGO DEL TORO	126.28	132.54	119.66	-	-	-	-	-	-	-	-	110.96	-
RIO SERRANO EN DESEMBOCADURA	704.28	650.69	594.26	-	-	-	-	-	-	-	-	522.93	-
RIO VIZCACHAS EN CERRO GUIDO	1.01	0.35	0.39	0.66	0.99	0.69	1.21	0.72	0.93	4.48	5.26	2.15	1.57
RIO BAGUALES EN CERRO GUIDO	0.37	0.12	0.38	0.52	0.88	0.67	0.95	0.53	0.76	2.71	3.54	1.41	1.07
RIO PAINE EN PARQUE NACIONAL 2	83.73	74.73	65.08	-	-	-	-	-	-	-	-	69.40	-
RIO TRES PASOS EN DESAGÜE LAGO TORO	2.15	2.08	1.99	2.32	2.61	2.46	3.01	3.06	5.12	4.89	3.46	2.57	2.98
RIO CHORRILLOS TRES PASOS RUTA N 9	-0.85	-0.83	-0.83	-0.82	-0.83	-0.78	-0.64	-0.55	-0.57	-0.61	-0.86	-0.87	-0.75
RIO LAS CHINAS ANTES DESAGÜE DEL TORO	17.87	15.53	16.00	15.69	18.65	18.33	18.45	17.95	18.52	30.27	29.05	22.01	19.86
RIO LAS CHINAS EN CERRO GUIDO	12.33	10.95	10.96	11.05	11.69	10.67	10.54	10.92	12.56	21.18	20.74	14.55	13.18
RIO PRAT EN DESEMBOCADURA	5.63	5.28	5.23	5.01	5.32	4.78	4.97	4.88	5.52	6.29	6.37	6.16	5.45
RIO TINDALL EN DESEMBOCADURA	7.85	7.85	7.83	-	-	-	-	-	-	-	-	7.85	-
RIO GEIKIE EN DESEMBOCADURA	230.45	243.14	214.84	-	-	-	-	-	-	-	-	212.97	-
RIO GREY ANTES JUNTA SERRANO	199.74	203.48	162.72	-	-	-	-	-	-	-	-	150.92	-
RIO CAADON 1 EN DESEMBOCADURA	25.71	19.64	23.51	-	-	-	-	-	-	-	-	15.32	-
RIO DON GUILLERMO EN CERRO CASTILLO	-2.96	-2.96	-2.96	-2.96	-2.93	-2.91	-2.84	-2.65	-2.62	-2.61	-2.88	-2.95	-2.85
RIO CAJON	2.86	1.43	1.02	-	-	-	-	-	-	-	-	2.15	-
RIO CUMBRES DEL BRUJO	5.79	3.40	2.71	-	-	-	-	-	-	-	-	4.61	-
RIO SANTA ANA	4.77	2.92	2.39	-	-	-	-	-	-	-	-	3.86	-
RIO MEANDRO DEL BRUJO	5.14	2.84	2.18	-	-	-	-	-	-	-	-	4.01	-
RIO AMALIA	2.81	1.10	0.61	-	-	-	-	-	-	-	-	1.97	-
FIORDO LA ESPERANZA	-2.75	-4.17	-4.58	-5.23	-6.01	-6.01	-6.01	-6.01	-6.01	-5.82	-4.19	-3.45	-5.02
RIO ISLA LUCIA	-1.16	-2.72	-3.17	-3.88	-4.75	-4.75	-4.75	-4.75	-4.75	-4.53	-2.74	-1.93	-3.66

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

Micro cuenca \ Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PROM. ANUAL
CATEGORÍA 2-3													
RIO EL HUMEDAL	26.13	14.20	10.77	5.33	-1.29	-1.29	-1.29	-1.29	-1.29	0.35	14.05	20.25	7.05
RIO LOS BRUJOS	30.91	17.05	13.06	-	-	-	-	-	-	-	-	24.08	-
RIO ANTARTICA	25.04	13.56	10.60	-	-	-	-	-	-	-	-	18.41	-
FIORDO NEVADO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RIO EL DESHIELO	-4.40	-6.56	-7.18	-8.17	-9.36	-9.36	-9.36	-9.36	-9.36	-9.07	-6.59	-5.47	-7.85
ESTERO SERRANO	-1.62	-3.21	-3.66	-	-	-	-	-	-	-	-	-2.40	-
RIO LA VANGUARDIA	121.74	65.75	58.34	-	-	-	-	-	-	-	-	77.56	-
ESTERO LAS CUMBRES	5.44	3.56	3.01	-	-	-	-	-	-	-	-	4.51	-
RIO LAS CASCADAS	6.43	3.51	2.67	-	-	-	-	-	-	-	-	4.99	-
FIORDO BALMACEDA	5.40	-0.56	-1.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.72	-
FIORDO DOBLE PICO	-4.06	-5.98	-6.54	-7.41	-8.48	-8.48	-8.48	-8.48	-8.48	-8.21	-6.01	-5.01	-7.13
RIO GLACIARES DE SERRANO	2.06	1.17	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	0.26	-
ESTERO FRONTIS SERRANO	1.21	0.41	0.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.41	-
FIORDO BELLAVISTA	7.86	3.55	3.19	-	-	-	-	-	-	-	-	3.43	-
ESTERO LA CADENA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LAGO LIMPIO	6.41	3.11	2.16	-	-	-	-	-	-	-	-	4.78	-
LAGO LIMPIO	6.41	3.11	2.16	-	-	-	-	-	-	-	-	4.78	-
RIO ESTANCIA PERALES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FIORDO CARRINGTON	5.99	3.41	2.67	1.50	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.42	3.38	4.72	1.87
RIO PUERTO CONSUELO	-1.36	-1.35	-1.44	-1.35	-1.12	-1.10	-1.09	-1.05	-1.01	-0.97	-1.11	-1.14	-1.17
RIO BLANCO	16.62	10.28	9.45	-	-	-	-	-	-	-	-	10.72	-
FIORDO LAS NUBES	5.01	2.85	2.22	1.24	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.33	2.82	3.94	1.55
RIO BOLEADORES	-1.14	-1.05	-1.20	-1.12	-0.93	-0.78	-0.76	-0.73	-0.82	-0.68	-0.80	-0.83	-0.90
RIO ESCONDIDO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RIO NATALES	-0.82	-0.46	-0.78	-0.75	-0.72	-0.14	-0.14	-0.12	-0.69	-0.18	-0.18	-0.24	-0.43
RIO BAHIA VERGARA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ESTERO MERCEDES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ESTERO BUENA ESPERANZA	-0.47	-0.44	-0.40	-0.05	0.12	0.07	0.17	0.37	0.46	0.13	-0.07	-0.34	-0.04
RIO NATALES SUR	-0.72	-0.74	-0.67	-0.64	-0.61	-0.56	-0.55	-0.20	-0.57	-0.26	-0.26	-0.66	-0.54
RIO ALMIRANTE MONTT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RIO AZUL	1.11	1.08	0.96	-	-	-	-	-	-	-	-	1.45	-
RIO LA MORRENA	2.16	2.13	2.04	-	-	-	-	-	-	-	-	2.44	-

TABLA 17. Índice de Seguridad Hídrica periodo futuro Cuenca de Natales (m³/s).

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

Micro cuenca \ Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PROM. ANUAL
CATEGORÍA 1													
RIO RINCÓN EN RUTA Y-290	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RIO SERRANO ANTES JUNTA GREY	107.72	110.54	109.58	-	-	-	-	-	-	-	-	108.22	-
RIO SERRANO EN DESAGÜE LAGO DEL TORO	104.50	107.31	106.36	-	-	-	-	-	-	-	-	104.99	-
RIO SERRANO EN DESEMBOCADURA	473.77	438.12	316.27	-	-	-	-	-	-	-	-	479.92	-
RIO VIZCACHAS EN CERRO GUIDO	-1.27	-1.27	-1.27	-1.32	-1.27	-1.26	-1.27	-1.27	-1.32	-1.41	-1.41	-1.40	-1.31
RIO BAGUALES EN CERRO GUIDO	-0.38	-0.43	-0.46	-0.53	-0.50	-0.52	-0.54	-0.55	-0.60	-0.79	-0.65	-0.54	-0.54
RIO PAINE EN PARQUE NACIONAL 2	49.98	42.16	32.04	-	-	-	-	-	-	-	-	55.18	-
RIO TRES PASOS EN DESAGÜE LAGO TORO	2.10	1.93	1.79	1.71	1.61	1.53	1.60	1.70	1.97	2.28	2.69	2.43	1.94
RIO CHORRILLOS TRES PASOS RUTA N 9	-0.88	-0.86	-0.87	-0.87	-0.89	-0.92	-0.93	-0.97	-0.89	-0.95	-0.96	-0.92	-0.91
RIO LAS CHINAS ANTES DESAGÜE DEL TORO	17.34	15.89	15.62	14.33	13.18	12.32	11.96	11.87	13.48	15.27	19.86	22.33	15.29
RIO LAS CHINAS EN CERRO GUIDO	13.64	12.38	12.05	10.70	9.45	8.88	8.76	8.79	9.66	10.29	14.84	18.91	11.53
RIO PRAT EN DESEMBOCADURA	4.75	4.63	4.52	4.48	4.50	4.74	4.99	5.27	5.40	5.20	5.10	4.91	4.88
CATEGORÍA 2-3													
RIO TINDALL EN DESEMBOCADURA	27.85	30.07	16.14	-	-	-	-	-	-	-	-	23.57	-
RIO GEIKIE EN DESEMBOCADURA	130.95	130.67	45.69	-	-	-	-	-	-	-	-	95.21	-
RIO GREY ANTES JUNTA SERRANO	366.49	316.43	186.93	-	-	-	-	-	-	-	-	373.63	-
RIO CAADON 1 EN DESEMBOCADURA	9.40	11.28	3.49	-	-	-	-	-	-	-	-	5.88	-
RIO DON GUILLERMO EN CERRO CASTILLO	-1.25	-1.76	-1.62	-1.13	-1.32	-2.13	-2.56	-2.77	-2.69	2.43	1.97	-0.08	-1.08
RIO CAJON	-0.35	-0.26	-0.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.40	-
RIO CUMBRES DEL BRUJO	0.39	0.54	0.55	-	-	-	-	-	-	-	-	0.32	-
RIO SANTA ANA	0.62	0.73	0.74	-	-	-	-	-	-	-	-	0.56	-
RIO MEANDRO DEL BRUJO	-0.04	0.11	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.10	-
RIO AMALIA	-1.04	-0.93	-0.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.09	-
FIORDO LA ESPERANZA	-5.94	-5.86	-5.85	-5.89	-5.91	-5.93	-5.95	-5.96	-5.97	-5.98	-5.99	-5.99	-5.94
RIO ISLA LUCIA	-4.68	-4.58	-4.57	-4.61	-4.64	-4.66	-4.68	-4.70	-4.71	-4.72	-4.72	-4.73	-4.67

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

Micro cuenca \ Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PROM. ANUAL
CATEGORÍA 2-3													
RIO EL HUMEDAL	-0.74	0.01	0.06	-0.21	-0.44	-0.62	-0.76	-0.88	-0.96	-1.03	-1.09	-1.10	-0.65
RIO LOS BRUJOS	-0.32	0.55	0.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.74	-
RIO ANTARTICA	-0.76	-0.70	-0.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.79	-
FIORDO NEVADO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RIO EL DESHIELO	-9.26	-9.13	-9.12	-9.17	-9.21	-9.24	-9.26	-9.29	-9.30	-9.31	-9.32	-9.33	-9.25
ESTERO SERRANO	-5.20	-5.09	-5.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-5.24	-
RIO LA VANGUARDIA	36.09	42.85	17.36	-	-	-	-	-	-	-	-	24.24	-
ESTERO LAS CUMBRES	1.20	1.31	1.32	-	-	-	-	-	-	-	-	1.14	-
RIO LAS CASCADAS	-0.14	0.04	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.22	-
FIORDO BALMACEDA	16.21	17.46	7.45	-	-	-	-	-	-	-	-	14.06	-
FIORDO DOBLE PICO	-8.39	-8.27	-8.26	-8.31	-8.34	-8.37	-8.40	-8.41	-8.43	-8.44	-8.45	-8.45	-8.38
RIO GLACIARES DE SERRANO	5.72	5.98	1.91	-	-	-	-	-	-	-	-	4.34	-
ESTERO FRONTIS SERRANO	4.49	4.73	1.07	-	-	-	-	-	-	-	-	3.26	-
FIORDO BELLAVISTA	15.66	16.56	9.34	-	-	-	-	-	-	-	-	14.11	-
ESTERO LA CADENA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LAGO LIMPIO	-1.02	-0.82	-0.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.12	-
LAGO LIMPIO	6.75	8.56	9.39	8.83	6.85	5.05	3.64	2.50	1.63	1.05	1.87	4.26	5.03
RIO ESTANCIA PERALES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FIORDO CARRINGTON	-1.68	-1.70	-1.74	-1.77	-1.77	-1.70	-1.66	-1.58	-1.51	-1.55	-1.60	-1.65	-1.66
RIO PUERTO CONSUELO	26.58	27.77	17.73	-	-	-	-	-	-	-	-	24.50	-
RIO BLANCO	0.14	0.27	0.28	0.23	0.19	0.16	0.14	0.11	0.09	0.08	0.08	0.07	0.15
FIORDO LAS NUBES	5.01	2.85	2.22	1.24	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.33	2.82	3.94	1.55
RIO BOLEADORES	-1.40	-1.34	-1.44	-1.46	-1.45	-1.27	-1.22	-1.15	-1.23	-1.15	-1.20	-1.24	-1.30
RIO ESCONDIDO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RIO NATALES	-0.91	-0.54	-0.91	-0.91	-0.91	-0.37	-0.37	-0.37	-0.90	-0.37	-0.37	-0.37	-0.61
RIO BAHIA VERGARA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ESTERO MERCEDES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ESTERO BUENA ESPERANZA	-0.67	-0.67	-0.68	-0.68	-0.68	-0.67	-0.64	-0.51	-0.44	-0.61	-0.64	-0.66	-0.63
RIO NATALES SUR	-0.82	-0.82	-0.82	-0.82	-0.82	-0.82	-0.82	-0.48	-0.81	-0.48	-0.48	-0.82	-0.73
RIO ALMIRANTE MONTT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RIO AZUL	0.66	0.62	0.59	-	-	-	-	-	-	-	-	0.72	-
RIO LA MORRENA	1.80	1.77	1.74	-	-	-	-	-	-	-	-	1.85	-

El 63% de las microcuencas analizadas en la **Cuenca de Punta Arenas** posee un ISH negativo en el periodo histórico, situación que aumenta a 69% en el periodo futuro proyectado.

2

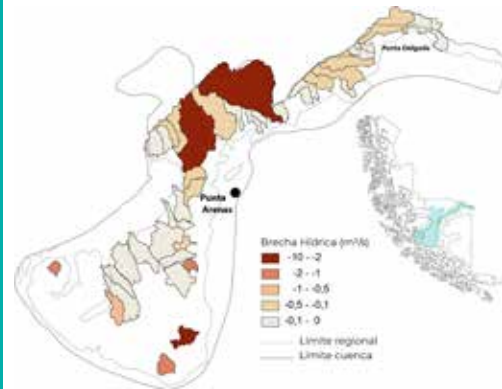
**CUENCA
PUNTA ARENAS**



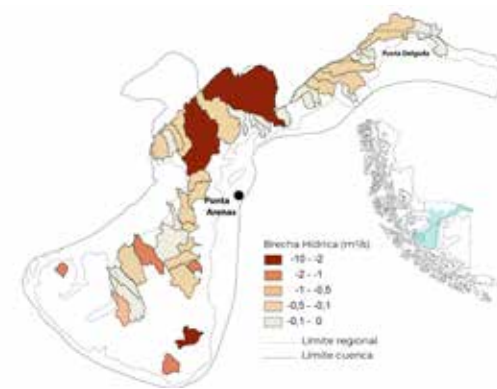
ÍNDICE DE SEGURIDAD HÍDRICA

Brecha Hídrica Histórica considerando ISH más crítico

Periodo Abril-Septiembre (2010-2020)



Periodo Octubre-Marzo (2010-2020)

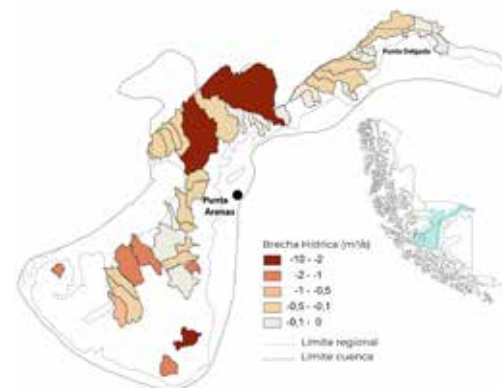


63%
de las microcuencas analizadas poseen un ISH negativo en este periodo

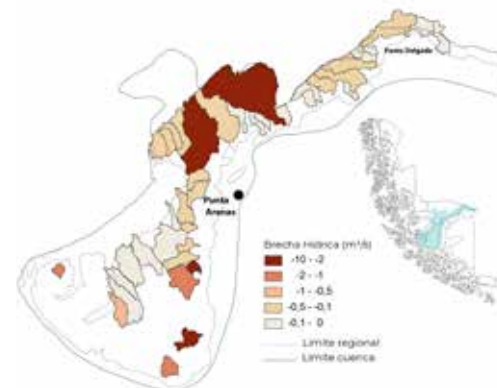
Se observa que las microcuencas Río Santa Susana (Puerto Rivero) y Río San Pedro (Sureste Fuerte Bulnes) presentan los valores máximos de brecha histórica, con $-3,4 \text{ m}^3/\text{s}$ y $-3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

Brecha Hídrica Futura considerando ISH más crítico

Periodo Abril-Septiembre (2060)



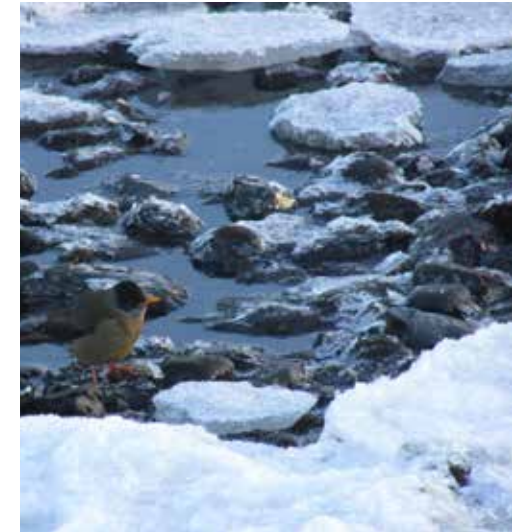
Periodo Octubre-Marzo (2060)



69%
de las microcuencas analizadas poseen un ISH negativo en este periodo

Se observa que las microcuencas Río San Pedro (Sureste Fuerte Bulnes) y Río Santa Susana presentan los valores máximos de brecha futura, con un $-3,63 \text{ m}^3/\text{s}$ y $-3,65 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

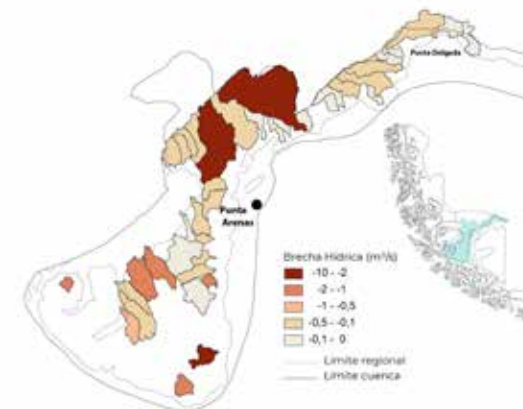
En la zona sur de la cuenca de Punta Arenas, se observa la mayor fluctuación del Índice de Salud Hídrica (ISH) al considerar datos históricos y proyecciones futuras. Los meses de abril a septiembre muestran los valores más críticos. Particularmente, las cuencas de los ríos Calete y El Canelo resaltan por aumentar su valor proyectado en 3,6 y 1,6 veces, respectivamente, respecto al histórico.



Brecha Hídrica Futura con y sin SbN

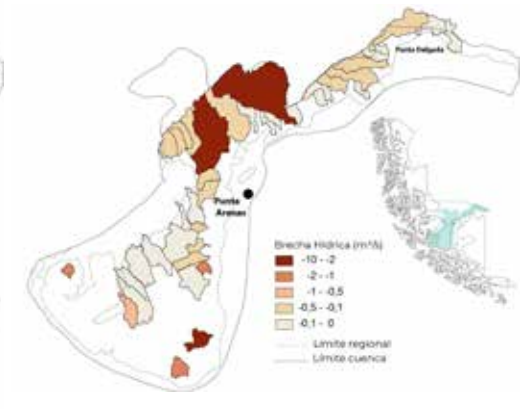
Periodo Abril-Septiembre proyectado al 2060

SIN SbN



Periodo Abril - Septiembre proyectado al 2060

CON SbN



59%
de las microcuencas analizadas poseen un ISH Negativo (disminuye 10% con SbN)

La zona sur de la cuenca de Punta Arenas es la que presenta mayor impacto positivo ($1,40 \text{ m}^3/\text{s}$) de las SbN, cerrando incluso la brecha en microcuencas presentes en la Reserva Nacional Laguna.

TABLA 18. Índice de Seguridad Hidrica periodo **histórico en Cuenca de Punta Arenas** (m³/s)

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

Micro cuenca \ Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PROM. ANUAL
CATEGORÍA 1													
RIO LAS MINAS EN BT. SENDOS	-0.16	-0.14	-0.09	0.03	0.12	0.34	0.36	0.22	0.54	0.23	-0.08	-0.14	0.10
RIO TRES BRAZOS ANTES BT. SENDOS	-0.17	-0.24	-0.07	0.40	0.21	1.17	1.23	1.32	1.82	1.55	0.34	-0.14	0.62
RIO SAN JUAN EN DESEMBOCADURA	4.06	2.99	4.89	9.24	11.28	13.86	11.96	13.72	17.62	21.41	10.79	5.88	10.64
RIO CALETE EN SENO OTWAY	-0.31	0.01	1.09	2.59	3.91	2.60	3.64	4.02	5.86	4.16	4.27	0.83	2.72
RIO GRANDE EN SENO OTWAY	0.27	0.52	1.19	1.69	2.15	3.70	3.61	5.29	6.63	3.10	1.66	0.56	2.53
CATEGORÍA 2-3													
RÍO LEGNADURA ANTES BT SENDOS	-0.28	-0.30	-0.26	-0.15	-0.08	-0.09	0.00	-0.01	0.65	0.46	-0.04	-0.21	-0.02
ESTERO CAÑADON GRANDE	-0.44	-0.43	-0.44	-0.37	-0.40	-0.41	-0.37	-0.38	-0.40	-0.44	-0.42	-0.46	-0.41
RIO DEL CONDOR	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
ESTERO POSESION	-0.08	-0.08	-0.08	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.08	-0.07	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08
ESTERO RANCHO CARANCHO 2	-0.04	-0.04	-0.05	-0.03	-0.05	-0.05	-0.03	-0.03	-0.04	-0.05	-0.04	-0.05	-0.04
ESTERO RANCHO CARANCHO 1	-0.02	-0.02	-0.03	-0.01	-0.03	-0.03	0.00	0.00	-0.02	-0.03	-0.02	-0.04	-0.02
ESTERO FARO CERRO DIRECCION	-0.24	-0.24	-0.27	-0.20	-0.25	-0.26	-0.17	-0.18	-0.23	-0.27	-0.24	-0.28	-0.24
LAGUNA BLANCA	-0.17	-0.19	-0.24	-0.15	-0.23	-0.23	-0.10	-0.10	-0.18	-0.24	-0.19	-0.25	-0.19
RIO CHIORRILLO KIMIRI AIKE	-0.16	-0.15	-0.15	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.15	-0.15	-0.16	-0.15
ESTERO TERCER CHORRILLO	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.02
ESTERO EL ESTRECHO	-0.05	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.04
ESTERO ESTANCIA ALEJANDRA	-0.04	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
ESTERO SANHUEZA	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.02
ESTERO PUERTO SARA	-3.38	-3.13	-2.97	-2.71	-2.84	-2.75	-2.61	-2.97	-2.98	-3.19	-3.07	-3.27	-2.99
ESTERO MALLIN	-0.05	-0.05	-0.07	-0.06	-0.04	-0.05	-0.04	-0.06	-0.04	-0.06	-0.05	-0.06	-0.05
ESTERO BAHIA OAZY	-0.04	-0.04	-0.05	-0.04	-0.02	-0.03	-0.02	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05	-0.04
ESTERO SANTA MARIA	-0.05	-0.05	-0.06	-0.05	-0.04	-0.05	-0.04	-0.05	-0.04	-0.05	-0.05	-0.06	-0.05
ESTERO CASIMIRO	-0.32	-0.30	-0.34	-0.28	-0.18	-0.24	-0.14	-0.28	-0.21	-0.34	-0.28	-0.35	-0.27
LAGUNA DEL TORO	-0.07	-0.07	-0.09	-0.08	-0.05	-0.07	-0.04	-0.07	-0.05	-0.08	-0.07	-0.08	-0.07
ESTERO LAGUNA DEL TORO	-0.08	-0.08	-0.11	-0.10	-0.06	-0.08	-0.05	-0.08	-0.06	-0.09	-0.08	-0.09	-0.08
ESTERO LOS TRES PALOS	-0.14	-0.16	-0.23	-0.20	-0.09	-0.16	-0.08	-0.16	-0.09	-0.17	-0.15	-0.19	-0.15

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

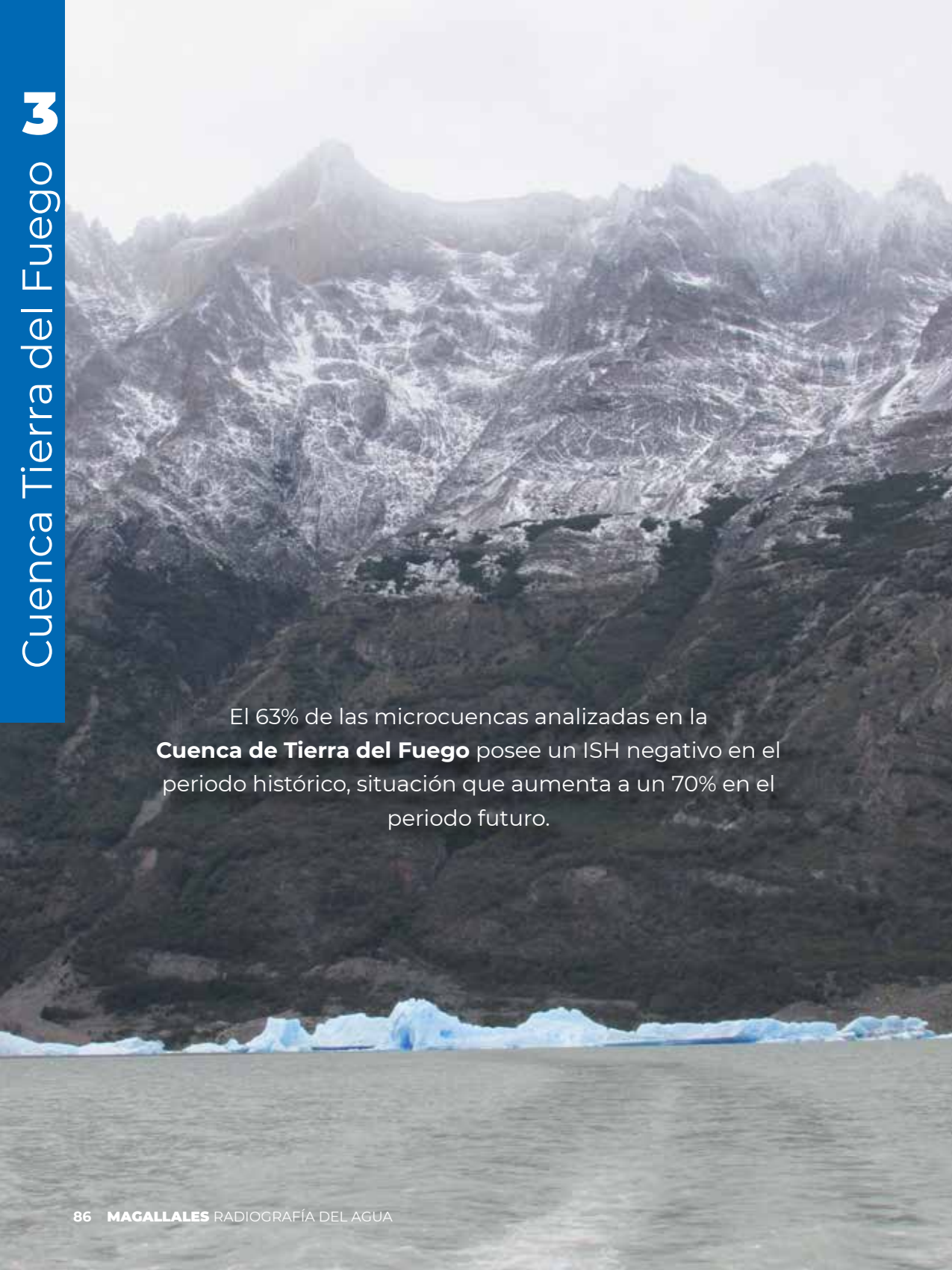
Micro cuenca \ Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PROM. ANUAL
CATEGORÍA 2-3													
ESTRECHO VERDANA	-1.71	-1.99	-2.80	-2.56	-1.16	-2.06	-1.10	-2.10	-1.19	-2.17	-1.96	-2.34	-1.93
ESTERO ENTRE VIENTO	-0.10	-0.10	-0.11	-0.09	-0.06	-0.07	-0.05	-0.08	-0.06	-0.10	-0.09	-0.11	-0.08
ESTERO PESCADO	-0.13	-0.15	-0.21	-0.19	-0.08	-0.15	-0.08	-0.15	-0.09	-0.16	-0.14	-0.17	-0.14
RIO PESCADO	-0.16	-0.16	-0.19	-0.16	-0.11	-0.14	-0.10	-0.15	-0.12	-0.16	-0.15	-0.17	-0.15
ESTERO CHABUNCO	0.11	0.11	0.07	0.10	0.17	0.13	0.18	0.12	0.16	0.10	0.12	0.09	0.12
RIO DE LOS PATOS	-0.08	-0.18	-0.07	0.61	0.98	1.01	1.04	1.05	1.85	1.17	0.85	0.26	0.71
ESTERO DEL MEDIO	0.07	0.07	0.10	0.33	0.44	0.40	0.44	0.56	0.68	0.46	0.33	0.14	0.33
ESTERO ISLA ROA	1.97	0.18	-0.34	-	-	-	-	-	-	-	-	1.09	-
RIO EL CANELO	-0.87	0.07	1.09	1.79	1.62	0.88	0.25	0.55	2.36	1.15	0.87	-0.09	0.81
ESTERO PUNTA SANTA CRUZ	1.22	-0.14	-0.53	-1.15	-1.91	-1.91	-1.91	-1.91	-1.91	-1.72	-0.15	0.55	-0.95
ESTERO LA COTA	8.56	3.33	1.82	-	-	-	-	-	-	-	-	5.98	-
RIO SANTA MARIA	-1.62	-1.64	-1.53	-1.23	-1.17	-1.25	-1.39	-1.37	-0.84	-1.19	-1.30	-1.52	-1.34
ESTERO CUTTER	4.32	0.88	-0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	2.63	-
RIO AGUA FRESCA	-0.22	0.29	1.57	3.81	4.06	3.09	1.82	2.01	6.42	3.67	2.85	0.92	2.52
ESTERO ISLA FONDEADERO	2.53	0.97	0.52	-	-	-	-	-	-	-	-	1.76	-
RIO PUNTA SIERRALTA	0.38	1.00	1.47	1.75	1.51	1.00	0.60	1.00	1.61	1.22	1.21	0.82	1.13
ESTERO TRES MONTES	2.29	0.33	-0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	1.32	-
RÍO PUNTA ACEVEDO	18.84	11.20	8.81	5.42	0.70	0.38	0.16	0.50	1.33	2.60	11.00	15.03	6.33
RIO SILVA PALMA	8.77	4.50	3.28	1.33	-1.03	-1.03	-1.03	-1.03	-1.03	-0.45	4.45	6.67	1.95
RIO BACHELOR													
ESTERO 4 LAGUNAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RIO FONDO SENO PALMA	4.55	2.68	2.14	-	-	-	-	-	-	-	-	3.63	-
ESTERO ISLA DOÑAS	8.21	3.48	2.12	-	-	-	-	-	-	-	-	5.88	-
RIO SAN BERNABE	14.97	8.12	6.15	-	-	-	-	-	-	-	-	11.60	-
ESTERO DOS SARDINAS	1.58	0.15	-0.26	-	-	-	-	-	-	-	-	0.88	-
RIO SAN PEDRO	-3.53	-3.00	-2.45	-2.02	-2.12	-2.53	-2.94	-2.85	-1.66	-2.36	-2.53	-3.11	-2.59
RIO SAN NICOLAS O GENNES	0.31	0.62	0.93	1.18	1.12	0.88	0.65	0.70	1.38	0.98	0.89	0.56	0.85
RIO PARQUE FRANCISCO COLOANE	60.18	32.80	24.92	-	-	-	-	-	-	-	-	46.69	-
RIO DEL ORO	56.91	31.21	23.81	-	-	-	-	-	-	-	-	44.24	-
RIO NODALES	5.60	2.30	1.35	-0.15	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98	-1.52	2.26	3.98	0.33
ESTERO SENO SILVA PALMA	-0.03	-1.36	-1.74	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.69	-
LAGUNA BLANCA NE	0.05	0.10	0.13	0.18	0.15	0.18	0.20	0.14	0.13	0.08	0.13	0.08	0.13
LAGUNA BLANCA SW	0.08	0.14	0.18	0.25	0.21	0.24	0.28	0.19	0.18	0.12	0.17	0.11	0.18

TABLA 19. Índice de Seguridad Hídrica en el **periodo futuro Cuenca de Punta Arenas (m³/s).**

Microcuenca \ Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PROM. ANUAL
CATEGORÍA 1													
RIO LAS MINAS EN BT. SENDOS	-0.12	-0.19	-0.23	-0.25	-0.23	-0.10	-0.15	-0.17	0.24	0.50	0.21	0.01	-0.04
RIO TRES BRAZOS ANTES BT. SENDOS	-0.32	-0.38	-0.41	-0.42	-0.26	0.22	0.11	0.06	0.97	0.52	0.09	-0.19	0.00
RIO SAN JUAN EN DESEMBOCADURA	8.16	7.83	10.28	14.51	16.31	12.84	8.95	8.59	15.84	16.94	14.29	10.53	12.09
RIO CALETE EN SENO OTWAY	3.67	3.45	3.79	4.31	4.69	1.81	0.07	-1.11	5.59	5.00	4.88	4.13	3.36
RIO GRANDE EN SENO OTWAY	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	0.05	0.05	0.11	0.29	1.40	0.12	0.01	-0.01	0.16
CATEGORÍA 2-3													
RÍO LEGNADURA ANTES BT SENDOS	-0.35	-0.35	-0.36	-0.36	-0.35	-0.35	-0.36	-0.27	-0.08	-0.32	-0.35	-0.35	-0.32
ESTERO CAÑADON GRANDE	-0.46	-0.48	-0.49	-0.46	-0.49	-0.47	-0.41	-0.43	-0.47	-0.49	-0.47	-0.49	-0.47
RIO DEL CONDOR	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
ESTERO POSESION	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.09	-0.09	-0.09	-0.08
ESTERO RANCHO CARANCHO 2	-0.04	-0.05	-0.05	-0.04	-0.05	-0.05	-0.03	-0.03	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
ESTERO RANCHO CARANCHO 1	-0.02	-0.03	-0.04	-0.02	-0.04	-0.04	0.00	-0.01	-0.03	-0.04	-0.03	-0.04	-0.03
ESTERO FARO CERRO DIRECCION	-0.25	-0.27	-0.30	-0.25	-0.30	-0.28	-0.20	-0.20	-0.26	-0.30	-0.27	-0.30	-0.26
LAGUNA BLANCA	-0.17	-0.21	-0.25	-0.18	-0.26	-0.24	-0.11	-0.12	-0.20	-0.26	-0.21	-0.25	-0.20
RIO CHIORRILLO KIMIRI AIKE	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.16	-0.16	-0.16	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17
ESTERO TERCER CHORRILLO	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03
ESTERO EL ESTRECHO	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
ESTERO ESTANCIA ALEJANDRA	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
ESTERO SANHUEZA	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03
ESTERO PUERTO SARA	-3.65	-3.65	-3.65	-3.65	-3.65	-3.58	-3.48	-3.49	-3.60	-3.64	-3.65	-3.65	-3.61
ESTERO MALLIN	-0.05	-0.06	-0.07	-0.07	-0.04	-0.06	-0.04	-0.06	-0.04	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06
ESTERO BAHIA OAZY	-0.04	-0.05	-0.06	-0.06	-0.04	-0.05	-0.04	-0.05	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
ESTERO SANTA MARIA	-0.05	-0.06	-0.06	-0.06	-0.05	-0.06	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.06	-0.05
ESTERO CASMIRO	-0.38	-0.41	-0.48	-0.47	-0.34	-0.42	-0.31	-0.40	-0.33	-0.42	-0.41	-0.44	-0.40
LAGUNA DEL TORO	-0.07	-0.08	-0.10	-0.10	-0.06	-0.08	-0.06	-0.08	-0.06	-0.08	-0.08	-0.09	-0.08
ESTERO LAGUNA DEL TORO	-0.08	-0.09	-0.11	-0.11	-0.07	-0.09	-0.07	-0.09	-0.07	-0.09	-0.09	-0.10	-0.09
ESTERO LOS TRES PALOS	-0.14	-0.17	-0.24	-0.23	-0.11	-0.18	-0.10	-0.18	-0.11	-0.18	-0.17	-0.20	-0.17
ESTRECHO VERDANA	-1.77	-2.10	-2.94	-2.78	-1.35	-2.27	-1.32	-2.24	-1.34	-2.27	-2.11	-2.44	-2.08
ESTERO ENTRE VIENTO	-0.11	-0.12	-0.13	-0.13	-0.10	-0.12	-0.09	-0.11	-0.10	-0.12	-0.12	-0.12	-0.11
ESTERO PESCADO	-0.13	-0.15	-0.21	-0.20	-0.10	-0.17	-0.10	-0.16	-0.10	-0.17	-0.15	-0.18	-0.15

Micro cuenca \ Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PROM. ANUAL
RIO PESCADO	-0.16	-0.17	-0.21	-0.20	-0.15	-0.18	-0.14	-0.17	-0.15	-0.18	-0.17	-0.19	-0.17
ESTERO CHABUNCO	0.11	0.09	0.05	0.06	0.13	0.08	0.14	0.09	0.13	0.08	0.09	0.08	0.09
RIO DE LOS PATOS	-0.16	-0.30	-0.38	-0.42	-0.38	-0.12	-0.22	-0.27	0.59	1.13	0.53	0.10	0.01
ESTERO DEL MEDIO	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.04	-0.06	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07
ESTERO ISLA ROA	-2.06	-1.95	-1.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-2.12	-
RIO EL CANELO	1.20	1.05	1.38	2.17	2.39	0.51	-0.84	-1.40	0.99	5.06	3.21	1.99	1.48
ESTERO PUNTA SANTA CRUZ	-1.84	-1.76	-1.75	-1.78	-1.81	-1.83	-1.85	-1.86	-1.87	-1.88	-1.88	-1.88	-1.83
ESTERO LA COTA	-3.22	-2.89	-2.87	-	-	-	-	-	-	-	-	-3.38	-
RIO SANTA MARIA	-1.75	-1.76	-1.77	-1.77	-1.73	-1.58	-1.61	-1.63	-1.34	-1.48	-1.62	-1.70	-1.65
ESTERO CUTTER	-3.42	-3.20	-3.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-3.52	-
RIO AGUA FRESCA	-0.58	-0.65	-0.29	0.40	1.04	1.39	0.78	1.18	2.51	1.61	0.67	0.04	0.68
ESTERO ISLA FONDEADERO	-0.99	-0.89	-0.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.03	-
RIO PUNTA SIERRALTA	2.13	2.03	2.19	2.39	2.56	1.20	0.33	-0.17	2.61	2.75	2.68	2.37	1.92
ESTERO TRES MONTES	-2.13	-2.00	-2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-2.19	-
RÍO PUNTA ACEVEDO	0.51	0.68	0.88	0.85	0.79	0.16	-0.28	-0.40	0.63	0.83	0.59	0.46	0.47
RIO SILVA PALMA	-0.84	-0.57	-0.55	-0.65	-0.73	-0.79	-0.85	-0.89	-0.92	-0.94	-0.96	-0.97	-0.80
RIO BACHELOR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ESTERO 4 LAGUNAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RIO FONDO SENO PALMA	0.34	0.46	0.46	-	-	-	-	-	-	-	-	0.28	-
ESTERO ISLA DOÑAS	-2.44	-2.14	-2.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-2.59	-
RIO SAN BERNABE	-0.45	-0.02	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.66	-
ESTERO DOS SARDINAS	-1.64	-1.55	-1.54	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.68	-
RIO SAN PEDRO	-3.63	-3.63	-3.31	-2.84	-2.57	-2.75	-3.07	-2.90	-2.92	-3.15	-3.28	-3.49	-3.13
RIO SAN NICOLAS O GENNES	0.26	0.26	0.44	0.71	0.86	0.76	0.58	0.68	0.66	0.53	0.46	0.34	0.54
RÍO PARQUE FRANCISCO COLOANE	-1.49	0.24	0.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-2.32	-
RIO DEL ORO	-0.97	0.65	0.74	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.74	-
RIO NODALES	-1.83	-1.62	-1.61	-1.68	-1.74	-1.79	-1.83	-1.87	-1.89	-1.91	-1.92	-1.93	-1.80
ESTERO SENO SILVA PALMA	-3.02	-2.94	-2.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-3.06	-
LAGUNA BLANCA NE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
LAGUNA BLANCA SW	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01

ISH Futuro (2060)



El 63% de las microcuencas analizadas en la **Cuenca de Tierra del Fuego** posee un ISH negativo en el periodo histórico, situación que aumenta a un 70% en el periodo futuro.

3

**CUENCA TIERRA
DEL FUEGO**

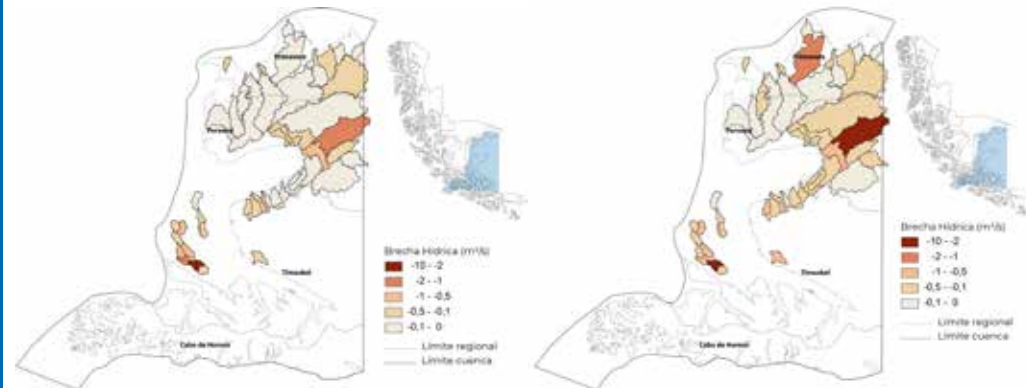


ÍNDICE DE SEGURIDAD HÍDRICA

Brecha Hídrica Histórica considerando ISH más crítico

Periodo Abril-Septiembre (2010-2020)

Periodo Octubre-Marzo (2010-2020)



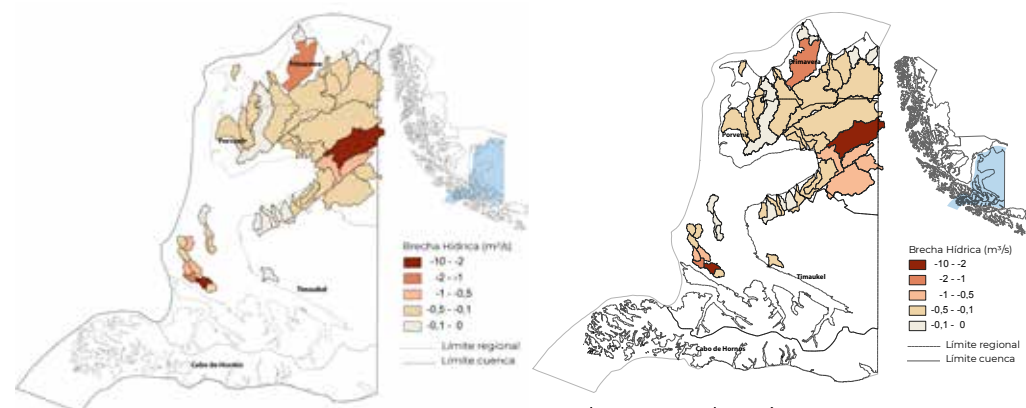
63%
de las microcuencas analizadas poseen un ISH negativo en este periodo

Se observa que las microcuencas Estero Salado (San Martín) y Río Estrecho (Sur Isla Dawson) presentan los valores máximos de brecha histórica, con un $-2,13 \text{ m}^3/\text{s}$ y $-6,47 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

Brecha Hídrica Futura considerando ISH más crítico

Periodo Abril-Septiembre (2060)

Periodo Octubre-Marzo (2060)



70%
de las microcuencas analizadas poseen un ISH negativo en este periodo

Se observa que las microcuencas Estero Salado (San Martín) y Río Estrecho (Sur Isla Dawson) presentan los valores máximos de brecha Futura, con un $-2,15 \text{ m}^3/\text{s}$ y $-6,43 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

Cabe señalar que la microcuenca Río Estrecho (Sur Isla Dawson) disminuye su brecha hídrica futura en comparación con la histórica, esto debido a los cambios en precipitaciones y temperatura futuras, que provocan cambio en las magnitudes y temporalidad de los derretimientos de nieve.

A continuación, se muestran los mapas en el periodo Abril-Septiembre proyectado al 2050 sin SbN y con SbN.

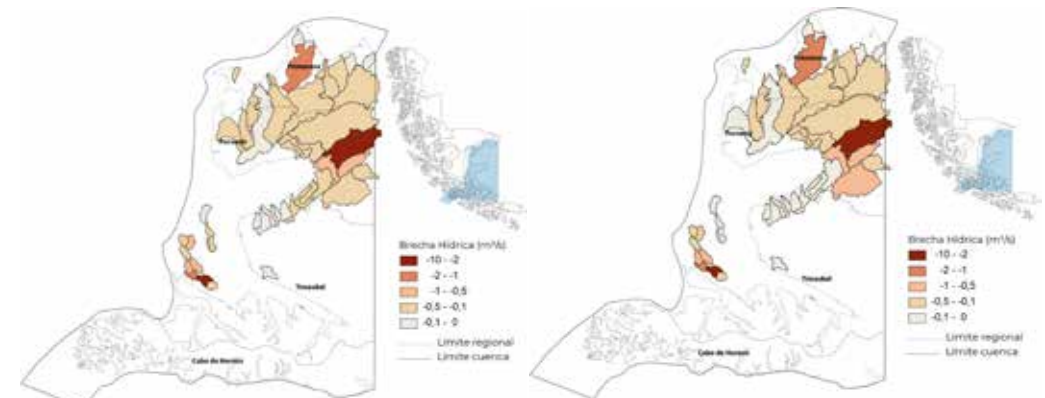
Brecha Hídrica Futura con y sin SbN

Periodo Abril-Septiembre proyectado al 2060

Periodo Abril - Septiembre proyectado al 2060

SIN SbN

CON SbN



51%
de las microcuencas analizadas poseen un ISH negativo en este periodo (disminuyen un 15% con SbN)

La zona sur de la cuenca de Tierra del Fuego es la que presenta mayor impacto positivo ($2,12 \text{ m}^3/\text{s}$) de las SbN, cerrando incluso la brecha (15%) en microcuencas presentes al norte del puerto Harris y en la zona de Cameron.

TABLA 20. Índice de Seguridad Hidrica **histórico en Cuenca de Tierra del Fuego (m³/s)**

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

Micro cuenca \ Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PROM. ANUAL
CATEGORÍA 1													
RIO OSCAR EN BAHÍA SAN FELIPE	0.47	0.42	0.52	0.85	1.08	1.35	1.64	2.10	1.86	1.19	0.68	0.60	1.06
RIO SIDE EN CERRO SOMBRERO	0.16	0.29	0.25	0.28	0.29	0.73	1.09	1.08	0.72	0.32	0.10	0.13	0.45
RIO RASMUSSEN EN FRONTERA (ESTANCIA VICUÑA)	3.17	2.98	3.15	4.17	4.61	5.62	5.91	6.69	9.92	10.94	6.89	3.92	5.66
RIO CATALINA EN PAMPA GUANACOS	1.63	1.51	1.54	1.54	1.53	1.65	2.39	2.79	3.50	3.53	2.27	1.78	2.14
RIO CULLEN EN FRONTERA	-0.22	-0.22	-0.21	-0.21	-0.21	-0.19	-0.18	-0.18	-0.20	-0.21	-0.21	-0.22	-0.20
RIO AZOPARDO EN DESEMBOCADURA	60.43	47.42	43.19	-	-	-	-	-	-	-	-	55.29	-
RIO CALETA EN TIERRA DEL FUEGO	-0.29	-0.33	-0.25	0.19	-0.03	0.39	0.38	0.53	0.54	0.32	-0.07	-0.23	0.09
RIO ORO EN BAHÍA SAN FELIPE	1.18	1.11	1.22	1.53	1.80	2.45	3.18	2.90	3.02	2.30	1.73	1.35	1.98
RIO GRANDE EN TIERRA DEL FUEGO	24.22	20.16	20.48	22.47	28.44	31.04	37.16	39.38	44.42	48.47	41.30	29.75	32.27
RIO HERMINITA EN RUTA Y-895	12.18	12.18	12.22	12.35	12.49	12.52	13.47	14.50	14.33	12.72	12.41	12.30	12.81
RIO CHICO EN RUTA Y-895	1.07	0.95	1.28	1.38	1.86	2.51	2.79	3.14	2.76	1.75	1.29	1.05	1.82
RIO SAN MARTIN EN SAN SEBASTIÁN	-0.39	-0.41	-0.41	-0.39	-0.40	-0.36	-0.30	-0.22	-0.34	-0.41	-0.45	-0.40	-0.37
CATEGORÍA 2-3													
ESTERO PROGRESO	-0.02	-0.02	-0.01	0.02	0.05	0.08	0.10	0.09	0.05	0.01	-0.01	-0.02	0.03
ESTERO CERRO SOMBRERO	-0.01	-0.01	0.00	0.01	0.02	0.04	0.05	0.04	0.02	0.00	0.00	-0.01	0.01
ESTERO LA ESTANCIA	-1.50	-1.39	-1.12	0.55	1.48	2.56	3.40	3.06	1.93	0.39	-0.38	-1.19	0.65
ESTERO PUNTA CATALINA	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
ESTERO ESPIRITU SANTO	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01
ESTERO LOS BOFEDALES 2	-0.28	-0.23	-0.19	-0.10	-0.10	-0.04	-0.04	-0.08	-0.15	-0.21	-0.21	-0.26	-0.16
RIO CALAFATE	-0.05	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
ESTERO MORRO SAN SIMON	-0.24	-0.24	-0.25	-0.22	-0.20	-0.17	-0.14	-0.13	-0.15	-0.17	-0.20	-0.22	-0.19
ESTERO LA PORFIADA	-0.10	-0.08	-0.07	-0.02	-0.03	-0.01	-0.02	-0.04	-0.07	-0.08	-0.07	-0.09	-0.06
ESTERO PUNTA PIEDRA	-0.26	-0.23	-0.20	-0.18	-0.15	-0.12	-0.09	-0.10	-0.11	-0.14	-0.15	-0.21	-0.16
ESTERO EÑL BOFEDAL	0.08	0.08	0.09	0.12	0.14	0.17	0.19	0.18	0.14	0.09	0.08	0.08	0.12
ESTERO LA PRIMAVERA	-0.03	0.06	0.13	0.34	0.33	0.44	0.43	0.31	0.18	0.09	0.11	0.01	0.20
RIO OSCAR	-0.21	-0.22	-0.20	-0.17	-0.14	-0.12	-0.08	-0.08	-0.10	-0.15	-0.18	-0.20	-0.15
ESTERO AGUA SANTA	-0.12	-0.10	-0.01	0.14	0.28	0.40	0.55	0.68	0.58	0.40	0.22	0.05	0.26
RIO VERDE	0.22	0.37	0.53	0.88	1.10	1.36	1.65	1.68	1.47	1.12	0.88	0.50	0.98
RIO FILARET 1	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
RIO FILARET 2	-0.18	-0.15	-0.25	1.43	2.16	1.91	2.45	2.49	1.36	0.48	0.18	-0.15	0.98
ESTERO ESTANCIA GENTE GRANDE	0.33	0.40	0.64	1.07	1.54	1.99	2.56	2.76	2.53	1.93	1.35	0.82	1.49
ESTERO SALADO	-2.09	-2.09	-2.13	-1.35	-1.03	-1.14	-0.90	-0.88	-1.39	-1.79	-1.94	-2.08	-1.57
ESTERO PUNTA CHILOTA	0.61	0.73	0.87	1.18	1.37	1.60	1.87	1.87	1.70	1.39	1.17	0.85	1.27
RIO PORVENIR	0.13	0.16	0.19	0.26	0.30	0.34	0.40	0.39	0.36	0.29	0.25	0.18	0.27
ESTERO ESTANCIA COPIHUE	-0.35	-0.33	-0.27	-0.19	-0.17	-0.12	-0.08	-0.08	-0.14	-0.23	-0.26	-0.34	-0.21

Micro cuenca \ Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PROM. ANUAL
ESTERO TRES HERMANOS	-0.16	-0.16	-0.16	-0.14	-0.13	-0.13	-0.12	-0.12	-0.14	-0.15	-0.15	-0.16	-0.14
ESTERO PUNTA NUEVA	-0.13	-0.13	-0.13	-0.12	-0.12	-0.12	-0.11	-0.11	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.12
ESTERO JACK CAMERON	-0.38	-0.38	-0.38	-0.33	-0.30	-0.31	-0.29	-0.29	-0.32	-0.35	-0.37	-0.38	-0.34
RIO SANTA MARIA	0.10	0.12	0.15	0.20	0.24	0.28	0.32	0.32	0.29	0.23	0.20	0.14	0.22
ESTERO ESTANCIA CALETA JOSEFINA	-0.64	-0.63	-0.62	-0.59	-0.49	-0.61	-0.67	-0.57	-0.69	-0.67	-0.64	-0.66	-0.62
ESTERO GODOY	-0.29	-0.23	0.11	1.08	1.44	1.97	2.79	2.34	1.57	0.48	0.35	-0.20	0.95
RIO CACHIMBA	-0.22	-0.06	-0.31	0.57	0.36	0.48	0.56	0.42	0.27	-0.25	-0.32	-0.41	0.09
RIO HONDO	-0.21	-0.23	-0.24	0.27	0.47	0.73	0.93	0.83	0.59	0.18	0.07	-0.16	0.27
RIO TORRIDO	-0.17	-0.19	-0.19	0.37	0.60	0.89	1.11	0.99	0.73	0.27	0.14	-0.11	0.37
RIO ANA	0.06	0.05	0.05	0.10	0.27	0.43	0.49	0.50	0.37	0.22	0.12	0.07	0.23
RIO GREEN	-0.25	-0.25	-0.25	-0.24	-0.06	0.11	0.17	0.21	0.06	-0.09	-0.20	-0.24	-0.09
RIO MC CLELLAND	-0.18	-0.18	-0.18	-0.06	0.34	0.71	0.87	0.89	0.58	0.21	-0.01	-0.14	0.24
ESTERO CALIFORNIA	-0.25	-0.26	-0.26	0.11	0.37	0.71	0.90	0.81	0.56	0.15	0.02	-0.20	0.22
ESTERO AERODROO DAWSON	0.13	0.08	0.00	0.00	0.15	0.23	0.20	0.19	0.11	0.12	0.40	0.45	0.17
RIO MORITZ	-0.25	-0.25	-0.25	-0.24	0.03	0.28	0.37	0.43	0.21	-0.02	-0.18	-0.24	-0.01
RIO BUENO E.	-0.45	-0.50	-0.52	-0.26	0.05	0.22	0.42	0.54	0.41	0.14	-0.06	-0.29	-0.02
RIO BLANCO	-0.23	-0.24	-0.24	-0.20	0.32	0.81	1.00	1.12	0.69	0.22	-0.09	-0.21	0.25
RIO BAHIA AMIGO	-0.28	-0.31	-0.36	-0.37	-0.27	-0.21	-0.23	-0.24	-0.29	-0.29	-0.10	-0.07	-0.25
RIO FOX	-0.04	-0.08	-0.14	-0.14	-0.02	0.03	0.01	0.00	-0.05	-0.05	0.16	0.20	-0.01
ESTERO PUNTA ARBOLADA	-0.10	-0.14	-0.19	-0.19	-0.09	-0.04	-0.06	-0.07	-0.11	-0.11	0.07	0.10	-0.08
ESTERO FINO	-0.02	0.00	0.10	0.30	0.33	0.42	0.52	0.61	0.52	0.35	0.24	0.06	0.29
ESTERO MESKEM	-0.43	-0.47	-0.53	-0.53	-0.41	-0.35	-0.37	-0.38	-0.44	-0.44	-0.22	-0.18	-0.40
ESTERO ORIENTAL	-0.16	-0.21	-0.29	-0.29	-0.14	-0.07	-0.09	-0.10	-0.18	-0.17	0.10	0.15	-0.12
RIO GRANDE	4.30	4.29	4.33	4.57	4.75	4.80	4.98	4.79	4.73	4.53	4.47	4.34	4.57
RIO SANTA LUDGARDA	-0.34	-0.38	-0.44	-0.44	-0.32	-0.26	-0.28	-0.29	-0.35	-0.35	-0.13	-0.09	-0.31
RIO GRANDE O CONDOR	4.74	5.18	7.62	12.83	16.93	25.09	30.84	33.18	29.50	19.03	12.71	7.07	17.06
ESTERO BAHIA NO ENTRES	0.32	0.29	0.24	0.23	0.34	0.39	0.37	0.36	0.31	0.32	0.50	0.54	0.35
ESTERO CANAL GABRIEL 1	3.68	1.80	1.26	0.40	-0.64	-0.64	-0.64	-0.64	-0.64	-0.39	1.77	2.75	0.67
RIO PUERTO COISEL	5.21	2.56	1.79	0.59	-0.89	-0.89	-0.89	-0.89	-0.89	-0.52	2.53	3.90	0.97
ESTERO CANAL GABRIEL 2	2.81	1.11	0.62	-0.15	-1.09	-1.09	-1.09	-1.09	-1.09	-0.86	1.09	1.98	0.09
ESTERO PUERTO ARTURO	-0.70	-0.66	-0.48	-0.12	-0.07	0.11	0.28	0.44	0.28	-0.02	-0.24	-0.55	-0.15
RIO ESTRECHO 1	-0.58	-3.14	-3.88	-5.05	-6.47	-6.47	-6.47	-6.47	-6.47	-6.12	-3.17	-1.84	-4.68
ESTERO PARALELO	-0.79	-0.79	-0.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.78	-
ESTERO LOS FIORDOS	-0.35	-0.35	-0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.35	-
RIO PARALELO 1	0.09	0.08	0.08	0.08	0.38	1.50	2.14	2.07	1.59	0.82	0.24	0.11	0.76
RIO PARALELO	-0.77	-0.79	-0.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.68	-
RIO ESTRECHO 2	-0.34	-0.37	-0.42	-0.42	-0.33	-0.28	-0.30	-0.31	-0.35	-0.35	-0.18	-0.14	-0.32
RIO PARALELO	-1.11	-1.11	-1.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.09	-
ESTERO EL VERTICE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RIO OESTE	1.47	1.19	0.79	-	-	-	-	-	-	-	-	3.14	-
RIO MARINELLI NORTE	2.33	2.16	1.88	-	-	-	-	-	-	-	-	3.58	-
ESTERO BAHIA JACKSON	0.03	-0.01	-0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	0.27	-
ESTERO BAHIA PARRY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RIO CALETA MARIA	0.28	0.22	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	0.62	-
RIO LAPATALA O ROCA	11.71	10.86	9.40	-	-	-	-	-	-	-	-	18.14	-

ISH histórico (1981-2020)

TABLA 21. Índice de Seguridad Hídrica **periodo futuro en Cuenca de Tierra del Fuego** (m³/s).

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

Microcuenca \ Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PROM. ANUAL
CATEGORÍA 1													
RIO OSCAR EN BAHÍA SAN FELIPE	-0.20	-0.20	-0.17	-0.18	-0.20	-0.09	0.06	0.04	-0.11	-0.17	-0.19	-0.17	-0.13
RIO SIDE EN CERRO SOMBRERO	-0.34	-0.34	-0.35	-0.35	-0.40	-0.34	-0.19	-0.20	-0.33	-0.37	-0.35	-0.34	-0.32
RIO RASMUSSEN EN FRONTERA (ESTANCIA VICUÑA)	2.22	1.98	1.87	1.81	1.82	1.89	2.65	3.85	5.40	6.29	4.02	2.81	3.05
RIO CATALINA EN PAMPA GUANACOS	1.41	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.42	1.48	2.24	2.20	1.67	1.47	1.57
RIO CULLEN EN FRONTERA	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.22	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23
RIO AZOPARDO EN DESEMBOCADURA	21.44	18.98	16.91	-	-	-	-	-	-	-	-	24.52	-
RIO CALETA EN TIERRA DEL FUEGO	0.24	0.25	0.58	1.19	1.53	1.53	1.54	1.58	1.30	1.05	0.81	0.53	1.01
RIO ORO EN BAHÍA SAN FELIPE	-0.05	-0.06	-0.07	-0.06	0.02	0.17	0.35	0.40	0.24	0.11	0.03	-0.02	0.09
RIO GRANDE EN TIERRA DEL FUEGO	15.49	15.43	15.38	15.34	15.32	15.30	15.36	15.41	15.91	15.98	15.68	15.58	15.52
RIO HERMINITA EN RUTA Y-895	11.79	11.73	11.69	11.65	11.63	11.61	11.66	11.71	12.22	12.29	11.98	11.88	11.82
RIO CHICO EN RUTA Y-895	-0.99	-0.99	-0.98	-0.41	0.04	-0.26	-0.39	-0.30	0.57	1.37	-0.46	-0.94	-0.31
RIO SAN MARTIN EN SAN SEBASTIÁN	-0.49	-0.49	-0.50	-0.51	-0.52	-0.51	-0.53	-0.50	-0.48	-0.52	-0.51	-0.50	-0.51
CATEGORÍA 2-3													
ESTERO PROGRESO	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
ESTERO CERRO SOMBRERO	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
ESTERO LA ESTANCIA	-1.67	-1.67	-1.67	-1.67	-1.67	-1.67	-1.67	-1.67	-1.67	-1.67	-1.67	-1.67	-1.67
ESTERO PUNTA CATALINA	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
ESTERO ESPIRITU SANTO	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
ESTERO LOS BOFEDALES 2	-0.31	-0.31	-0.31	-0.31	-0.31	-0.31	-0.30	-0.30	-0.31	-0.31	-0.31	-0.31	-0.31
RIO CALAFATE	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
ESTERO MORRO SAN SIMON	-0.26	-0.26	-0.26	-0.26	-0.27	-0.27	-0.28	-0.27	-0.27	-0.27	-0.27	-0.26	-0.27
ESTERO LA PORFIADA	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.12	-0.11	-0.11	-0.12
ESTERO PUNTA PIEDRA	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.29	-0.29	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30
ESTERO ENL BOFEDAL	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07
ESTERO LA PRIMAVERA	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.10	-0.10	-0.12	-0.13	-0.12	-0.10	-0.08	-0.08	-0.10
RIO OSCAR	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22
ESTERO AGUA SANTA	-0.29	-0.29	-0.29	-0.31	-0.34	-0.35	-0.34	-0.26	-0.31	-0.31	-0.30	-0.29	-0.31
RIO VERDE	-0.26	-0.27	-0.28	-0.25	-0.15	-0.04	0.05	0.09	-0.04	-0.14	-0.20	-0.24	-0.14
RIO FILARET 1	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
RIO FILARET 2	-0.38	-0.39	-0.39	-0.39	-0.04	0.30	-0.08	0.39	0.69	-0.14	-0.33	-0.35	-0.09
ESTERO ESTANCIA GENTE GRANDE	-0.13	-0.14	-0.15	-0.15	-0.15	-0.06	0.14	0.18	0.07	-0.02	-0.08	-0.11	-0.05
ESTERO SALADO	-2.15	-2.16	-2.16	-2.16	-1.99	-1.83	-2.02	-1.79	-1.64	-2.04	-2.13	-2.14	-2.02
ESTERO PUNTA CHILOTA	0.20	0.18	0.18	0.21	0.31	0.41	0.51	0.52	0.42	0.32	0.26	0.22	0.31
RIO PORVENIR	0.04	0.04	0.03	0.04	0.07	0.09	0.11	0.11	0.09	0.07	0.05	0.04	0.07
ESTERO ESTANCIA COPIHUE	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.40	-0.40	-0.40	-0.39	-0.39	-0.39	-0.39
ESTERO TRES HERMANOS	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.15	-0.15	-0.15	-0.14	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16
ESTERO PUNTA NUEVA	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13

Microcuenca \ Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PROM. ANUAL
CATEGORÍA 2-3													
ESTERO JACK CAMERON	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.37	-0.36	-0.37	-0.35	-0.34	-0.37	-0.38	-0.38	-0.37
RIO SANTA MARIA	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.06	0.08	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.04
ESTERO ESTANCIA CALETA JOSEFINA	-0.65	-0.64	-0.63	-0.69	-0.62	-0.70	-0.81	-0.69	-0.72	-0.70	-0.67	-0.67	-0.68
ESTERO GODOY	-0.10	-0.21	-0.27	-0.28	0.59	1.29	1.69	1.99	1.57	0.93	0.47	0.11	0.65
RIO CACHIMBA	-0.44	-0.43	-0.42	-0.19	0.22	0.16	0.09	0.33	0.05	-0.34	-0.50	-0.46	-0.16
RIO HONDO	-0.07	-0.14	-0.18	-0.20	0.10	0.52	0.76	0.91	0.75	0.51	0.26	0.05	0.27
RIO TORRIDO	-0.01	-0.09	-0.13	-0.15	0.18	0.65	0.91	1.08	0.91	0.63	0.35	0.13	0.37
RIO ANA	0.16	0.12	0.10	0.25	0.49	0.57	0.61	0.68	0.60	0.48	0.37	0.25	0.39
RIO GREEN	-0.12	-0.17	-0.17	0.03	0.24	0.30	0.32	0.39	0.31	0.19	0.09	-0.04	0.11
RIO MC CLELLAND	0.08	-0.03	-0.06	0.30	0.86	1.07	1.14	1.31	1.11	0.84	0.58	0.28	0.62
ESTERO CALIFORNIA	-0.09	-0.16	-0.20	-0.22	0.20	0.55	0.78	0.93	0.77	0.51	0.25	0.04	0.28
ESTERO AERODROO DAWSON	0.49	0.37	0.28	0.24	0.26	0.17	0.10	0.04	-0.01	0.18	0.80	0.64	0.30
RIO MORITZ	-0.07	-0.14	-0.14	0.17	0.48	0.57	0.60	0.69	0.58	0.41	0.25	0.06	0.29
RIO BUENO E.	-0.18	-0.18	0.02	0.39	0.60	0.61	0.62	0.63	0.47	0.32	0.17	0.00	0.29
RIO BLANCO	0.13	-0.02	-0.02	0.60	1.21	1.40	1.46	1.65	1.41	1.08	0.76	0.39	0.84
RIO BAHIA AMIGO	-0.04	-0.12	-0.18	-0.21	-0.19	-0.25	-0.30	-0.34	-0.37	-0.25	0.17	0.06	-0.17
RIO FOX	0.23	0.14	0.07	0.04	0.06	-0.01	-0.06	-0.11	-0.15	-0.01	0.47	0.35	0.08
ESTERO PUNTA ARBOLADA	0.12	0.05	-0.01	-0.03	-0.02	-0.08	-0.12	-0.16	-0.19	-0.07	0.33	0.22	0.00
ESTERO FINO	0.17	0.16	0.30	0.51	0.63	0.61	0.62	0.64	0.51	0.42	0.36	0.24	0.43
ESTERO MESKEM	-0.15	-0.24	-0.31	-0.35	-0.33	-0.40	-0.45	-0.50	-0.54	-0.39	0.09	-0.04	-0.30
ESTERO ORIENTAL	0.19	0.07	-0.01	-0.06	-0.04	-0.12	-0.19	-0.25	-0.30	-0.12	0.50	0.34	0.00
RIO GRANDE	4.43	4.37	4.33	4.31	4.29	4.29	4.29	4.29	4.30	4.71	4.72	4.54	4.40
RIO SANTA LUDGARDA	-0.06	-0.15	-0.22	-0.25	-0.24	-0.31	-0.36	-0.41	-0.45	-0.30	0.18	0.06	-0.21
RIO GRANDE O CONDOR	11.12	10.47	13.57	20.77	24.95	25.31	27.17	30.71	27.91	22.77	19.18	14.56	20.71
ESTERO BAHIA NO ENTRES	0.56	0.48	0.42	0.40	0.41	0.35	0.30	0.26	0.23	0.35	0.77	0.66	0.43
ESTERO CANAL GABRIEL 1	-0.56	-0.44	-0.43	-0.48	-0.51	-0.54	-0.56	-0.58	-0.59	-0.60	-0.61	-0.61	-0.54
RIO PUERTO COISEL	-0.77	-0.60	-0.59	-0.65	-0.70	-0.74	-0.77	-0.80	-0.82	-0.83	-0.84	-0.85	-0.75
ESTERO CANAL GABRIEL 2	-1.02	-0.91	-0.90	-0.94	-0.97	-1.00	-1.02	-1.04	-1.05	-1.06	-1.07	-1.07	-1.00
ESTERO PUERTO ARTURO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RIO ESTRECHO 1	-6.35	-6.19	-6.18	-6.24	-6.29	-6.33	-6.36	-6.38	-6.40	-6.42	-6.43	-6.43	-6.33
ESTERO PARALELO	-0.75	-0.77	-0.78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.71
ESTERO LOS FIORDOS	-0.33	-0.34	-0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.32
RIO PARALELO	0.21	0.16	0.13	0.11	0.10	0.10	0.40	1.07	1.18	0.74	0.46	0.30	0.41
RIO PARALELO	-0.36	-0.53	-0.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.04
RIO ESTRECHO 2	-0.12	-0.19	-0.25	-0.28	-0.26	-0.32	-0.36	-0.40	-0.43	-0.31	0.07	-0.03	-0.24
RIO PARALELO	-1.03	-1.06	-1.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.97
ESTERO EL VERTICE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RIO OESTE	3.37	2.74	2.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.21
RIO MARINELLI NORTE	5.11	4.45	3.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.69
ESTERO BAHIA JACKSON	0.30	0.21	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.41
ESTERO BAHIA PARRY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RIO CALETA MARIA	0.65	0.53	0.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.82
RIO LAPATALA O ROCA	25.68	21.84	19.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27.14

3.8. CURVA DE ABATIMIENTO

Las curvas de abatimiento corresponden a gráficas que buscan evaluar las soluciones propuestas para el territorio, teniendo como base el aporte volumétrico de agua según el potencial asociado a la superficie de implementación y el costo unitario, es decir, costo por metro cúbico de agua de cada una de las soluciones. Las curvas de abatimiento se proponen como herramienta de toma de decisiones para la implementación de distintas soluciones en el territorio, sin embargo, en esta primera etapa, se consideraron solo Soluciones basadas en la Naturaleza, por lo que, es necesario complementar en una próxima etapas estas curvas con, soluciones de eficiencia y uso

estratégico del recurso hídrico, además de soluciones asociadas a migración e incorporación de nuevas fuentes de agua.

De acuerdo a los resultados obtenidos para las curvas de abatimiento desarrolladas, la comuna de Timaukel lograría cerrar su brecha hídrica implementando el conjunto de SbN Potenciales identificadas, mientras que en Punta Arenas, las SbN contribuyen con un 18% de agua para abatir su brecha hídrica.

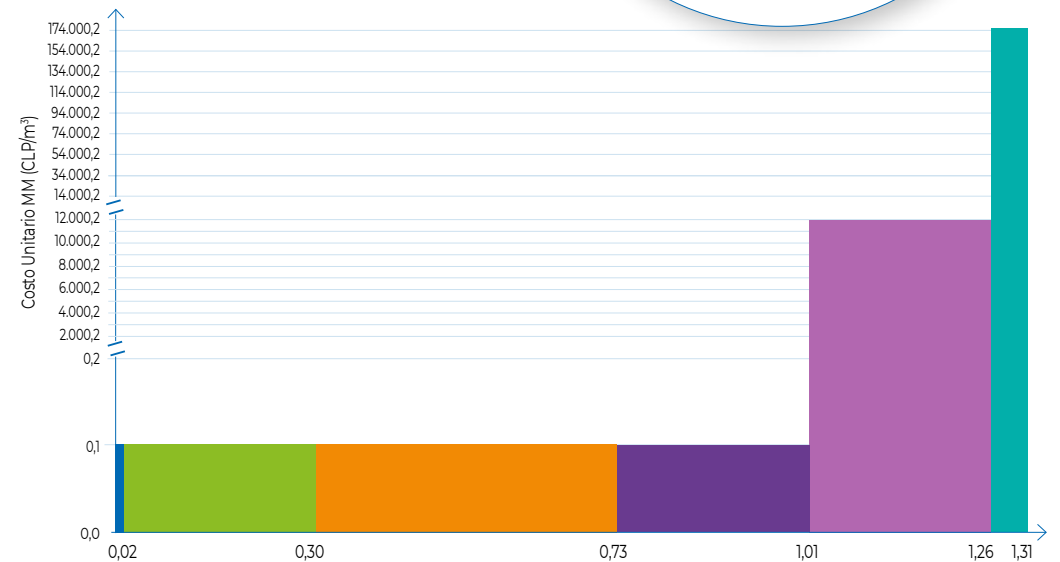
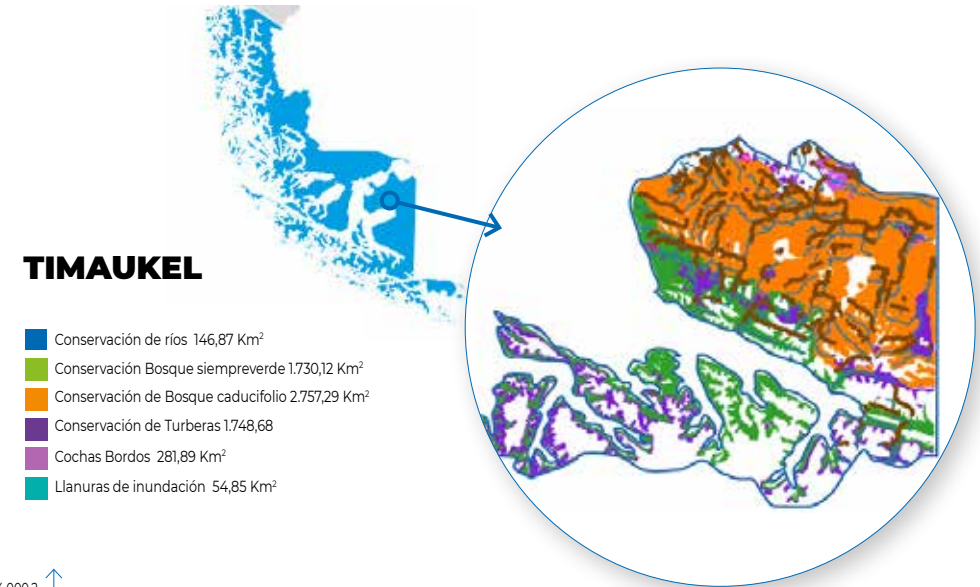
Cabe destacar que en estas dos comunas las SbN que más agua aportan son conservación de turberas y bosque caducifolio, con un 40 y 34% respectivamente del aporte de agua total de SbN.



foto: munimaukel.cl

La comuna de Timaukel cierra su brecha hídrica implementando el conjunto de SbN potenciales.

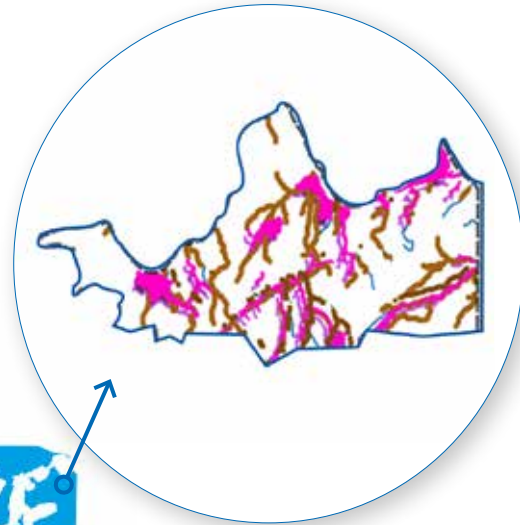
1,31m³/s
APORTE DE AGUA SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA



Fuentes: Elaboración propia

En la comuna de Primavera, se destaca la implementación de Cochass y Bordos superficiales como aquellas SbN que aportarían mayor volumen de agua. Estas soluciones aumentan el tiempo de residencia del agua en la superficie lo que permite favorecer la infiltración por sobre la escorrentía.

0,08m³/s
APORTE DE AGUA SBN



PRIMAVERA

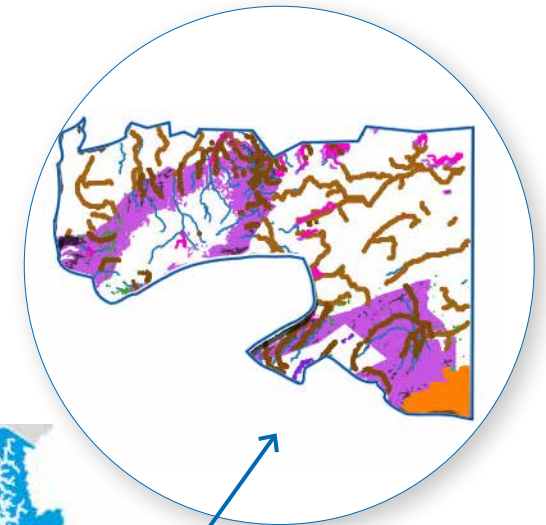
- Conservación de Humedales 303,74 Km²
- Conservación de Estepas 462,1 Km²
- Conservación de ríos 35,82 Km²
- Zanjas de infiltración 0,27 Km²
- Cochas Bordos 223,45 Km²
- Llanuras de inundación 10,14 Km²



Fuentes: Elaboración propia

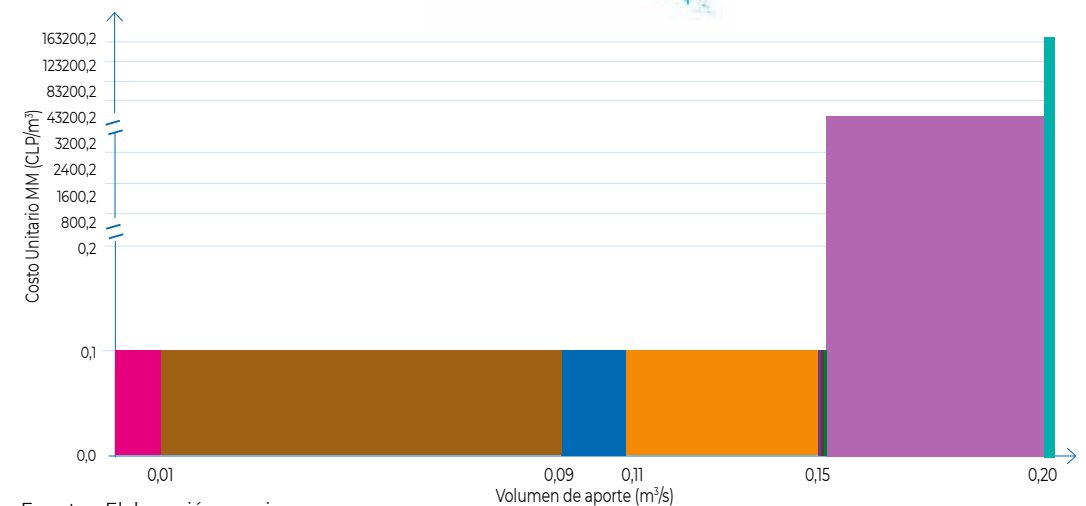
En la comuna de Porvenir, las soluciones asociadas a bosques, tales como Conservación de bosques caducifolios y la reforestación y forestación con vegetación nativa, toman un rol protagónico en cuanto a su contribución de agua.

0,2m³/s
APORTE DE AGUA SBN



PORVENIR

- Conservación de Humedales 68,71 Km²
- Conservación de Estepas 527,93 Km²
- Conservación de ríos 79,94 Km²
- Conservación de Bosque caducifolio 252,21 Km²
- Conservación de Turberas 12,68 Km²
- Reforestación y forestación de cuencas 0,34 Km²
- Zanjas de infiltración 2,25 Km²
- Cochas Bordos 1.382,6 Km²
- Llanuras de inundación 23,78 Km²



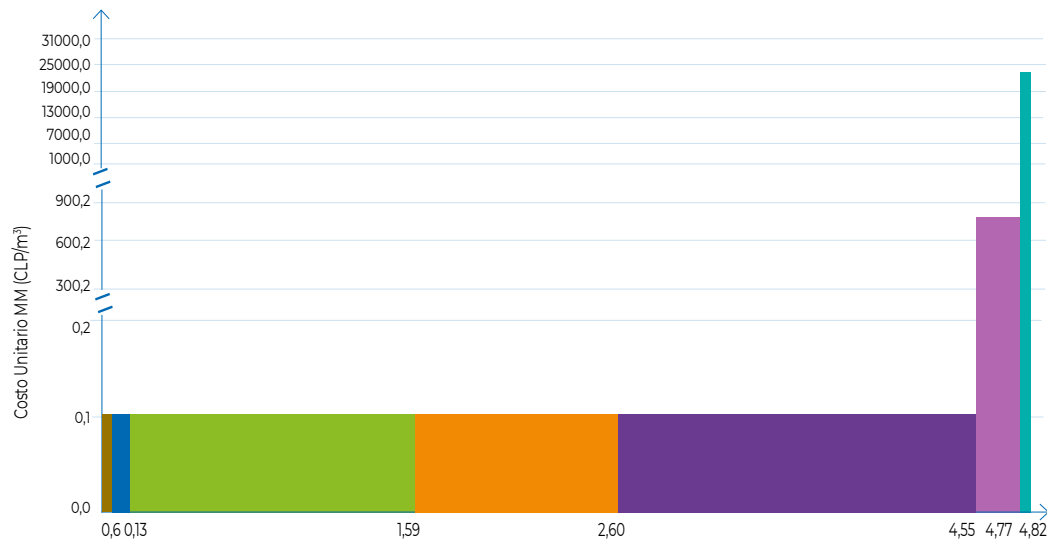
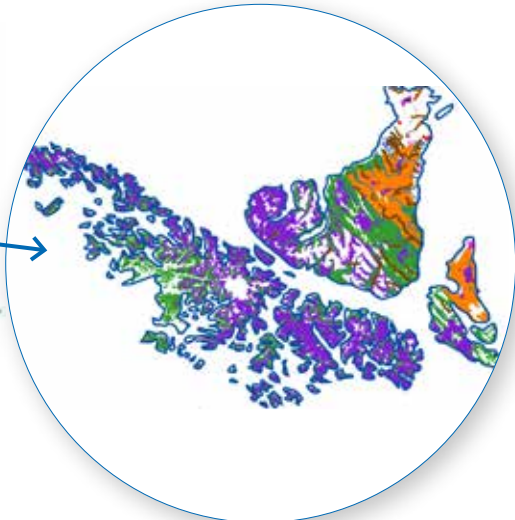
Fuentes: Elaboración propia

Punta Arenas abatiría un 18% de su Brecha hídrica con conjunto de soluciones

4,85m³/s
APORTE DE AGUA SBN

PUNTA ARENAS

- Conservación de Estepas 58,98 Km²
- Conservación de ríos 85,11 Km²
- Conservación Bosque siempreverde 1.725,19 Km²
- Conservación de Bosque caducifolio 1.189,9 Km²
- Conservación de Turberas 2.308,61 Km²
- Cochas Bordes 44,58 Km²
- Llanuras de inundación 10,99 Km²



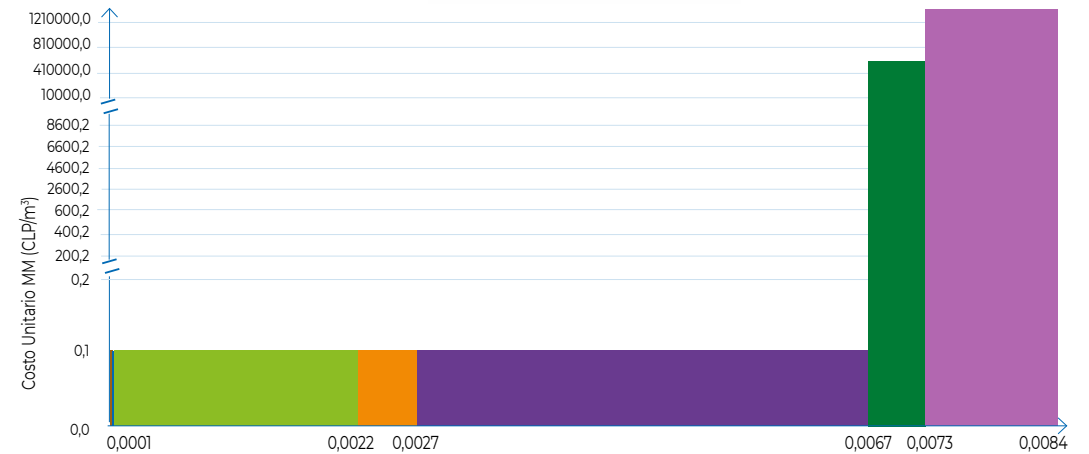
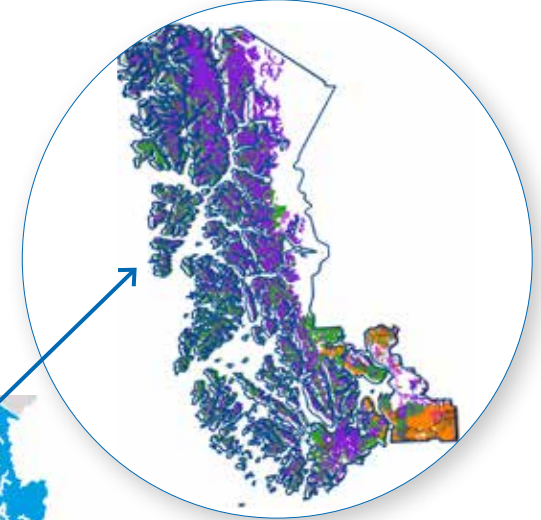
Fuentes: Elaboración propia

En la comuna de Natales, la Conservación de turberas corresponde a la medida más relevante en términos hídricos, sin embargo, cabe destacar el importante rol ecosistémico que poseen este tipo de ambientes en cuanto a, por ejemplo, el almacenamiento de carbono, situando esta solución como prioritaria en el territorio.

0,01m³/s
APORTE DE AGUA SBN

NATALES

- Conservación de Estepas 40,57 Km²
- Conservación de ríos 25,03 Km²
- Conservación Bosque siempreverde 1.596,54 Km²
- Conservación de Bosque caducifolio 345,7 Km²
- Conservación de Turberas 2987,45 Km²
- Zanjas de infiltración 73,02 Km²
- Cochas Bordes 140,57 Km²



Fuentes: Elaboración propia



5 | REFLEXIONES / CONCLUSIONES

REFLEXIONES

- **Los resultados del índice para el periodo histórico en la cuenca de Natales arrojaron 9 subcuencas con Índice de Seguridad Hídrica (ISH) anual excedente y 10 con ISH anual crítico**, teniendo el resto de las cuencas presencia de glaciares. De las subcuencas críticas destaca, por su tamaño y magnitud, Río Don Guillermo En Cerro Castillo (-2.85 m³/s). Para esta subcuenca aportan a su clasificación la demanda del sector productivo pecuario y la componente ecológica del caudal ambiental, que corresponde a casi 150 veces la oferta de la subcuenca. Cabe mencionar que parte de su superficie se encuentra en territorio argentino y que fue una de las zonas que no fue incluida en el análisis como cuenca de primera categoría, debido a la escasa cantidad de mediciones que presenta. En línea con lo anterior, las subcuencas con ISH crítico en esta zona de estudio no tienen datos observados de caudal. Además, en varias subcuencas con índice crítico se supera el valor de -1 m³/s de promedio anual, siendo la máxima de -7.85 m³/s. Por otro lado, también entre las zonas críticas se encuentra la zona urbana de Puerto Natales, la que presenta índice negativo en todos los meses del año, acrecentándose en verano y otoño. En tanto, el ISH anual es de 0.43 m³/s.

- **En la cuenca de Punta Arenas se identifican 18 subcuencas con ISH anual crítico y 11 insuficientes.** Del ISH mensual se desprende que estas subcuencas presentan en su mayoría esta clasificación en todos los meses del año. Destaca la zona norte de la cuenca, donde se encuentra la localidad de San Gregorio, en la que se registran precipitaciones mucho menores que las estaciones de la zona sur, por lo que su vulnerabilidad hídrica es mayor con respecto a la zona austral de esta localidad. Los resultados críticos e insuficientes del índice se deben principalmente a la magnitud del caudal ecológico versus la oferta superficial y subterránea de cada subcuenca. Al igual que en la cuenca de Puerto Natales, las zonas críticas no cuentan con estaciones fluviométricas; por lo tanto, los resultados pueden presentar incertidumbres que subestimen este valor.

- Por otro lado, **entre las subcuencas con excedentes** se encuentra Río Las Minas, efluente perteneciente a la comuna de Punta Arenas, cuyo índice tiene un valor de 0.1 m³/s anual, pero que es crítico durante los meses de verano.
- **29 subcuencas de la cuenca de Tierra del Fuego tienen ISH anual crítico y 1 insuficiente en el periodo histórico.** Las subcuencas críticas se agrupan entre los ríos San Martín y Cullen, y en general el ISH anual no supera los -1 m³/s. Al igual que en las cuencas anteriores, el caudal ecológico es el que ejerce más estrés en los resultados, seguido por la demanda, que en esta zona proviene principalmente del sector pecuario. Observando más en detalle, en la microcuenca del Río Cullen en Frontera, las demandas (demandas totales más caudal ambiental-ecológico) son de 0,07 m³/s, mientras que la oferta

de 0.28 m³/s; y en Río San Martín (en San Sebastián) presenta una demanda de 0.13 m³/s y oferta de 0.53 m³/s. La zona urbana de Porvenir resulta en un índice positivo para todos los meses del año, con un total de 0.27 m³/s.

- **Para el escenario futuro, se observa que aumenta el número de cuencas clasificadas como críticas o insuficientes. Además, la magnitud del índice se agrava.** El mayor cambio se produce en la zona norte de la cuenca de Tierra del Fuego y para cuencas que no presentan estación fluviométrica. Con respecto a las zonas urbanas, destaca la zona de la comuna de Punta Arenas, que cambia su clasificación de excedente a crítico, debido a que el estrés hídrico pasa de ocurrir sólo en verano, a ocurrir en otoño e invierno también. Por su parte Puerto Natales y Porvenir mantienen su categoría de crítico y excedente respectivamente.
- **La evaluación específica** de cada comuna permite adaptar las SbN a las necesidades y condiciones locales, asegurando una implementación más efectiva.
- **La identificación de las SbN más efectivas** para cada comuna, como la conservación de turberas y bosques caducifolios en Timaukel y Punta Arenas, permitiría una gestión hídrica más focalizada y eficiente.
- **Considerando el estudio de recarga**, cabe destacar que el 66% del total de la recarga es aportada por las zonas de mayor recarga (64-273 mm/año) en la región, y estas zonas equivalen alrededor del 18% de la superficie total de la región.

- **Al considerar los cambios en los ecosistemas de Magallanes** desde el periodo histórico hasta la actualidad, se observa que en los últimos 24 años se ha producido el 91% de ellos. Esta superficie corresponde a 30.000 ha, en donde el ecosistema que más ha sufrido cambios y fragmentación es el de Estepa y Pastizales, junto al matorral, principalmente en la comuna de Punta Arenas. Aunque en términos de superficie, el cambio notable se produce en el 1% de la región, estos cambios se encuentran localizados en ecosistemas de gran fragilidad.
- Por otro lado, debido a la hidrología de la región y su complejidad, no es posible tener un valor de brecha hídrica por cuenca. **En Natales, se observa un rango histórico de -9,36 a -8,48 m³/s**, destacando la microcuenca del río El Deshielo con el valor más crítico. **En Punta Arenas, se observa un rango de -3,9 a -3,4 m³/s. En la cuenca de Tierra del Fuego se observa un rango de -6,47 a -2,13 m³/s**, destacando la microcuenca de Río Estrecho, con el mayor valor de brecha.
- **Las SbN podrían generar un impacto en la cuenca de Tierra del Fuego** que es significativo en 13 microcuencas, las que aportan una reducción del 19% de la brecha de Tierra del Fuego. Se destacan este tipo de soluciones, ya que son de corto plazo de implementación y su costo es bastante menor comparado a otro tipo de soluciones, por lo que se visualizan como primera medida de acción a implementar en los territorios.



- **Por otro lado, vale la pena mencionar que las SbN además de su potencialidad** en el aporte de agua permanente a la cuenca generan externalidades positivas que son importantes de destacar tales como territorios más resilientes ante eventos climáticos extremos como sequías e inundaciones, al contar con sistemas naturales que amortiguan estos eventos. Además, la reforestación y la conservación de turberas pueden actuar como sumideros de carbono, ayudando a mitigar el cambio climático al absorber CO₂ de la atmósfera. También pueden reducir los costos de infraestructura a largo plazo, al minimizar la necesidad de intervenciones artificiales costosas ayudando a mantener el equilibrio natural. En otras palabras las SbN se enfocan en la protección de ecosistemas que son cruciales para el ciclo del agua, asegurando su función continua y sostenible.

La aplicación del modelo WetSpass para los años 1995 y 2019 mostró que, aunque hay cambios en la distribución del uso del suelo, la recarga natural de los acuíferos en la Región de Magallanes, no ha variado significativamente en términos generales. Sin embargo, se observaron algunas alteraciones localizadas, debido a la conversión de tierras a uso agrícola e industrial.

- **Zonas de alta recarga:** Las áreas con mayor recarga se encuentran principalmente en zonas de bosques caducifolios, coníferos y matorrales. Estas áreas coinciden con regiones de pendientes suaves y suelos con buena capacidad de infiltración. Las zonas urbanas e industriales presentan una recarga significativamente menor debido a la impermeabilización del suelo.
- **Riesgo de contaminación:** El análisis del Índice de Susceptibilidad (IS) reveló que el riesgo de contaminación por nutrientes es mayor en áreas agrícolas y urbanas. Las prácticas agrícolas y la impermeabilización del suelo en áreas urbanas aumentan la vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación. Las zonas con mayor riesgo de contaminación se encuentran en terrenos poco inclinados con suelos arenosos y una profundidad del nivel piezométrico, de entre 0 y 7 metros.
- **Impacto del uso del suelo:** Los cambios en el uso del suelo entre 1995 y 2019, como la expansión agrícola e industrial, han influido en la distribución de la recarga y el riesgo de contaminación. Aunque el impacto es relativamente pequeño a escala regional, tiene un efecto más notable a nivel local, especialmente en áreas con nuevas actividades agrícolas e industriales.

La implementación de SbN tiene el potencial de reducir significativamente la brecha hídrica en las comunas evaluadas, mejorando la disponibilidad de agua y la seguridad hídrica.

- **Importancia de la gestión de recursos hídricos:** Los resultados subrayan la necesidad de una gestión adecuada de los recursos hídricos en la Región de Magallanes. La identificación de zonas de alta recarga y áreas con mayor susceptibilidad a la contaminación, es crucial para desarrollar estrategias de protección y manejo sostenible del agua subterránea.
- **Recomendaciones y consideraciones, de acuerdo con las brechas de información:** Es necesario realizar estudios más detallados y continuos en áreas específicas, donde se han identificado cambios significativos en el uso del suelo y la recarga. Además, la implementación de más estaciones de monitoreo podría mejorar la precisión de datos y eficacia del modelo WetSpass. El modelo WetSpass ha probado ser una herramienta efectiva para estimar la recarga bajo diversas condiciones de uso del suelo y variabilidad climática, aunque presenta limitaciones en áreas con nieve y suelos de permafrost. La discretización espacial del modelo, utilizando celdas de 30 metros, resulta adecuada para proyectos a escala regional, como la gestión de acuíferos, cuencas o parques naturales, mostrando tendencias regionales. Sin embargo, para proyectos muy localizados, como la instalación de

un pozo, puede servir como aproximación inicial, pero las condiciones específicas locales podrían requerir análisis más detallados con métodos in situ.

- **Se proporciona una estimación clara de los costos de implementación de las SbN**, lo cual es fundamental para la planificación y asignación de recursos.
- **La identificación de soluciones costo-eficientes** permite a las autoridades locales y regionales optimizar sus presupuestos y maximizar el impacto de las inversiones.
- **SbN como la reforestación y la conservación de turberas**, pueden actuar como sumideros de carbono, ayudando a mitigar el cambio climático al absorber CO₂ de la atmósfera.
- Estos ecosistemas también **ayudan a regular el clima local**, al influir en la temperatura y la humedad.
- **Las comunidades que implementan SbN son más resilientes ante eventos climáticos extremos**, como sequías e inundaciones, al contar con sistemas naturales que amortiguan estos impactos.

RECOMENDACIONES

1 El análisis de brecha de información de los estudios contenidos en este informe ha identificado una serie de áreas donde existen claras oportunidades de mejora. Estas áreas representan puntos clave donde la adquisición y análisis de datos más detallados pueden mejorar significativamente nuestra comprensión de la seguridad hídrica y, en última instancia, impulsar una gestión más efectiva de los recursos hídricos.

2 Una de las principales oportunidades de mejora identificadas es la validación de la curva de habitabilidad local en cuencas con presencia de glaciares.

Dado el desconocimiento de la curva de habitabilidad en estas cuencas, se destaca la necesidad de realizar evaluaciones de campo para validar la habitabilidad de la fauna íctica local. Este proceso proporcionaría información valiosa sobre cómo el cambio climático está afectando a estas áreas y cómo podemos adaptarnos mejor a estos cambios.

3 Además, se destaca la necesidad de mejorar la red de monitoreo de caudales, en especial en áreas donde actualmente hay una escasez de estaciones fluviométricas. El aumento de la cobertura de monitoreo permitirá

obtener resultados más precisos y robustos en futuros estudios hídricos, lo que a su vez nos ayudará a comprender mejor la disponibilidad del recurso hídrico y los efectos del cambio climático.

4 Por último, se resalta la importancia de fortalecer la red de monitoreo de recursos hídricos, incluyendo la implementación de nuevas variables de monitoreo, como la calidad del agua subterránea y el caudal en los manantiales. Estos datos adicionales brindarán una visión más completa de los sistemas acuíferos y ecosistemas dependientes del agua subterránea,

permitiendo tomar decisiones más informadas y sostenibles en la gestión de estos recursos vitales.

5 Además, en consideración al contexto hídrico detallado en este informe, que abarca los diversos ecosistemas de la región, las zonas de recarga y el Índice de Seguridad Hídrica (ISH), resulta imperativo evaluar cualquier cambio de uso de suelo destinado al desarrollo bajo un enfoque de planificación territorial que integre estas variables críticas. Es fundamental destacar que la omisión de estos factores podría comprometer significativamente la seguridad hídrica futura de la población.

Resulta imperativo evaluar cualquier cambio de uso de suelo destinado al desarrollo bajo un enfoque de planificación territorial que integre estas variables críticas.

AGRADECIMIENTOS

Concretar la publicación **Radiografía del agua en Magallanes** fue posible gracias al compromiso y contribución de representantes de diversas instituciones público-privadas que participaron a lo largo del proceso.

La iniciativa Escenarios Hídricos 2030 reconoce y agradece el aporte de cada una de las personas e instituciones que participaron y que contribuyeron a la construcción de este documento.

EH2030 agradece especialmente a la entidad financista de este proyecto, la Corporación de Fomento de la Producción a través de su Programa Desarrollo Productivo Sostenible (DPS), apoyo que fue fundamental para concretar el proceso y trabajo expuesto.

Jorge Flies (Gobernador Regional de Magallanes y la Antártica Chilena), Antonieta Oyarzo (Alcaldesa de Puerto Natales), José Parada Aguilar (Alcalde Porvenir), Arturo Rojas Olavarría (CONAF), Ana María Ruz Frias (CORFO), José Fuster Justiniano (CORFO), Mario Zenteno Paredes (CORFO), Rowena Moreno Tellez (CORFO), Oscar Strauch Bertin (CORFO Magallanes), María José Navajas (CORFO Magallanes), Patricia Calisto Gutiérrez (CORFO Magallanes), Mario Zenteno Paredes (CORFO Magallanes), Lorena Olivares Bahamondez (DGA), María Salgado Ayarza (DGA), Baudilio Madrid (DGA), Andrea Osses (DGA), Oscar Lopez (DGA), Carlos Olivares (DGA), Rodrigo Guerrero (DGA), Axel Gonzalez Lasa (DIRPLAN MOP), Christian López (DIRPLAN MOP), Walter Ojeda Aguilar (GORE Magallanes), Etel Latorre (GORE Magallanes), Edgardo Casanova (GORE Magallanes), David Ovando (GORE Magallanes), Hina Carabantes (GORE Magallanes), Víctor Ferrada (GORE Magallanes), Claudia Gallardo (GORE Magallanes), Jorge Valdivia (GORE Magallanes), Pedro Ossandon (GORE Magallanes), Shirley Uribe (GORE Magallanes),

Gabriela Aguero (GORE Magallanes), Víctor Fugellie (Ingeniero Civil Hidráulico), Lorenzo Idalsoaga (MTT), David Medrano (MTT), Melissa Carmody (WCS), Catherine Dognac (WCS), Claudia Silva (WCS), Javiera Constanzo (WCS), Bárbara Saavedra (WCS), Gabriel Zegers Müller (INDAP), Loreto Alejandra Arancibia Flaneigs (INDAP), Petar Bradasic (INDAP), Miriam Andrea Barria Gomez (INDAP), Clarina Rosalia Helmer Parada (INDAP), Mirko Serdan Zec Beckdorf (INDAP), Erwin Dominguez (INIA), Ángel Suarez (INIA), Beatriz Vera (INIA), Isabella Villanueva (MIN ENERGIA), Luz Barría (Seremi Energía), Juan Carlos Paredes (Seremi Energía), Ricardo Bennewitz (MINAGRI), Irene Alejandra Ramirez Merida (MINAGRI), Lorena Olivares Bahamondez (MOP), Franco Javier Serafini San Celedonio (MOP), José Luis Hernández (Seremi MOP), Francisca Boher Elton (MMA), Alvaro Shee Smith (MMA), Juan Francisco Pizarro Merino (MMA), María Emilia de la Fuente (MMA), Enrique Rebolledo (MMA), Marjorie Araya (Seremi Medio Ambiente), Camilo Perez (SEA), Carlos Ojeda (SEA), Cristian Oyarzun (SEA), Nelly Nuñez (SEA), Romina Inostroza (SEA), María Patricia Araos (SEA), José Luis Riffo Fideli (SEA), Nathalie Muñoz (SEA), Pamela Gross (SAG), Ana Luisa Tapia (SAG), Verónica Vallejos Marchant (Seremi Ciencias), Sergio Radic (UMAG), Hernán Araneda (Fundación Chile), Javiera Ramirez (Fundación Chile), Marietta Barsocchini (Fundación Chile), María Laura Martínez (Fundación Chile), Carolina Maldonado (Fundación Chile), Rafaella Truffa (Fundación Chile), Ignacio Santelices (Fundación Chile), Jorge Alarcón (Fundación Chile), Gilda Zuñiga (Fundación Chile), Yasna Venegas (Fundación Chile), Margaret Martínez (Fundación Chile), Pamela Urzúa (Fundación Chile), Ulrike Broschek (Fundación Chile), Valentina Cárdenas (Fundación Chile), Paola Matus (Fundación Chile), Claudia Galleguillos (Fundación Chile), Gerardo Díaz (Fundación Chile), Paul Dourojeanni (Fundación Chile), Adriana López (Fundación Chile), Cecilia Vidal (Fundación Chile), Enrique Molina (Fundación Chile), Jorge Harris (Fundación Chile).

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.

Caudal ambiental

Es aquel que, además del caudal ecológico, considera los requerimientos para el resto de los servicios ecosistémicos provistos por el río, aguas abajo de la estación de control (CEA, 2022).

Caudal ecológico

Son los requerimientos del ecosistema del río y se representa por los requerimientos de hábitats de la fauna íctica y macroinvertebrados bentónicos (CEA, 2022).

Costo unitario

Es el costo total dividido por la cantidad de unidades producidas. En este caso, 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.

Curva de abatimiento

Es una gráfica con información referencial que permite identificar el conjunto de soluciones requeridas para abordar los problemas en los territorios, mostrando el impacto que genera cada una de ellas en m³ de agua y sus costos unitarios, facilitando así la toma de decisiones.

ISH

Valor numérico que busca aproximar e identificar cuánta es el agua requerida en tiempo y espacio territorial de una cuenca hidrográfica, necesaria para asegurar el agua para los diversos usos, incluyendo el ecológico y ambiental.

Recarga de acuíferos

Proceso en que el agua llega a las napas subterráneas. Puede darse naturalmente debido a la precipitación, a las aguas superficiales, o por medio de transferencias desde otras unidades hidrogeológicas o acuíferos; pero también puede darse de manera artificial producto de actividades como la irrigación, fugas de redes de abastecimiento o por infiltraciones de embalses y depósitos.

Seguridad Hídrica

Capacidad de una población para salvaguardar a nivel de cuenca el acceso al agua en cantidades adecuadas y con la calidad apropiada para sostener la salud de la gente y de los ecosistemas así como para asegurar la protección eficaz de vidas y bienes durante desastres hídricos – inundaciones, deslizamientos y hundimientos de terreno y sequías–” (Jiménez, 2015).

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).

Zona de conservación

Zonas que actualmente permiten sostener el ciclo hídrico en la cuenca y deben ser mantenidas.

Zona de reparación

Zonas que actualmente tienen usos productivos; sin embargo, sus componentes ambientales deben ser reparados para la Seguridad Hídrica al 2050.

CORFO



ESCENARIOS
HÍDRICOS
2030
CHILE

FCh
FUNDACIÓN CHILE.