

ANÁLISIS PARA APLICACIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN CONTEXTO DE SEQUÍA EN SERVICIOS SANITARIOS RURALES EN LA ISLA GRANDE DE CHILOÉ

RESUMEN EJECUTIVO JUNIO 2026

RESUMEN EJECUTIVO

ANÁLISIS PARA LA APLICACIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN CONTEXTO DE SEQUÍA EN SERVICIOS SANITARIOS RURALES DE LA ISLA GRANDE DE CHILOÉ

*Ministerio de Obras Públicas - Banco Interamericano de Desarrollo
Implementación del Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático
Sector Infraestructura 2024-2029*

Ministerio de Obras Públicas, 2026.
Dirección General de Obras Públicas

Daniel Bifani Ihl - Jefatura División Infraestructura Sostenible (DIS)
Evelyn Medel Vera - Jefatura Depto. Sostenibilidad y Cambio Climático – DIS
María Victoria Aedo Aedo - Profesional Depto. Sostenibilidad y Cambio Climático – DIS
María Paola Orellana Peña - Profesional Depto. Sostenibilidad y Cambio Climático – DIS
Maximiliano Bolados Arratia - Profesional Depto. Sostenibilidad y Cambio Climático – DIS

Dirección de Obras Hidráulicas Región de Los Lagos
Sandra Moreno Ortiz - Jefa de Proyectos Sanitarios de la SSSR Los Lagos, DOH

División de Agua y Saneamiento
Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

Universidad del Desarrollo a través de sus centros:

Centro de Innovación en Ciudades CIC, Facultad de Arquitectura y Arte
Francisca Astaburuaga Orchard - Arquitecta Magister en Urbanismo, Directora CIC
Santiago Beckdorf Solá - Arquitecto Magister en Urbanismo, Jefe Proyecto
Macarena Labranque Astorga - Arquitecta Magister en Arquitectura, Coordinadora CIC

Centro de Investigación en Tecnologías para la Sociedad C+, Facultad de Ingeniería
Camilo Rodríguez Beltrán - Ingeniero Bioquímico - Director C+
Petra Wallem Stein - Licenciada en Biología, PhD en Ecología
Javier Rojas Errázuriz - Ingeniero Civil Industrial Ambiental
Claudia Valderrama Ulloa - Constructor Civil, Dr. en Ingeniería Mecánica
Patricia Breuer Moreno - Licenciada en Educación, Magister y Especialista en Gestión Social
Camila Sandoval Ibarra - Bióloga Ambiental, Investigadora en Gestión Hídrica

Centro de Investigación en Sustentabilidad y Gestión Estratégica CISGER, Facultad de Ingeniería
Diego Rivera Salazar - Ingeniero Civil Dr. en Hidrología
María Paz Rojas - Ingeniera Civil, Magister en Gestión del Agua

**Con la colaboración de Arcadis, Center for Climate Adaptation (CCA) de Pratt Institute
y el Centro de Derecho Regulatorio y Empresas (CDRE) de la Facultad de Derecho UDD.**
Magdalena Márquez - Socióloga experta en Estudios Sociales, Arcadis Chile
Edward Cornwell – Ingeniero Civil PhD Hidrólogo, Arcadis
Camila Boettiger – Abogada PhD experta en Aguas, CDRE
David Erdman – Arquitecto MsC, experto en infraestructuras sostenibles, CCA

TABLA DE CONTENIDOS

1. CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN	5
1.1. Principales brechas identificadas	5
2. Objetivo del estudio	6
2. ENFOQUE METODOLÓGICO	7
3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA: CONFIRMANDO LA PERCEPCIÓN LOCAL	8
3.1. Hallazgo principal	8
3.2. Análisis histórico (1960-2022)	9
3.3. Proyecciones futuras (2035-2065)	11
3.4. Balance hidrológico e implicancias	12
3.5. Vulnerabilidad y Riesgo Climático	13
3.5.1. Marco conceptual y metodología	13
3.5.2. Componentes evaluados	13
3.5.3. Resultados de vulnerabilidad	14
3.5.4. Principales sensibilidades identificadas	14
4. ANÁLISIS PROSPECTIVO TERRITORIAL EN LA ISLA GRANDE DE CHILOÉ	16
5. ÁREA DE ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE SSR	19
5.1. Definición del área de estudio	19
5.2. Caracterización general	20
6. ENFOQUE PARTICIPATIVO: DIAGNÓSTICO EN TERRENO Y TALLERES COMUNITARIOS	23
7. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN PROPUESTAS	25
7.1. Medidas estructurales y no estructurales: Resultados de los talleres participativos	25
7.2. Soluciones basadas en la Naturaleza	28
7.3. Identificación de ecosistemas estratégicos con potencial de regulación hídrico	29
7.4. Caso piloto: SSR Manao	30
8. PROGRAMAS DE CAPACITACIÓN Y MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS	32
9. HOJA DE RUTA DE IMPLEMENTACIÓN	33
10. PRINCIPALES CONCLUSIONES	35
11. RECOMENDACIONES ESTRATÉGICAS	37
11.1. Para el Ministerio de Obras Públicas	37
11.2. Para gobiernos regionales y municipios	37
11.3. Para las directivas de SSR	37
11.4. Para el nivel nacional	38
12. REPLICABILIDAD Y PRÓXIMOS PASOS	38

1. CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN

La megasequía que afecta a Chile está teniendo un impacto significativo en gran parte del territorio nacional. En la Región de Los Lagos, históricamente caracterizada por elevados niveles de precipitación, la escasez hídrica ha afectado de manera significativa las zonas insulares y costeras, especialmente el archipiélago de Chiloé.

En marzo de 2024, el Gobierno de Chile declaró la Provincia de Chiloé como Zona de Escasez Hídrica (Decreto MOP N°25) e implementó medidas de emergencia que incluyeron camiones aljibe y atribuciones especiales a la Dirección General de Aguas para regular las extracciones de agua. El decreto fue prorrogado el 21 de marzo del 2025 (Decreto MOP N°47), evidenciando la necesidad de fortalecer la capacidad de adaptación de las comunidades rurales del territorio, en particular de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR).

Consecuentemente, este estudio tiene por objetivo analizar los sistemas sanitarios rurales (SSR) en un contexto de cambio climático, con el fin de comprender la incidencia de este fenómeno en los episodios de escasez hídrica, tanto recientes como proyectados. Adicionalmente, el estudio busca profundizar en la comprensión de las dinámicas específicas que afectan a los SSR insulares y, en consecuencia, a la seguridad hídrica de sus comunidades.

Para ello, el estudio se estructuró a partir de una mirada integradora y sistémica, sustentada en un equipo multidisciplinario que reúne experiencia en ingeniería, hidrología, biología, ecología, ciencias sociales, gestión comunitaria, construcción, derecho, arquitectura y urbanismo. La metodología adoptada promovió la integración efectiva de estas disciplinas en cada eje de análisis, superando enfoques sectoriales y permitiendo una comprensión profunda del territorio y de las comunidades desde su complejidad multifactorial. Este enfoque constituye el principal valor agregado de la consultoría, reflejado directamente en el análisis de cada uno de los temas, la metodología de trabajo en terreno con las directivas de los SSR y los productos desarrollados, en particular en el manual de buenas prácticas comunitarias y en la propuesta de un proyecto piloto para el mejoramiento de uno de los SSR estudiados.

1.1. Principales brechas identificadas

El Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las cuencas de la Isla de Chiloé (DGA, 2022) identificó brechas críticas en el abastecimiento de agua potable en el ámbito rural. Entre ellas, destacan los problemas operativos en los SSR, con un gran número de arranques pendientes que dificultan la gestión y el mantenimiento del servicio, además de entre 20 y 30 SSR que no dependen del MOP y requieren regularizar su situación para acceder a servicios de asesoría técnica. También se constató la ausencia casi completa de plantas de tratamiento de aguas servidas en funcionamiento, y de sectores dispersos que no están organizados en sistemas de abastecimiento.

Este estudio, desarrollado en el marco del Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático - Sector Infraestructura 2024-2029 del Ministerio de Obras Públicas, aborda estos desafíos desde una perspectiva integral, combinando un análisis técnico-científico riguroso con un enfoque participativo y comunitario.

2. Objetivo del estudio

Desarrollar una propuesta de medidas adaptativas en los SSR de la Provincia de Chiloé, con foco en la Isla Grande, para hacer frente a la disminución de las precipitaciones, reducir la vulnerabilidad al cambio climático y generar soluciones replicables en otras situaciones de población insular y/o costera de Chile.

2. ENFOQUE METODOLÓGICO

El estudio integró tres componentes fundamentales que se retroalimentaron a lo largo de 9 meses de trabajo:

Análisis técnico-científico robusto

Se realizó una caracterización climática histórica (1960-2022) utilizando datos CR2MET, complementada con proyecciones climáticas de 6 modelos de CMIP6 bajo los escenarios SSP para el período 2035-2065. Los modelos fueron sometidos a corrección de sesgos mediante el mapeo de cuartiles para asegurar su representatividad local. Se analizó el balance hidrológico superficial y subterráneo y se desarrollaron indicadores específicos de vulnerabilidad y de riesgo climático utilizando escenario presente (1980-2010), y escenario futuro cercano (2035-2065), para 15 SSR en el contexto insular.

Trabajo participativo en terreno

Se realizaron visitas a 15 SSR priorizados en el área de estudio, en las que se entrevistó a directivas, operadores y usuarios. El trabajo incluyó el mapeo de 105 actores clave del ecosistema de agua potable rural, talleres de validación y de construcción colectiva de soluciones, además de encuestas para identificar vulnerabilidades diferenciadas.

Propuestas integradas de adaptación

A partir del análisis técnico y del trabajo participativo, se identificaron tres tipos de medidas complementarias: estructurales (infraestructura física), no estructurales (capacitación, gobernanza y gestión) y soluciones basadas en la naturaleza para la protección de las fuentes hídricas. Se desarrolló una propuesta de proyecto piloto para ser implementada en uno de los SSR estudiados y se elaboró un Manual de Buenas Prácticas para la gestión comunitaria.

3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA: CONFIRMANDO LA PERCEPCIÓN LOCAL

3.1. Hallazgo principal

Los análisis técnicos confirmaron las observaciones y percepciones de las directivas de SSR: las precipitaciones están disminuyendo, las temporadas secas son más prolongadas y los veranos e inviernos son más cálidos.

Esta coincidencia entre datos científicos y percepción local refuerza tanto la evidencia climática como el conocimiento comunitario y valida la urgencia de las medidas de adaptación propuestas.

El análisis de la condición histórica evidencia una disminución de la precipitación y, en consecuencia, de la escorrentía superficial y la recarga, junto con un aumento en la demanda de agua potable. Las series históricas muestran, además, un cambio en la estacionalidad de las precipitaciones —es decir, en la distribución mensual del agua caída—, con veranos más secos y prolongados que coinciden con los periodos de mayor demanda. Esta coincidencia estacional entre la menor disponibilidad hídrica y el aumento de la demanda configura una situación de escasez, también identificada en el trabajo de campo.

Por otra parte, los indicadores de cambio climático evidencian transformaciones significativas en las condiciones de la Isla Grande al comparar el periodo base (1980-2010) con el escenario de futuro cercano (2035-2065). Se observa una disminución de las precipitaciones acumuladas, un aumento de la temperatura media y un régimen térmico caracterizado por veranos e inviernos más cálidos. Asimismo, se proyecta un incremento en la frecuencia de sequías (como lo indican los índices Frecuencia de Sequía y SPI) y una prolongación de las temporadas secas. En conjunto, el escenario futuro refuerza las tendencias históricas, por lo que se anticipa un aumento de la condición y percepción de escasez, en especial en los meses de primavera y verano.

Respecto de la amenaza climática futura, no se observan diferencias espaciales significativas. No obstante, la homogeneidad espacial de la amenaza no implica que el riesgo se minimice ni que la amenaza sea menos atendible.

Por ello, la disminución de la disponibilidad de agua, debido a la disminución de las precipitaciones y al cambio en la estacionalidad, se traduce en una amenaza climática moderada en toda la Isla Grande, por lo que las condiciones de vulnerabilidad y exposición determinarán los niveles de riesgo de cada SSR.

3.2. Análisis histórico (1960-2022)

El análisis de datos de CR2MET reveló tendencias climáticas significativas en la Isla Grande de Chiloé. En términos de precipitación, se observó una disminución de 20-30 mm/año desde 2010, especialmente notoria en la zona noroeste de la isla. Esta tendencia decreciente es estadísticamente significativa en verano e invierno según la prueba de Mann-Kendall. Además, se detectó un cambio en el régimen de estacionalidad, pasando de un patrón de precipitación durante todo el año, con una temporada más húmeda, a un régimen estacional con una temporada seca corta, particularmente evidente a partir del año 2010.

En cuanto a la temperatura, se registró un aumento progresivo de las temperaturas medias y un incremento en la frecuencia de los días cálidos, señales coherentes con las tendencias de cambio climático observadas en la región.

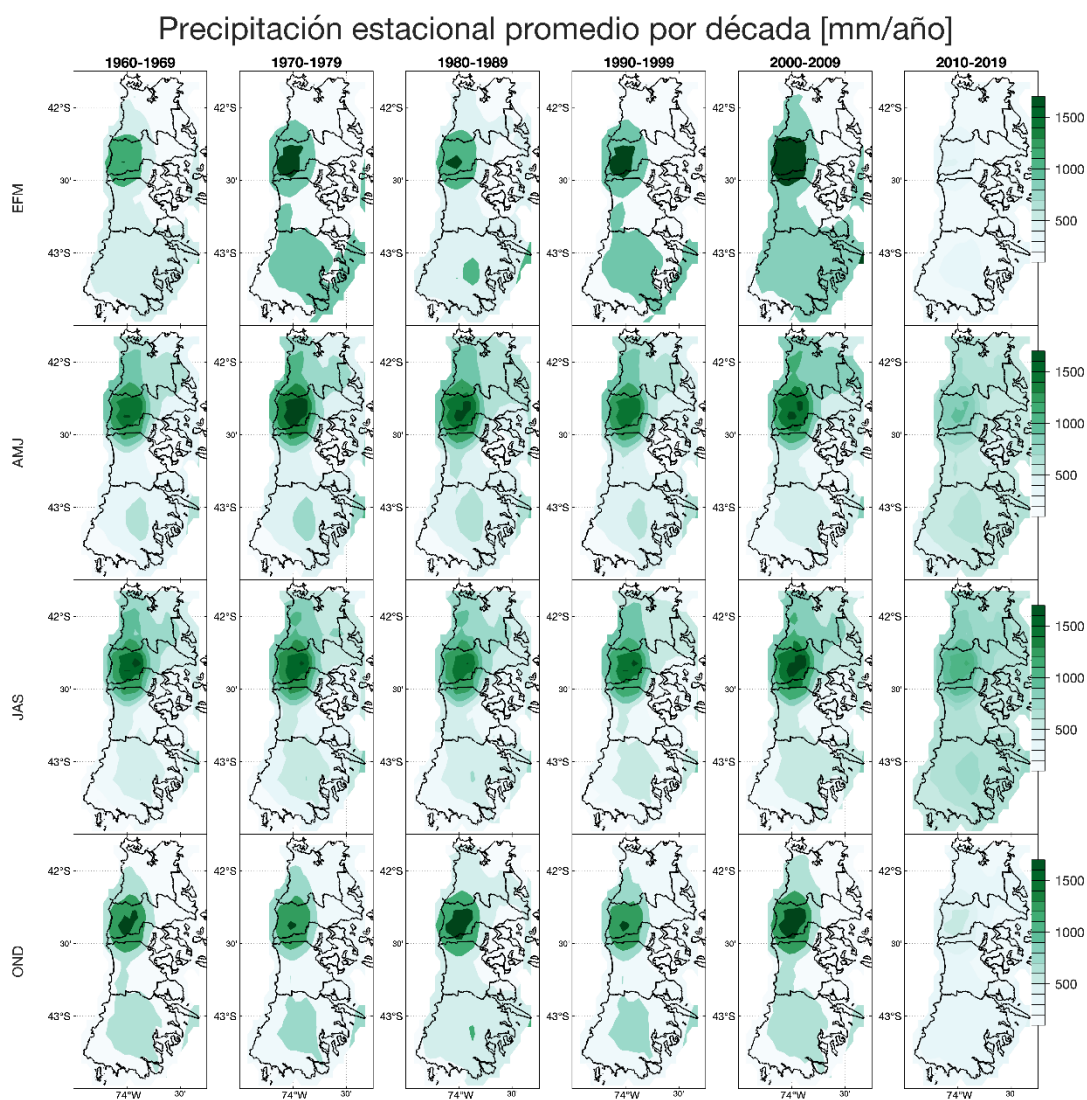


Figura 1: Mapa de precipitación anual promedio por década (1960-2020) que muestra una disminución progresiva, especialmente desde 2010. Incluir la ubicación de SSR superpuesta para visualizar la expansión de los sistemas coincidente con períodos de mayor escasez.

3.3. Proyecciones futuras (2035-2065)

Se analizaron 6 modelos climáticos globales (BCC-CSM2-MR, CMCC-CM2-SR5, GFDL-ESM4, INM-CM4-8, INM-CM5 y MRI-ESM2) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP8.5, los cuales proyectan amenazas climáticas consistentes para la Isla Grande de Chiloé. Entre las principales proyecciones se encuentra una reducción de la precipitación anual de entre 5 y 15% según el escenario considerado, acompañada de una mayor estacionalidad, con inviernos más secos y veranos más largos y cálidos.

Se proyecta un aumento de la temperatura media de +1,5 °C a +2,5 °C, con mayor frecuencia de sequías e intensificación de los períodos de déficit hídrico. Paralelamente, se espera un incremento de eventos extremos, tanto de sequías prolongadas como de precipitaciones intensas concentradas en períodos cortos, lo que plantea desafíos tanto para la disponibilidad continua del recurso como para la infraestructura de captación y distribución.

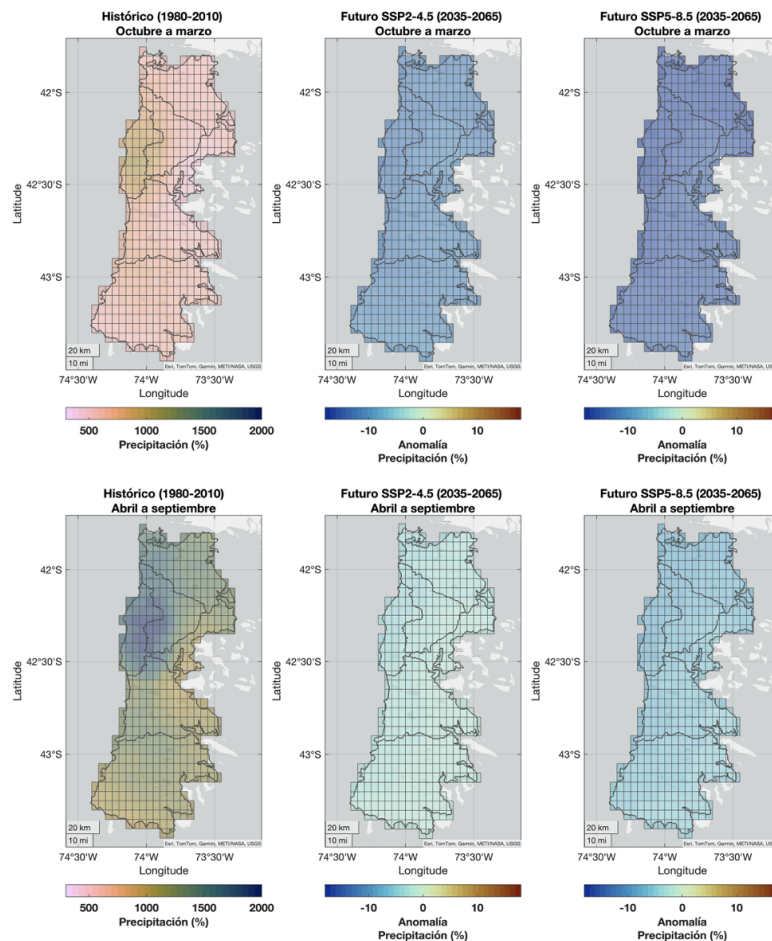


Figura 2: Comparación de la precipitación acumulada según la estación (invierno y verano) y el periodo (actual y futuro). Fuente: Datos del Explorador de Amenazas de ARClím.

3.4. Balance hidrológico e implicancias

El análisis del estudio DGA (2022) proyecta una disminución de la recarga de acuíferos debido a menor infiltración por reducción de precipitaciones, lo que provocará la profundización del nivel freático y afectará pozos superficiales. Los caudales superficiales experimentarán una reducción especialmente crítica en verano, mientras que en humedales y turberas disminuirán los caudales entrantes, afectando servicios ecosistémicos críticos para la regulación hídrica.

Las implicancias para los SSR son directas y requieren respuesta inmediata: habrá mayor dependencia de fuentes subterráneas profundas, aumentará la necesidad de capacidad de almacenamiento para el período estival y se vuelve urgente la protección de ecosistemas reguladores del ciclo hídrico como bosques nativos, humedales y turberas.

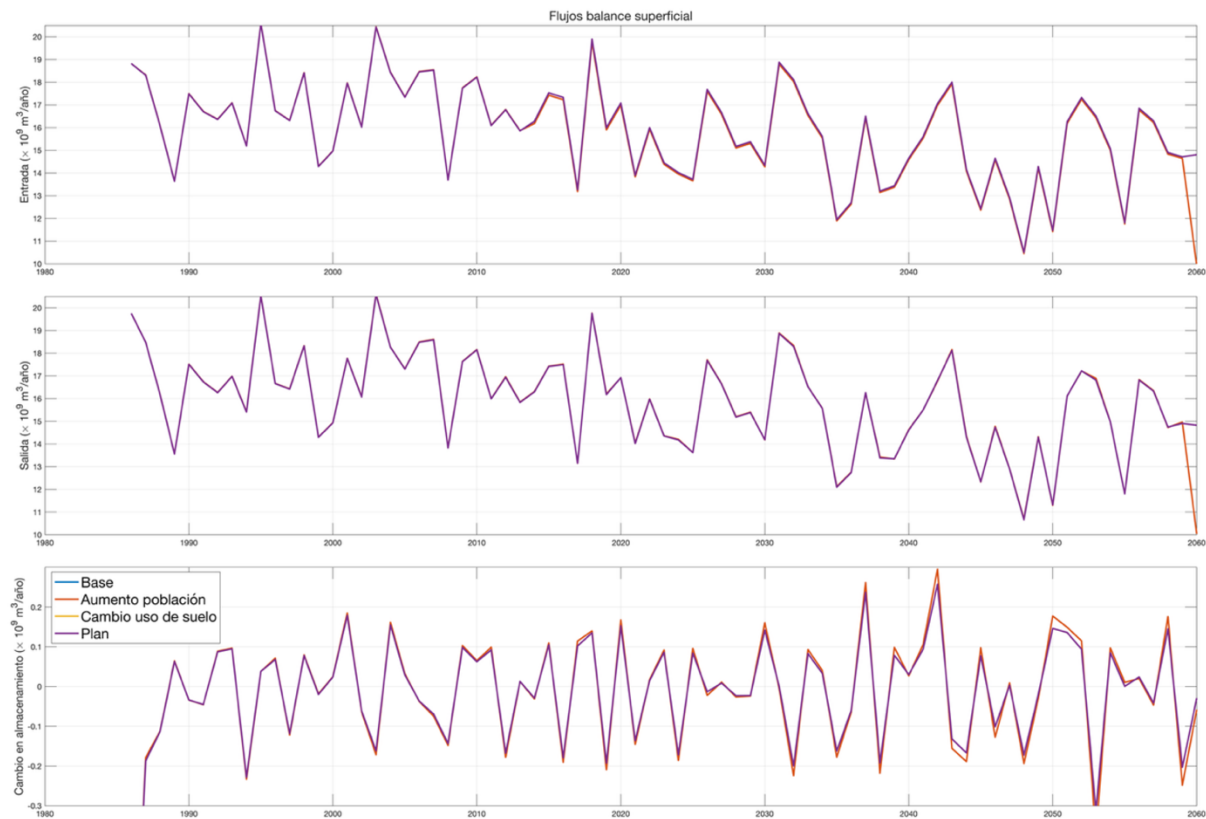


Figura 3 Series de tiempo de los flujos del balance superficial para el periodo histórico 1986-2020 y el futuro 2021-2060, para los 4 escenarios de gestión propuestos en el estudio DGA (2022): Base, Aumento de población, Cambio de uso de suelo y Plan de gestión. Fuente: Datos de DGA (2022).

3.5. Vulnerabilidad y Riesgo Climático

3.5.1. Marco conceptual y metodología

El riesgo climático se evaluó mediante el marco conceptual del IPCC, donde el Riesgo resulta del producto entre Amenaza, Exposición y Vulnerabilidad, siendo esta última la razón entre Sensibilidad y Capacidad Adaptativa. Esta aproximación permite identificar no solo qué SSR's están más amenazados por el clima, sino también cuáles presentan mayores brechas estructurales, operativas e institucionales que los hacen más vulnerables, así como las capacidades existentes que pueden potenciarse para fortalecer la resiliencia.

Se asignaron ponderaciones diferenciadas a cada componente del riesgo: Amenaza con 25% del peso total, Exposición con 35%, y Vulnerabilidad con 40%. Esta distribución reconoce que, en un contexto de alta pluviosidad como el de Chiloé, la amenaza climática tiende a manifestarse de manera relativamente homogénea en el territorio, siendo los factores de Exposición y Vulnerabilidad los que determinan las diferencias reales de riesgo entre sistemas. Esta jerarquización metodológica permite identificar con mayor precisión aquellos sistemas que, aun bajo la misma presión climática, presentan mayores brechas de resiliencia y de susceptibilidad operativa.

3.5.2. Componentes evaluados

La Amenaza climática se caracterizó a través del aumento proyectado de temperatura, la disminución de precipitación media anual y estacional, y la ocurrencia de sequías prolongadas medidas mediante el índice SPI. La Exposición se definió desde la perspectiva de cada SSR como sujeto expuesto, considerando su dependencia de fuentes superficiales vulnerables, el estrés hídrico durante el período estival, el grado de degradación de ecosistemas reguladores en su área de influencia, la falta de protección de infraestructura crítica, y la presión antrópica sobre áreas de recarga.

La Sensibilidad se evaluó mediante indicadores operacionales y funcionales que incluyen la razón entre capacidad disponible y demanda real, particularmente crítica en verano; la capacidad de almacenamiento per cápita comparada con estándares técnicos; el grado de diversificación de fuentes de abastecimiento; la disponibilidad de componentes operativos básicos según manual de DOH; la calidad de la gestión administrativa y financiera; el nivel de organización comunitaria y participación; así como la resiliencia de la infraestructura ante eventos extremos.

La Capacidad Adaptativa, que actúa como factor reductor de la vulnerabilidad, se midió a través de indicadores de gestión administrativa efectiva, nivel de participación y capacidad de respuesta comunitaria, solidez de relaciones territoriales e institucionales, capacidad demostrada de formulación y gestión de proyectos, adopción de herramientas digitales de gestión, diversificación de fuentes de financiamiento, y prácticas de protección ambiental de fuentes hídricas.

3.5.3. Resultados de vulnerabilidad

La evaluación permitió clasificar los 15 SSR del área de estudio según su vulnerabilidad, calculada como la relación entre la sensibilidad de cada sistema y su capacidad adaptativa. Esto permite evaluar la capacidad para mantener la cantidad, calidad y continuidad del suministro frente al cambio climático. Se identifican 5 categorías de vulnerabilidad: muy alta, alta, media, baja, muy baja, cuantificando con el método de quintiles. Los SSR con vulnerabilidad muy alta, como Quilén, Río Llolle y Rilán, presentan sensibilidades elevadas combinadas con capacidades adaptativas muy reducidas, incluyendo infraestructura insuficiente, brechas en gestión y falta de respaldo operacional; en contraste, sistemas como Llau Llau y Pid Pid presentan vulnerabilidad muy baja, debido a que su capacidad adaptativa —reflejada en mayor gobernanza, respaldo energético y mejores recursos organizativos— logra compensar niveles moderados de sensibilidad. Los casos con vulnerabilidad alta, como Coñimo, Tantauco y Pindaco-Quitripulli, evidencian capacidades adaptativas insuficientes para contrarrestar presiones estructurales y territoriales; mientras que los sistemas clasificados como bajos o medios muestran una relación más equilibrada entre sensibilidad y capacidad de respuesta, aunque mantienen riesgos relevantes frente a escenarios de sequía.

3.5.4. Principales sensibilidades identificadas

El trabajo en terreno permitió identificar las sensibilidades más críticas que afectan de manera transversal a los SSR. La insuficiencia de capacidad frente a la demanda estival es recurrente, con sistemas dimensionados para la población base que no consideran los picos estacionales asociados al turismo y al retorno de la población flotante. El déficit de almacenamiento es otra sensibilidad crítica, con capacidades per cápita muy por debajo de los estándares recomendados en un contexto de sequía proyectada.

La infraestructura obsoleta genera pérdidas significativas en las redes de distribución y requiere mantenimiento reactivo constante, mientras que la gestión administrativa débil se manifiesta en la falta de registros sistemáticos, cobros irregulares y una planificación limitada. La dependencia energética representa otra vulnerabilidad importante, especialmente en sistemas que dependen del bombeo eléctrico, donde los cortes de suministro eléctrico interrumpen el servicio en períodos críticos de verano. Finalmente, las amenazas ecosistémicas por degradación de bosques nativos, humedales y turberas comprometen la regulación natural del ciclo hídrico, afectando tanto la cantidad como la calidad del agua disponible.

N°	SSR	N°	SSR	N°	SSR	N°	SSR	N°	SSR
1	Manao	4	Calle	7	Pid Pid	10	Astillero-Punahuel	13	Villa Corcovado San Antonio y Oqueldán
2	Coñimo	5	Pupelde	8	Llau Llau	11	Queilen	14	Río Llolle
3	Tantauco	6	Rilán	9	Pindaco-quitripulli	12	Auchac	15	Quilén

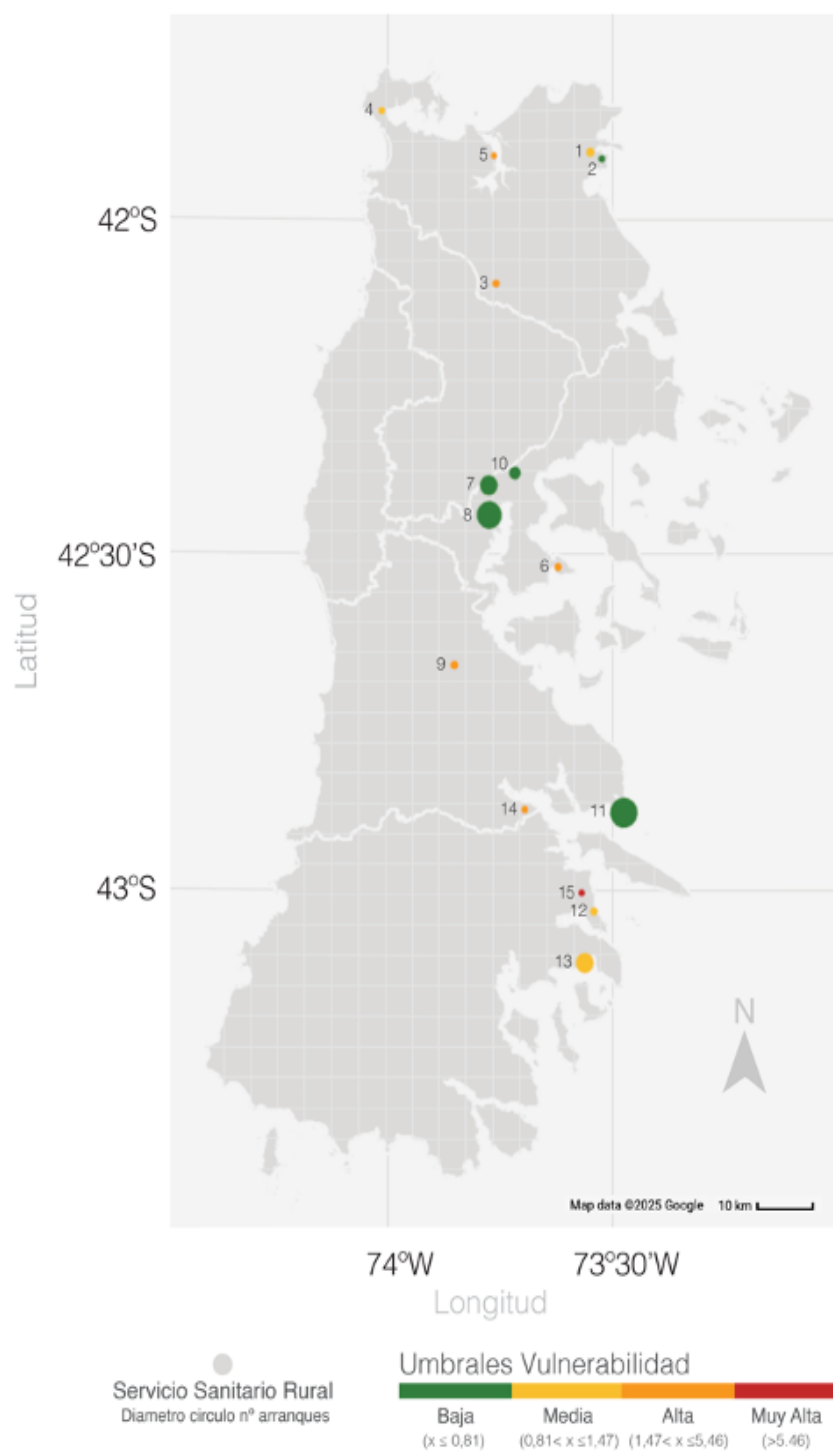


Figura 4: Representación de umbrales de vulnerabilidad para los SSR del área de estudio. Fuente: elaboración propia

4. ANÁLISIS PROSPECTIVO TERRITORIAL EN LA ISLA GRANDE DE CHILOÉ

El análisis prospectivo del territorio en la Isla Grande de Chiloé revela un proceso de transformación profundo, resultado de cambios demográficos, económicos, ambientales y de inversión pública que han modificado la forma en que se ocupa y se gestiona el territorio. En particular, los sistemas de Agua Potable Rural (SSR/APR) enfrentan hoy importantes desafíos, tanto por el aumento de la demanda como por la creciente presión sobre los recursos hídricos, en un contexto marcado por la variabilidad climática y el aumento de la población rural. Comprender estos fenómenos exige revisar cómo la isla ha cambiado en sus patrones de ocupación del suelo, en su infraestructura y en su dinámica poblacional durante las últimas décadas.

Durante los últimos treinta años, Chiloé ha experimentado un crecimiento demográfico sostenido, pasando de 154.766 habitantes en 2002 a 176.901 en 2024, lo que representa un aumento del 14%. Este crecimiento, sin embargo, no ha sido homogéneo: comunas como Castro, Chonchi, Dalcahue y Quellón muestran incrementos significativos, mientras que otras, como Quemchi y Quinchao, han visto reducciones poblacionales. A esta dinámica se suma la intensa presencia de población flotante en temporada alta—más de 114 mil personas—lo que incrementa de manera estacional la demanda de servicios, incluidos los relacionados con el agua potable.

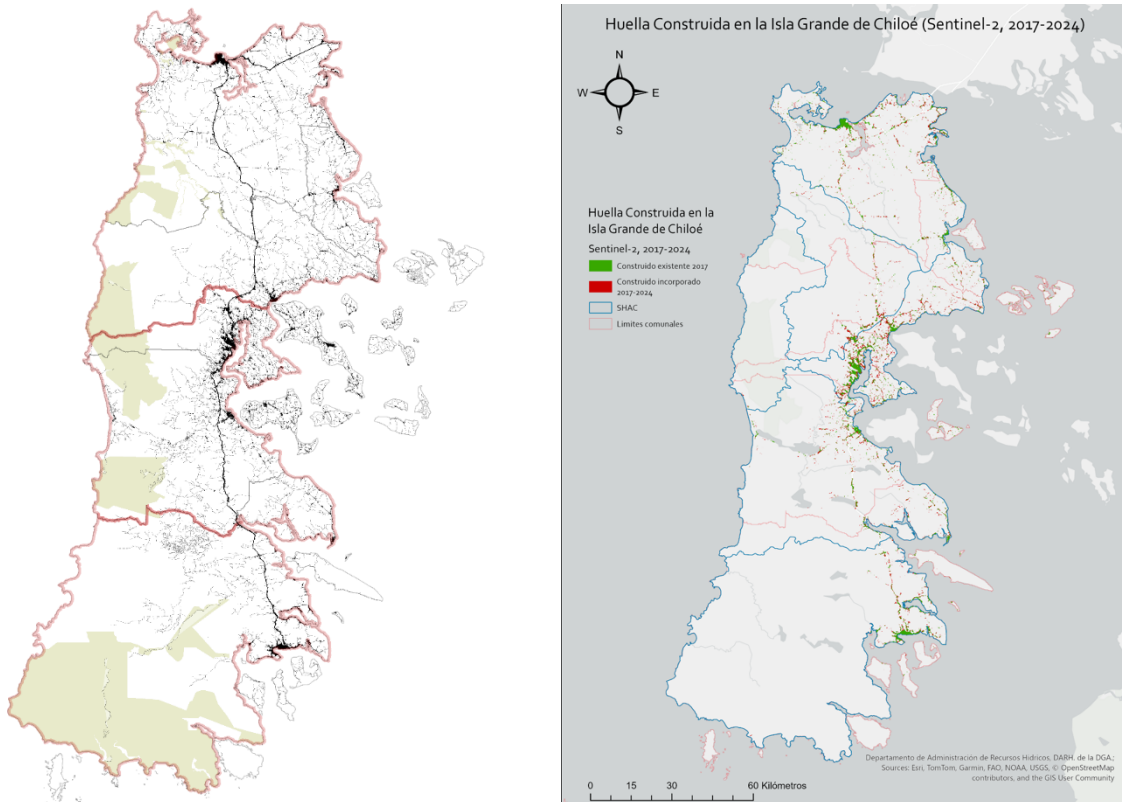


Figura 5 y Figura 6: Análisis de la distribución poblacional en torno a los principales centros urbanos y las infraestructuras de transporte de las tres macrozonas y “Huella Impermeable” construida en la Isla Grande de Chiloé (Sentinel-2 2017-2024) Fuente: Elaboración propia.

El análisis territorial de la isla se estructura en tres macrozonas: norte, central y sur. La zona norte, conformada por Ancud y Quemchi, mantiene un perfil productivo asociado a la agricultura, la ganadería, la pesca y el turismo. La macrozona central, por su parte, se ha consolidado como el principal polo funcional, particularmente en torno a Castro, capital provincial y ciudad más poblada. Allí confluyen actividades económicas vinculadas a la salmonicultura y la mitilicultura, además de servicios y conectividad aérea, terrestre y marítima. En la macrozona sur, Quellón destaca como una comuna en expansión, fuertemente influenciada por la acuicultura y con una gran proporción de áreas naturales protegidas, como el Parque Tantauco, las cuales cumplen un rol clave en la regulación hídrica del territorio.

El desarrollo económico y urbano ha modificado de manera significativa el uso del suelo. El análisis realizado mediante imágenes satelitales Sentinel-2 muestra que la superficie construida en la isla aumentó de aproximadamente 102 km² en 2017 a cerca de 190 km² en 2024, lo que representa un crecimiento notable en un periodo relativamente corto. Estas nuevas áreas edificadas tienden a localizarse cerca de los centros urbanos existentes, a lo largo de las vías principales—en especial la Ruta 5 y rutas costeras—y en zonas cercanas al borde costero, particularmente en el lado oriental de la isla. Este patrón refleja la atracción que ejercen las áreas con buena conectividad y atributos paisajísticos, especialmente para la ubicación de segundas viviendas.

El escenario reciente también ha sido influido por factores externos, como la pandemia de COVID-19, que impulsó un proceso de migración hacia regiones por parte de personas que adoptaron el teletrabajo. Este fenómeno provocó un aumento de población en diversas zonas del sur de Chile, y Chiloé no fue la excepción. Paralelamente, la consolidación del turismo como actividad estratégica y la expansión de la industria del salmón han fortalecido las infraestructuras locales, pero también han intensificado las presiones sobre los ecosistemas y los recursos hídricos, especialmente en áreas donde la ocupación avanza rápidamente.

En cuanto a inversión pública, el periodo 2015–2025 evidencia una preminencia de proyectos de conectividad vial y transporte. El Puente Chacao, la concesión de la Ruta 5 y el Bypass de Castro representan obras de gran escala que transformarán la relación física entre la isla y el continente, generando un efecto de “acercamiento” territorial y probablemente favoreciendo un crecimiento adicional, especialmente en la zona norte. Otros proyectos relevantes incluyen mejoramientos de borde costero, infraestructura educativa y de salud, así como iniciativas que buscan mejorar la oferta de servicios en zonas urbanas y rurales. En total, se contabilizan 188 proyectos en diversas comunas de la isla, lo que muestra una alta actividad de inversión pública orientada a consolidar infraestructura estratégica para el desarrollo regional.

Los sistemas de Agua Potable Rural han sido objeto de proyectos de inversión, aunque aún insuficientes para las necesidades emergentes. Durante la última década, 49 SSR han ejecutado iniciativas financiadas tanto por recursos sectoriales como fondos regionales. Sin embargo, la mayoría corresponde a construcciones nuevas, mientras que solo siete proyectos se orientan al mejoramiento o ampliación de sistemas existentes. Este desequilibrio evidencia que muchos SSR aún están en etapas tempranas de consolidación, y que existe una brecha importante en infraestructura para responder al envejecimiento de los sistemas y al incremento de la demanda. En términos de montos, Ancud, Chonchi y Dalcahue concentran las mayores inversiones, mientras que Castro y Quemchi registran cifras significativamente menores. En conjunto, la inversión total en SSR entre 2015 y 2025 asciende a unos \$44.318 millones, un volumen relevante pero todavía limitado frente a las necesidades proyectadas del territorio.

El análisis prospectivo permite concluir que la Isla Grande de Chiloé está en un punto crítico de su desarrollo territorial. El crecimiento demográfico, la expansión urbana, la consolidación de industrias como la acuícola y el turismo, junto con la mayor conectividad derivada de grandes obras de infraestructura, están acelerando cambios que no siempre encuentran respuesta adecuada en la planificación territorial ni en la gestión de los recursos naturales. En particular, los sistemas de agua potable rural y la disponibilidad hídrica enfrentan una presión creciente, en un contexto donde los ecosistemas que regulan el ciclo del agua—bosques nativos, humedales y turberas—también experimentan amenazas por la expansión de la ocupación y de actividades productivas.

Ante este escenario, se hace evidente la necesidad de fortalecer los instrumentos de planificación territorial y de profundizar la inversión en infraestructura hídrica, privilegiando no solo la construcción de nuevos SSR, sino también el mejoramiento y modernización de los existentes. Al mismo tiempo, será clave avanzar hacia un enfoque integral que articule desarrollo económico, protección ambiental y resiliencia hídrica, de modo de asegurar que el crecimiento de la isla se sostenga en bases ambiental y socialmente sostenibles para las próximas décadas.

5. ÁREA DE ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE SSR

5.1. Definición del área de estudio

Se seleccionaron 15 SSR prioritarios en la Isla Grande de Chiloé, lo que representa el 16 % de los 92 sistemas operativos en la isla grande (base de datos MOP 2024). La selección se realizó mediante criterios territoriales que aseguraran cobertura de los 6 SHAC de la isla y representatividad de diferentes zonas climáticas, criterios operacionales considerando diversidad de tipos de fuentes, variedad de tamaños por número de arranques y diferentes modelos de gestión, así como criterios de vulnerabilidad basados en exposición a amenazas climáticas, brechas de infraestructura identificadas y capacidades adaptativas diferenciadas.

Los 15 SSR seleccionados fueron: Manao, Coñimo, Tantauco, Calle, Pupelde, Píndaco-Quitripulli, Astillero-Punahuel, Rilán, Pid Pid, Llau Llao, Río Lolle, Queilén, Auchac, Quilen, y Villa Corcovado-San Antonio-Oqueldán. Estos sistemas representan adecuadamente la heterogeneidad de situaciones presentes en la isla, desde SSR pequeños con menos de 50 arranques hasta sistemas con más de 300 usuarios.

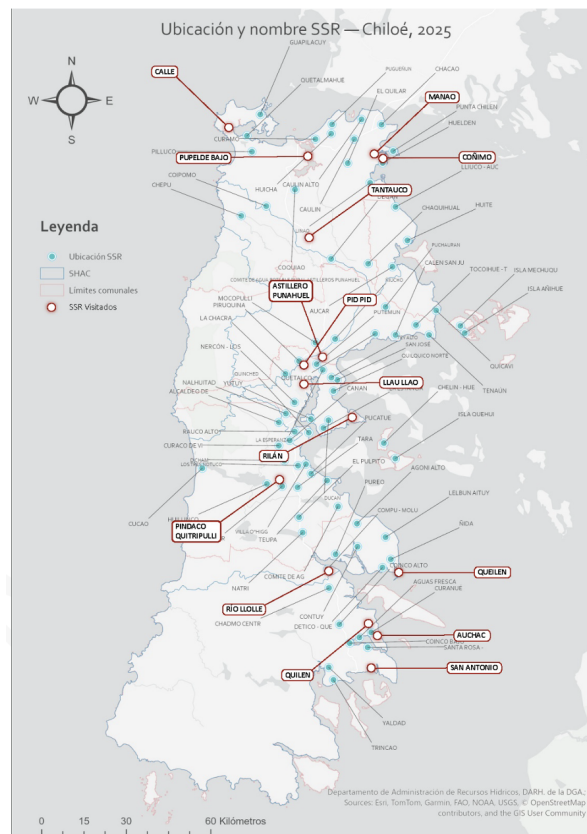


Figura 7: Mapa de la Isla Grande de Chiloé que muestra la ubicación de los 15 SSR del área de estudio. Elaboración Propia.

5.2. Caracterización general

La caracterización de los SSR visitados reveló un panorama heterogéneo pero con patrones comunes de vulnerabilidad. En términos de infraestructura, predomina el uso de fuentes superficiales, particularmente vulnerables a la variabilidad estacional. Una proporción significativa de los sistemas presenta una infraestructura obsoleta o deteriorada, con componentes que han superado su vida útil esperada. La capacidad de almacenamiento resulta insuficiente para amortiguar la demanda estival, especialmente ante las proyecciones de mayor estacionalidad climática. Un hallazgo crítico es la ausencia casi total de sistemas de tratamiento de aguas servidas, lo que genera impactos ambientales y sanitarios no resueltos.

En el ámbito de la gestión, se observaron organizaciones comunitarias con capacidades muy heterogéneas, desde directivas renovadas y técnicamente competentes hasta comités con limitaciones importantes en la gestión administrativa y financiera. Las debilidades en el mantenimiento preventivo son comunes y predomina un enfoque reactivo ante fallas. La falta de registros sistemáticos de la calidad del agua dificulta el cumplimiento normativo y la gestión proactiva.

La demanda presenta una marcada estacionalidad con picos en verano asociados al turismo y retorno de población flotante, lo que tensiona sistemas dimensionados para población base. Las proyecciones de crecimiento demográfico, aunque moderadas, generan presión adicional. Además, existen usos complementarios del agua, como el riego de huertas y la ganadería menor, que compiten por el recurso en períodos de escasez.

A nivel local, los sistemas siguen operando mayoritariamente como comités comunitarios sin fines de lucro, que dependen de la participación y la organización de sus socios. En Chiloé, esta realidad es especialmente evidente: de los 92 SSR registrados en la Isla Grande de Chiloé, 91 corresponden a comités, y solo uno es administrado por una municipalidad. La predominancia del modelo comunitario demuestra la relevancia de las redes sociales locales, pero también revela lo frágil que puede ser el sistema ante cambios normativos o presiones externas.

La gestión del agua en la Isla está fuertemente atravesada por un escenario de competencia por el recurso. Los datos de la Dirección General de Aguas muestran más de 2.400 derechos inscritos en el territorio, distribuidos entre usos consuntivos y no consuntivos. Actividades como la energía hidroeléctrica, la piscicultura, el riego y la industria mantienen una presencia significativa, en algunos casos con volúmenes muy superiores a los asignados al consumo humano. Comunas como Chonchi y Dalcahue concentran un amplio espectro de derechos, lo que evidencia un tejido productivo diversificado pero también una presión considerable sobre las fuentes de agua.

El análisis territorial revela un patrón marcado: las zonas más densamente pobladas —especialmente en torno a la Ruta 5— son también aquellas donde los puntos de captación y los SSR se superponen con mayor intensidad. En el norte de la Isla predominan las captaciones subterráneas; en el sur, las superficiales. Esta distribución, sin embargo, no siempre coincide con la disponibilidad real del recurso:

Ancud, por ejemplo, muestra un déficit de acuífero que pone en riesgo la sostenibilidad de sus sistemas, mientras que en varias zonas de la Isla aún persiste la necesidad de camiones aljibe, símbolo de la fragilidad del abastecimiento en verano.

Aunque los SSR han aumentado en número, especialmente desde los años 2000, este crecimiento no siempre ha ido acompañado de mejoras en infraestructura o diversificación de fuentes. Solo dos de los 92 sistemas cuentan con infraestructura de tratamiento de aguas servidas, lo que constituye una brecha crítica para la gestión integral del ciclo del agua. Asimismo, la transición acelerada desde fuentes superficiales a subterráneas, impulsada por la estacionalidad climática y la degradación de los cuerpos de agua, plantea un desafío mayor: los acuíferos son un recurso limitado, cuya recarga es cada vez más incierta por los cambios en el uso del suelo y la disminución de las precipitaciones.

En la práctica, la Isla está transitando desde fuentes renovables (aguas superficiales, que se renuevan con las lluvias) a fuentes no renovables (en el que los acuíferos se explotan a una tasa mayor que su recarga; revisar el capítulo de balance hídrico), una tendencia que exige planificación y regulación a largo plazo. Esto se evidencia en el caso del SHAC de Ancud, en donde a la fecha, el acuífero es el único de la Isla Grande de Chiloé que presenta balance negativo (la extracción es mayor que su capacidad de recarga).

Para entender estas dinámicas de manera integrada, el informe propone un modelo socio-hidrológico que articula tres subsistemas: el ecológico, el institucional y el comunitario. En el primero, se destaca cómo la transformación del uso de suelo —urbanización, tala de bosque nativo, expansión agrícola, extracción de pomponal— afecta procesos clave del ciclo del agua, alterando la capacidad del territorio para retener, infiltrar y regular la disponibilidad del recurso. En el segundo subsistema, la normativa hídrica aparece como un marco que busca equilibrar los usos, garantizar el caudal ecológico y priorizar el consumo humano, aunque coexistiendo con un uso doméstico no regulado (pozos y norias particulares) que escapa a los mecanismos de control. Finalmente, en el nivel comunitario, la operación de los SSR depende de la capacidad local para sostener la producción y distribución del agua, asegurar la calidad, mantener la infraestructura y gestionar tarifas y financiamiento.

En conjunto, la caracterización de los SSR de la Isla Grande de Chiloé revela un sistema profundamente interdependiente entre comunidad, territorio e institucionalidad. Los SSR cumplen un rol fundamental para garantizar el acceso al agua potable rural, pero operan en un entorno donde la presión hídrica, los cambios ambientales y las exigencias administrativas aumentan. En este escenario, su resiliencia dependerá no solo de mejorar su infraestructura y profesionalizar su gestión, sino también de fortalecer las capacidades territoriales y avanzar hacia una gobernanza del agua que reconozca la vulnerabilidad insular y promueva un uso sostenible y equitativo del recurso.

6. ENFOQUE PARTICIPATIVO: DIAGNÓSTICO EN TERRENO Y TALLERES COMUNITARIOS

El estudio adoptó un enfoque metodológico que integró el análisis técnico-científico con un proceso participativo sostenido a lo largo de toda su ejecución. Este componente permitió recoger conocimiento local, validar hallazgos y co-construir propuestas de medidas adaptativas con los propios actores que operan y habitan los sistemas de agua potable rural en la Isla Grande de Chiloé.

Trabajo en terreno: visitas a SSR e instituciones

Se realizaron **cuatro campañas de terreno** entre julio y agosto de 2025. Las tres primeras estuvieron dedicadas a la visita directa de los 15 SSR seleccionados como área de estudio. La cuarta campaña estuvo orientada a entrevistas con instituciones y organismos públicos vinculados a los SSR: las SECPLA de Castro y Ancud, la DOH Los Lagos, SUBDERE, DGA, SISS y la División de Infraestructura del Gobierno Regional.

En cada visita a los SSR se aplicó una entrevista semiestructurada organizada en seis dimensiones: **(1) disponibilidad de agua, (2) calidad, (3) continuidad del suministro, (4) aspectos legales e institucionales, (5) redes de apoyo y (6) capacidad organizacional, y conocimiento sobre cambio climático y Soluciones Basadas en la Naturaleza**. Adicionalmente, se elaboró un diagnóstico de infraestructura in situ de los componentes operacionales de los SSR. El objetivo fue generar un cuadro de vulnerabilidad y capacidades adaptativas desde la realidad concreta de cada sistema.

Los hallazgos del trabajo de campo revelaron tres grandes desafíos transversales: **la escasez estival**, presente en nueve de los quince sistemas y agravada por el aumento de la demanda turística y ganadera; **el deterioro de la infraestructura**, que en varios casos supera su vida útil y genera pérdidas, interrupciones y problemas de calidad; y las **limitaciones en la gestión administrativa y operativa**, que van desde el registro manual de consumos hasta la ausencia de planificación financiera. En paralelo, emergieron capacidades adaptativas relevantes, como la participación comunitaria activa, el uso creciente de software de gestión y la disposición de algunos comités a formular proyectos y postular a fondos públicos.

Tallere de devolución y priorización de propuesta de medidas

Esta instancia convocó a directivas, operadores y autoridades regionales y nacionales del MOP y DOH, incluyendo al director regional de DOH, jefaturas de la División de Infraestructura Sostenible de la DGOP y representantes del BID, entre otros. La presencia de autoridades en un formato de diálogo directo con las comunidades tuvo amplia recepción y favoreció una participación abierta y comprometida.

Los talleres tuvieron un doble propósito. Por un lado, **permitieron presentar a los SSR los hallazgos del diagnóstico climático y territorial**, así como las **30 medidas de adaptación** —16 estructurales y 14 no estructurales— elaboradas a partir del trabajo en terreno. Por otro lado, se planteó un espacio de retroalimentación en el que las directivas pudieron proponer medidas adicionales no contempladas y **jerarquizar las propuestas** mediante un ejercicio de votación con preferencias ponderadas.

Los resultados del ejercicio de priorización son elocuentes respecto a las prioridades de las comunidades. Entre las medidas con mayor respaldo, destacaron: el fomento de instancias de colaboración entre SSR (primera preferencia, categoría alta); la instalación de sistemas de respaldo eléctrico; el mejoramiento de redes de distribución deterioradas; la creación de un laboratorio de agua en la Isla Grande —propuesta surgida de los propios participantes, que hoy deben trasladar sus muestras a Puerto Montt—; y las campañas de concientización sobre uso eficiente del agua y protección de ecosistemas hídricos.

Diagnóstico de necesidades de capacitación

A partir del trabajo en terreno y de las encuestas aplicadas durante los talleres, se identificaron necesidades específicas de capacitación diferenciadas por grupo. Para las directivas, destacan la formación en administración, finanzas y tecnologías de gestión; el control de calidad del agua; la asesoría jurídica para saneamiento de títulos de propiedad —barrera crítica para postular a proyectos—; la eficiencia energética; y la formulación de proyectos de inversión. Para los operadores, se identificó la necesidad de capacitación técnica certificada con enfoque práctico y la formación entre pares, reconociéndose el valor de los operadores más experimentados como referentes para el resto de la isla. Para socios y usuarios, las prioridades apuntan a la concientización sobre uso eficiente del agua, la protección de ecosistemas hídricos y los programas de formación de líderes con enfoque de género y relevo generacional.

La metodología participativa adoptada demostró que la convergencia entre el conocimiento técnico y el saber territorial no solo enriquece el diagnóstico: es condición necesaria para que las medidas propuestas sean pertinentes, apropiadas por las comunidades y sostenibles en el tiempo. Los SSR no son solo destinatarios de las soluciones; son actores centrales de su diseño e implementación.

7. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN PROPUESTAS

En base a la información recopilada del trabajo en terreno con las comunidades y autoridades locales, se identificaron brechas asociadas a los componentes estructurales y no estructurales de los SSR del área de estudio. Desde ahí, se elaboró una propuesta de medidas que buscan hacer frente a dichas brechas y dotar a los SSR de una mayor capacidad de adaptación frente al Cambio Climático.

Estas medidas, fueron sociabilizadas con las directivas de los SSR a través de talleres que se llevaron a cabo en Ancud, Castro y Quellón. En dicha instancia, los participantes pudieron validar, proponer nuevas medidas no consideradas por el estudio y categorizarlas según su grado de importancia.

7.1. Medidas estructurales y no estructurales: Resultados de los talleres participativos

PRIORIZACIÓN DE MEDIDAS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES								
LUGAR	TIPO	#	MEDIDA	1RA	2DA	3RA	TOTAL	CAT
1	NO ESTRUCTURAL	17	Fomentar instancias de colaboración entre SSR	6	3	9	33	ALTA
2	ESTRUCTURAL	3	Sistema de respaldo eléctrico para hacer frente a intermitencias en el suministro eléctrico	7	1	1	24	ALTA
3	ESTRUCTURAL	9	Mejoramiento redes de distribución en aquellos SSR que cuentan con infraestructura obsoleta o que reportan filtraciones de agua.	7	0	2	23	ALTA
4	ESTRUCTURAL	17	Laboratorio de agua en Chiloé	7	1	0	23	ALTA
5	NO ESTRUCTURAL	1	Campañas de concientización sobre uso eficiente del agua y protección de ecosistemas hídricos	2	6	2	20	ALTA
6	ESTRUCTURAL	2	Captación de aguas lluvias para uso domiciliario para contribuir a satisfacer a la demanda de agua fuera del consumo humano.	3	2	3	16	MEDIA
7	ESTRUCTURAL	12	Sistemas de filtrado de aguas grises utilizada para lavados de filtros que permita su reutilización para riego o facilite la infiltración y recarga de acuíferos.	3	3	0	15	MEDIA
8	ESTRUCTURAL	4	Sistema de monitoreo de cantidad, calidad del agua y continuidad de suministro con sistema de telemetría	3	1	2	13	MEDIA

9	NO ESTRUCTURAL	21	Asesoría y asistencia jurídica para SSR, para temas como saneamiento de terrenos de la propia SSR y vecinos	3	2	0	13	MEDIA
10	NO ESTRUCTURAL	6	Asistencia técnica y capacitaciones en control de la calidad del agua	2	3	1	13	MEDIA
11	NO ESTRUCTURAL	7	Asistencia y asesoría continua en gestión administrativa, modernización y digitalización	2	3	1	13	MEDIA
12	ESTRUCTURAL	11	Dispositivo de registro y control de arranques domiciliarios que permitan evitar consumo indiscriminado y usos que exceden a los permitidos por la ley.	1	5	0	13	MEDIA
13	ESTRUCTURAL	13	Solución de fosas sépticas que evite el vertimiento de aguas negras a la tierra, lo que podría eventualmente contaminar las fuentes de agua.	3	1	1	12	MEDIA
14	NO ESTRUCTURAL	8	Asesoría Técnica en eficiencia energética	1	3	3	12	MEDIA
15	ESTRUCTURAL	8	Mejoramiento a estanques existentes	1	3	2	11	MEDIA
16	ESTRUCTURAL	6	Equipos de regulación de voltaje	0	4	3	11	MEDIA
17	NO ESTRUCTURAL	2	Programas continuos de formación de líderes y relevo generacional para directivas	1	2	4	11	MEDIA
18	NO ESTRUCTURAL	24	Proyectos de divulgación en radio y TV para informar, sensibilizar y educar sobre APR y el valor del agua " <i>agua es vida</i> "	3	1	0	11	MEDIA
19	ESTRUCTURAL	1	Mejoramiento de tranques de captación superficial	2	2	0	10	MEDIA
20	ESTRUCTURAL	10	Mejoramiento de diseño de medidores (condiciones climáticas)	3	0	0	9	BAJA
21	ESTRUCTURAL	22	Bio piscinas para tratamiento de agua de retrolavados	1	2	2	9	BAJA
22	ESTRUCTURAL	5	Mejoramiento de la infraestructura de filtrado mecánico	2	1	2	7	BAJA
23	NO ESTRUCTURAL	3	Asistencia técnica continuada y capacitaciones prácticas en terreno sobre operación y mantenimiento preventivo de infraestructura	0	1	5	7	BAJA
24	ESTRUCTURAL	7	Mejoramiento de sistemas de impulsión para asegurar requerimientos de presión	2	0	0	6	BAJA

25	ESTRUCTURAL	21	Reutilización de la infraestructura existente (ej. captaciones superficiales)	2	0	0	6	BAJA
26	NO ESTRUCTURAL	9	Asesoría en modelos de negocio para saneamiento y diversificación de ingresos	0	3	0	6	BAJA
27	NO ESTRUCTURAL	15	Capacitación a nivel profesional técnico para operadores de plantas de APR (similar a operadores de calderas en salud)	0	1	4	6	BAJA
28	ESTRUCTURAL	16	Sistema de desaladoras	1	0	2	5	BAJA
29	NO ESTRUCTURAL	10	Asistencia técnica y capacitación en formulación y postulación de proyectos.	1	1	0	5	BAJA
30	NO ESTRUCTURAL	11	Campañas de sensibilización sobre valor económico del agua, costos del servicio y e importancia del pago tarifario	0	2	1	5	BAJA
31	ESTRUCTURAL	18	Incorporar llaves Storz para bomberos	0	2	0	4	BAJA
32	ESTRUCTURAL	19	Nuevas materialidades no plásticas para estanques	0	2	0	4	BAJA
33	NO ESTRUCTURAL	5	Planificación para periodos de mayor escasez hídrica	0	2	0	4	BAJA
34	NO ESTRUCTURAL	16	Redes de colaboración para compras globales que permitan economías de escala	1	0	1	4	BAJA
35	NO ESTRUCTURAL	20	Coordinación entre entidades públicas y privadas para obras en el territorio	0	2	0	4	BAJA
36	NO ESTRUCTURAL	22	Planificación de la cuenca en torno a las APR y conocimiento de otras actividades que podría impactar en el área de las SSR	1	1	0	4	BAJA
37	NO ESTRUCTURAL	4	Asesoramiento y acompañamiento en cumplimiento de la Ley 20.998, normativa sanitaria y regularización de derechos de agua	0	1	1	3	BAJA
38	NO ESTRUCTURAL	12	Talleres y asesoría técnica en soluciones descentralizadas de saneamiento	0	0	2	2	BAJA
39	ESTRUCTURAL	14	Plantas móviles de potabilización	0	0	2	2	BAJA
40	NO ESTRUCTURAL	13	Programas de sensibilización sobre uso responsable del agua para actividades productivas.	0	0	2	2	BAJA
41	NO ESTRUCTURAL	23	Concientización sobre humedales con acciones legales para protección	0	0	2	2	BAJA

42	NO ESTRUCTURAL	14	Asistencia en planificación del desarrollo territorial y gestión de la capacidad de carga hídrica	0	0	1	1	BAJA
43	NO ESTRUCTURAL	18	Arriendo de materiales y asesoramiento a otros SSR	0	0	1	1	BAJA
44	ESTRUCTURAL	15	Sistemas de Atrapanieblas	0	0	0	0	BAJA
45	ESTRUCTURAL	20	Sistemas combinados de captación	0	0	0	0	BAJA
46	NO ESTRUCTURAL	19	Maquinaria de emergencia comunitaria	0	0	0	0	BAJA

Figura 8: Resultados priorización de medidas. Votos por preferencia que valen 3, 2 y 1 puntos según relevancia .
Fuente: elaboración Propia

7.2. Soluciones basadas en la Naturaleza

Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) aprovechan los servicios ecosistémicos para fortalecer la seguridad hídrica y ofrecen beneficios ambientales y sociales. El estudio revisó experiencias exitosas de SbN aplicables a contexto insular, incluyendo restauración de turberas en Chiloé, humedales construidos para tratamiento en zonas rurales de Chile y Latinoamérica, captación de aguas lluvias en comunidades insulares del Caribe y Escocia, reforestación para protección de cuencas en Costa Rica y Ecuador, así como manejo de praderas y ganadería para protección de fuentes en Nueva Zelanda.

En el contexto de la Isla Grande de Chiloé, se llevó a cabo un proceso de revisión de la experiencia nacional e internacional, con criterios que permitan asociar las soluciones a los desafíos que enfrentan los SSR del área de estudio. En ese sentido, se agrupan de la siguiente manera:

- A. Gestión inteligente de aguas pluviales mediante estanques y control sensorial
- B. Humedales construidos para tratamiento y reutilización de aguas residuales
- C. Captación y cosecha de aguas lluvias como estrategia de adaptación climática
- D. Infraestructura verde y gestión integrada de cuencas
- E. Tecnologías de apoyo, biofiltración y energías renovables como complemento a las SbN

Las medidas de SbN propuestas se organizan en dos ámbitos complementarios. Para fortalecer la operación de SSR, se proponen sistemas de captación y cosecha comunitaria de aguas de lluvia mediante módulos en techos comunitarios y estanques complementarios, destinados a usos no potables, con el fin de reducir la presión sobre fuentes convencionales. Los microhumedales y estanques de retención aguas arriba permiten capturar las escorrentías invernales, recargar acuíferos, regular los flujos hacia las captaciones y reducir la erosión. La energía solar para bombeo emerge como solución híbrida que reduce la vulnerabilidad a los cortes eléctricos, disminuye los costos operativos y aporta sostenibilidad ambiental.

Para la protección de fuentes, la restauración de microcuencas con especies nativas como chilco, quila, arrayán y olivillo mejora la infiltración y la retención hídricas, protege la calidad del agua y reduce la

escorrentía y la erosión. La protección de los cauces mediante barreras vegetales vivas y franjas ribereñas regula los flujos, aleja animales, filtra contaminantes y aumenta la resiliencia ante eventos extremos. El manejo del uso ganadero a través de delimitación de zonas de exclusión en torno a captaciones, bebederos alternativos con agua lluvia, rotación de praderas y mejora del bienestar animal protege la calidad sanitaria del agua y reduce deterioro de infraestructura de captación.

La gestión adaptativa y la preparación comunitaria, mediante brigadas de respuesta rápida, programas de formación de líderes, gobernanza inclusiva y monitoreo comunitario de fuentes, complementan las SbN físicas, asegurando su mantención y efectividad a lo largo del tiempo.

7.3. Identificación de ecosistemas estratégicos con potencial de regulación hídrico

En la Isla Grande de Chiloé, los ecosistemas estratégicos para regulación hídrica incluyen bosques nativos que proveen infiltración, regulación de escorrentía y protección de suelos; turberas y ñadis que almacenan agua, filtran y proveen hábitat crítico; humedales que retienen agua, regulan caudales y purifican; quebradas con vegetación nativa que mantienen conectividad hidrológica; y franjas ribereñas que protegen cauces y controlan erosión.

Para la aplicación de medidas de SbN que apunten a la protección de fuentes de agua, se estableció una metodología a partir de la cual se puedan identificar las coberturas mencionadas en los SHAC correspondientes al área de estudio (Ancud, Castro, Huillínco y Quellón)

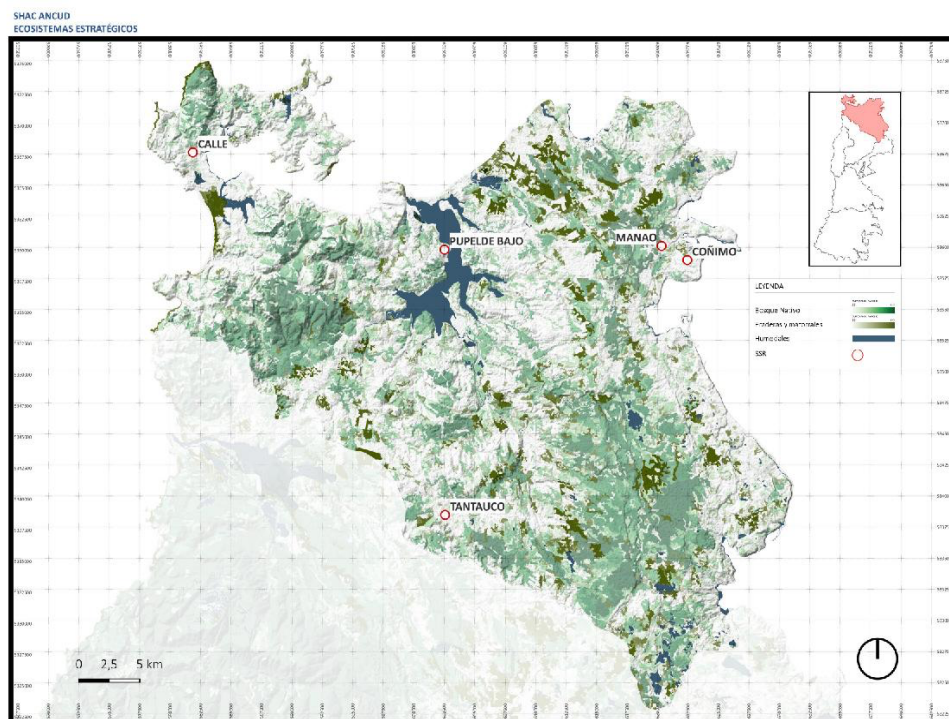


Figura 9: Identificación de ecosistemas estratégicos con potencial de regulación hídrica en SHAC de ANCUD.

En los SHAC analizados predomina la cobertura natural con alto potencial de regulación hídrica, especialmente el bosque nativo, lo que indica que el área de estudio mantiene una base ecológica relevante para sostener la disponibilidad, calidad y continuidad del agua. Los humedales aparecen de manera consistente y cumplen funciones clave como almacenamiento temporal, laminación de crecidas, recarga local y mejora de la calidad del agua mediante retención de sedimentos y nutrientes. Las coberturas de matorrales y praderas actúan como una matriz intermedia cuya contribución depende del manejo, pudiendo sostener o disminuir la infiltración y la protección de suelos.

El análisis muestra contrastes territoriales: Quellón y Huillínco presentan mayor integridad ecológica y, por tanto, mayor potencial de regulación, reforzando su rol como “infraestructura natural” para amortiguar eventos extremos y sostener caudales base. En cambio, Castro evidencia mayor presión por cambios de uso de suelo vinculados a la influencia urbana, lo que se asocia a fragmentación y a riesgos de escorrentía, erosión, sedimentación y contaminación de captaciones, requiriendo medidas de restauración y ordenamiento (franjas ribereñas, conectividad de bosque nativo, protección de humedales y control en zonas de recarga). Ancud mantiene una condición intermedia, con coberturas relevantes pero expuesta a posibles transformaciones por proyectos de infraestructura. En síntesis, la estrategia debiera enfocarse en conservación y gobernanza en los SHAC mejor conservados, y en recuperación y gestión territorial en los más intervenidos, priorizando bosque nativo y humedales como ecosistemas estratégicos para los SSR.

7.4. Caso piloto: SSR Manao

A partir de la evaluación de vulnerabilidad de los 15 SSR del área de estudio, el SSR de Manao fue seleccionado como caso piloto por reunir condiciones que lo hacen especialmente adecuado para demostrar, escalar y replicar soluciones adaptativas. Su emplazamiento en el SHAC de Ancud —el único con balance hídrico negativo en la isla— lo sitúa en el frente más expuesto al déficit hídrico proyectado. A esto se suma que su directiva se encuentra renovada, con capacidad de formulación de proyectos y liderazgo territorial, condición sine qua non para sustentar un piloto de esta naturaleza. Las dos problemáticas centrales que enfrenta el sistema —la intermitencia del suministro eléctrico que interrumpe el bombeo, y la presión creciente sobre sus fuentes de agua por el aumento del turismo estival— estructuran dos propuestas complementarias: un Plan de Manejo de Cuenca con enfoque de SbN y un sistema de respaldo energético renovable.

Plan de Manejo de la Cuenca del Estero Hueihué

El primer proyecto consiste en elaborar un Plan de Manejo para la microcuenca del estero Hueihué, fuente de abastecimiento del SSR Manao. Su objetivo es generar el conocimiento técnico y el proceso participativo necesarios para diseñar estrategias concretas de protección de fuentes, control de erosión, restauración ribereña e infiltración hídrica, integrando un enfoque de Soluciones Basadas en la Naturaleza aplicable al contexto insular.

El proyecto se estructura en cuatro componentes. El **Componente 1** contempla las actividades preliminares de ajuste metodológico, planificación y recopilación de antecedentes. El **Componente 2** desarrolla el diagnóstico territorial y la línea de base mediante la caracterización geomorfológica de la cuenca, el balance hídrico, la evaluación de la calidad del agua, el análisis de suelos y geología, y el inventario de cobertura vegetal y ecosistemas estratégicos con potencial regulador. El **Componente 3** aborda la gobernanza y la gestión participativa, incorporando a la directiva del SSR, a los usuarios y a otros actores de la cuenca en instancias de diagnóstico conjunto y en capacitaciones sobre SbN para el manejo hídrico. El **Componente 4** integra los resultados anteriores en una propuesta de medidas que incluye controles ribereños, reforestación con especies nativas, zanjas de infiltración y protección de nacientes, junto con una hoja de ruta a corto, mediano y largo plazo que identifica actores involucrados, requisitos técnicos, permisos y fuentes de financiamiento.

Los resultados esperados son: una caracterización técnica completa del sistema hidrológico y ecosistémico que sustenta el SSR; un portafolio de medidas de adaptación priorizadas y costeadas; el fortalecimiento de las capacidades de la directiva para la toma de decisiones; y un modelo de gobernanza participativa a escala de cuenca. Los beneficiarios directos corresponden a los 214 arranques domiciliarios del SSR, equivalentes a una población permanente estimada de entre 600 y 750 personas, más la población estacional. Los beneficiarios indirectos incluyen a otros SSR del archipiélago que puedan replicar la metodología, así como a actores institucionales, productivos y comunitarios presentes en la cuenca.

Sistema de respaldo energético renovable

La segunda propuesta responde a la dependencia del SSR respecto de la red eléctrica convencional, que genera interrupciones del servicio en episodios climáticos frecuentes, eleva los costos operativos y limita la autonomía del sistema. El consumo energético registrado en 2025 promedió 1.695 kWh/mes, con un pico de 2.083 kWh/mes, lo que equivale a un gasto anual estimado de \$5.400.000. El territorio de Manao ofrece condiciones favorables para la generación renovable, con una velocidad de viento promedio de 6,9 m/s y potencial solar relevante entre septiembre y febrero.

El proyecto evalúa tres escenarios. El **Escenario 1** —conservador— propone un sistema fotovoltaico de 12 kWp, inversor híbrido y batería LFP de 20–30 kWh conectado a la red, con una cobertura parcial de entre el 35% y el 50% del consumo anual y una inversión estimada de \$30 a \$50 millones. El **Escenario 2** —intermedio y considerado la opción más realista— incorpora un sistema híbrido fotovoltaico (22 kWp) y eólico (10 kW) con baterías de 60–80 kWh, capaz de cubrir aproximadamente el 70% del consumo anual, con una inversión desde \$85 millones. El **Escenario 3** —de vanguardia— plantea un sistema casi autónomo (95% de cobertura) con 35 kWp solares, componente eólico y baterías de 70–100 kWh, pero con una inversión de referencia de \$200 millones que compromete su viabilidad financiera para un SSR de este tamaño.

La recomendación del estudio es avanzar por el Escenario 2, idealmente en dos etapas: una primera que cubra el componente fotovoltaico y las baterías —financiable a través del Fondo de Acceso a la Energía (FAE) del Ministerio de Energía—, y una segunda que incorpore los aerogeneradores mediante FNDR u otros instrumentos regionales o de cooperación internacional. Esta estructuración reduce la barrera de inversión inicial y aumenta significativamente la probabilidad de implementación efectiva.

Ambos proyectos se conciben con vocación demostrativa: su diseño, metodología y resultados están orientados desde el inicio a su replicabilidad en otros SSR de Chiloé y en contextos insulares y costeros similares del país.

8. PROGRAMAS DE CAPACITACIÓN Y MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS

El diagnóstico participativo realizado con los Sistemas Sanitarios Rurales (SSR) evidenció **múltiples necesidades de capacitación y asistencia técnica**, reflejadas en las brechas levantadas durante el trabajo en terreno y los talleres con directivas, operadores y comunidades. Estas necesidades abarcan desde la gestión administrativa hasta la operación técnica, mostrando la urgencia de fortalecer capacidades locales para asegurar la sostenibilidad del servicio.

Las directivas requieren formación en **administración, finanzas y uso de tecnologías** que permitan modernizar la gestión, considerando la gran diversidad entre SSR: algunos aún trabajan con registros en papel, mientras otros avanzan hacia soluciones digitales más complejas. A esto se suma la necesidad transversal de mejorar el **control de calidad del agua**, afectado por sedimentos, contaminación y fallas en la cloración. Se propone instalar sensores, fortalecer el monitoreo y evaluar la creación de un laboratorio en la Isla Grande para reducir costos de análisis.

También se identificó la necesidad de **asesoría jurídica** para el saneamiento de títulos de propiedad, identificado como un obstáculo clave para postular a fondos, ejecutar obras y regularizar arranques. Junto con ello, el elevado costo energético de los sistemas subraya la importancia de capacitaciones en **eficiencia energética y energías renovables**, siguiendo modelos como "Agua Rural Solar".

Los **operadores** requieren formación continua y práctica en **mantenimiento preventivo**, así como espacios de intercambio entre pares. Además, se propone avanzar hacia certificaciones técnicas que profesionalicen su rol. En paralelo, se reconoce la falta de capacidades para **formular proyectos de inversión**, por lo que se sugiere fortalecer la autonomía de los SSR y fomentar el trabajo asociativo para equilibrar oportunidades entre sistemas más y menos robustos.

Para socios y usuarios, se plantea desarrollar campañas educativas sobre **uso eficiente del agua y protección de ecosistemas hídricos**, integrando un enfoque de género que valore el rol central de las mujeres en la gestión del recurso hídrico. Finalmente, se destaca la importancia del relevo generacional mediante **programas formativos para jóvenes** en liderazgo, sostenibilidad y gestión comunitaria. Estas necesidades fueron validadas y priorizadas en un piloto de capacitación que reunió a equipos SSR y

autoridades regionales, consolidando una visión compartida para avanzar hacia sistemas más resilientes y eficientes.

En base a las necesidades levantadas, y en conformidad con los requerimientos de este estudio, se elaboró un **Manual de Buenas Prácticas para la gestión comunitaria del agua en SSR**, replicable en otros contextos insulares y costeros de Chile. El documento aborda de manera simple y didáctica los desafíos y oportunidades asociados a la seguridad hídrica en los Sistemas Sanitarios Rurales (SSR), comenzando por una introducción que explica su importancia y las diversas amenazas que enfrentan las comunidades. Luego presenta el contexto actual marcado por el cambio climático y las transformaciones territoriales en la Isla Grande de Chiloé, destacando cómo estos fenómenos modifican la disponibilidad y calidad del agua, e identificando las principales vulnerabilidades de los SSR ante eventos climáticos cada vez más frecuentes e intensos.

A partir de este diagnóstico, el documento profundiza en las herramientas administrativas y comunitarias que permiten fortalecer la seguridad hídrica, desde la planificación y los Planes Comunitarios de Emergencia Hídrica (PCEH) hasta la colaboración entre sistemas y el fortalecimiento de sus directivas. Finalmente, explora el rol clave que cumplen las comunidades en la gestión responsable del recurso—incluyendo la recolección de aguas lluvias, el uso eficiente del agua potable y el adecuado manejo de las aguas servidas—y destaca la necesidad de proteger los ecosistemas hídricos locales. El cierre del documento pone en valor el papel estratégico de las directivas de los SSR, profundizando en sus funciones y en la comprensión de los costos asociados a la operación del sistema.

Acciones concretas:

Contacto con el Directorio

Mantener actualizado los datos del Directorio de SSR para consulta en la web, así las directivas pueden mantener un diálogo fluido con otras cooperativas o SSR. Se recomienda incluir información básica del sistema, como el tipo de fuente de agua, número de aranceos y tipología del servicio. Esta información puede ser de utilidad para otros directorios al momento de coordinar acciones o compartir experiencias.



Directorio de Proveedores

Además de la información de las directivas, se sugiere contar con un registro de proveedores de equipos, servicios técnicos y consultores que hayan trabajado con los SSR. Esto facilita el intercambio de referencias, la evaluación de experiencias previas y la coordinación en la contratación de servicios especializados.

Plataforma de Intercambio

Promover el uso compartido de equipos que se utilizan de manera puntual, como pozómetros, detectores de fugas, medidores multiparámetro u otros equipos asociados a las redes de distribución. Esta práctica ayuda a evitar compras innecesarias y fomenta la colaboración entre SSR.



Sistema de Bodega Común

Se propone que las directivas de los SSR, agrupadas en asociaciones zonales o uniones comunales, evalúen la implementación de sistemas de bodegas compartidas, que permitan disponer de herramientas y equipos para situaciones de emergencia. Esta iniciativa podría fortalecer el uso eficiente de recursos y la colaboración entre los SSR de la Isla Grande de Chiloé.

32

5. ACCIONES DESDE LA COMUNIDAD PARA UNA MAYOR SEGURIDAD HÍDRICA

El esfuerzo individual es indispensable
para lograr los objetivos compartidos.

Cuando la directiva del SSR y la comunidad trabajan de manera coordinada, es posible hacer mejor uso del agua, enfrentar de mejor forma los periodos de escasez y tomar decisiones que los beneficien a todos. Desde esta mirada, la comunidad puede aportar mediante acciones concretas que apoyan el trabajo del SSR y reducen la presión sobre el sistema de agua potable, especialmente en los meses de verano que son más críticos.

Acciones concretas:

- Recolección de aguas lluvias para usos distintos al consumo humano.
- Gestión doméstica del agua: Reutilización y prácticas de ahorro.
- Gestión responsable de las aguas servidas.



33

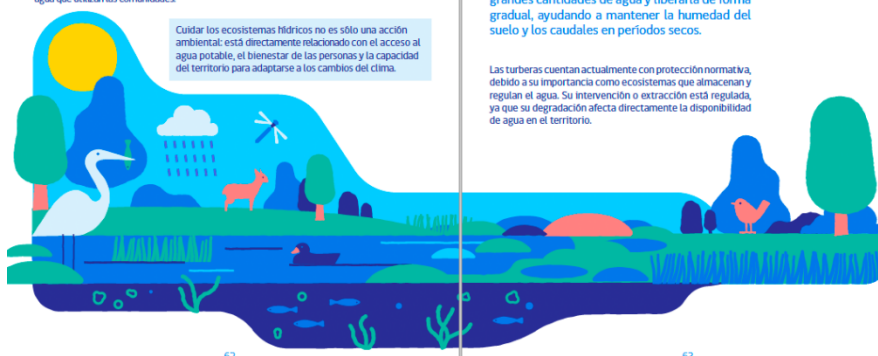
6. PROTECCIÓN DE LOS SISTEMAS HÍDRICOS. EL VALOR DE LA NATURALEZA

Chiloé tiene un gran aliado para combatir los efectos del cambio climático, los ecosistemas hídricos: los humedales, bosques, ríos, vertientes y turberas.

A. El rol de los ecosistemas hídricos.

Los ecosistemas hídricos cumplen una función clave en la seguridad hídrica del territorio. Ríos, esteros, humedales, lagunas y turberas permiten captar, almacenar y regular el agua, ayudando a mantener los caudales y reducir los riesgos de sequías e inundaciones. Estos ecosistemas favorecen la infiltración del agua al suelo, alimentan las napas subterráneas y contribuyen a la calidad del agua que utilizan las comunidades.

Cuidar los ecosistemas hídricos no es sólo una acción ambiental: está directamente relacionado con el acceso al agua potable, el bienestar de las personas y la capacidad del territorio para adaptarse a los cambios del clima.



Conozcamos un ecosistema hídrico

¿Qué son las turberas?

Las turberas son un tipo de humedal que se forma por la acumulación de materia orgánica, sobre la cual vuelve a crecer vegetación. Además de albergar una alta biodiversidad, cumplen un rol clave en la regulación y provisión del agua y del clima ya que pueden retener grandes cantidades de agua y liberarla de forma gradual, ayudando a mantener la humedad del suelo y los caudales en periodos secos.

Las turberas cuentan actualmente con protección normativa, debido a su importancia como ecosistemas que almacenan y regulan el agua. Su intervención o extracción está regulada, ya que su degradación afecta directamente la disponibilidad de agua en el territorio.

Figura 10: Extractos del Manual de Gestión Comunitaria

9. HOJA DE RUTA DE IMPLEMENTACIÓN

La propuesta de hoja de ruta para la implementación gradual de las medidas propuestas y priorizadas en el área de estudio se estructura en torno a:

- 1) Medidas estructurales de infraestructura;
- 2) Medidas no estructurales de fortalecimiento de gestión, capacidades y resiliencia; y
- 3) Un piloto demostrativo (SbN + soluciones híbridas) para un SSR seleccionado como caso de estudio.

A continuación, se resume la agrupación de las propuestas de medidas en un horizonte temporal, tomando en consideración el ejercicio de priorización realizado con los representantes de los SSR, la retroalimentación de la contraparte y las implicancias de cada una de las iniciativas en términos de costos, requerimientos técnicos y adquisición de terrenos.

Corto plazo (0–12 meses)	Mediano plazo (1–3 años)	Largo plazo (3–6+ años)
Activación de medidas no estructurales (E–H): capacitación, asistencia técnica, digitalización y cumplimiento normativo.	Ejecución de inversiones de complejidad media: mejoras de tratamiento, redes y almacenamiento; mejoras de captaciones	Obras mayores: nuevos pozos y conducciones, soluciones de saneamiento, desalinización o captaciones alternativas (según la factibilidad).

• Preinversión: levantamientos, diagnósticos específicos y perfiles SNI para obras prioritarias. • Acciones rápidas para la continuidad y la calidad: respaldo eléctrico, mejoras de cloración y filtración, control de la intrusión salina, análisis externos. • Piloto SbN + solución híbrida (Manao): cosecha de lluvias, retención de aguas arriba, energía solar y gestión adaptativa.	superficiales/subterráneas. • Escalamiento del piloto y réplica a otros SSR con condiciones similares. • Laboratorio de agua para mediciones preliminares de calidad del agua en la isla. • Consolidación de modelos tarifarios, de eficiencia energética y de planes de contingencia. • Programas de educación comunitaria y la gestión permanente de nuevos líderes.	• Laboratorio de agua de la autoridad sanitaria en la isla. • Intervenciones territoriales de mayor escala (restauración y manejo de microcuencas) con financiamiento plurianual. • Fortalecimiento institucional permanente y monitoreo a largo plazo.
---	--	---

Potenciales fuentes de financiamiento:

Las fuentes se proponen de manera indicativa y deben ajustarse según el tipo de intervención y el monto:

- MOP – Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) / Subdirección SSR: formulación y ejecución de obras de infraestructura sanitaria rural.
- Fondo Presidente de la República (Ministerio del Interior y Seguridad Pública): financia obras de mejoramiento de Sistemas de Agua Potable Rural.
- Gobierno Regional (FNDR) y/o FIC-R: cofinanciamiento de proyectos de inversión y de programas de fortalecimiento de capacidades.
- SUBDERE (PMB/PMU u otras líneas): apoyo a infraestructura de menor magnitud, equipamiento y programas municipales asociados.
- SEREMI Salud / MINSAL: apoyo a acciones de control sanitario, capacitación y fortalecimiento de las capacidades en calidad del agua.
- MMA/CONAF, fondos climáticos y cooperación internacional (GEF/CF, fundaciones): restauración, SbN y adaptación climática.
- Aportes propios de SSR (tarifa) y convenios con privados (RSE/compensaciones/alianzas): cofinanciamiento de equipamiento menor, de eficiencia energética y de campañas.
- Fondos Presidente de la República, del Ministerio del Interior y Seguridad Pública.
- Fondos privados de empresas, ONG's y/o Fundaciones, a través de programas como por ejemplo:
 - “Desafío Agua para Chile” de Fundación Desafío Levantemos Chile + CMPC; que ha beneficiado a más de 5,000 familias con soluciones de agua potable, en comunidades que dependen de los camiones aljibe para resolver la demanda de acceso al agua.
 - “Aliados por Chile”, The Coca - Cola Compnay + Fundación Avina + Fundación Chile; benefició directamente a casi 10.000 personas con más de 17.000 m3 de agua a través de SbN en María Pinto.

10. PROPUESTA DE PROYECTOS PILOTO

Componente 1 — Plan de Manejo de la Cuenca del Estero Hueihué

Objetivo: Elaborar un Plan de Manejo de Cuenca para el estero Hueihué, fuente única de abastecimiento del SSR Manao, orientado a proteger la disponibilidad y la calidad del recurso hídrico mediante Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN).

El proyecto se estructura en **cuatro componentes**:

1. **Actividades preliminares:** ajuste metodológico, plan de trabajo y recopilación de antecedentes.
2. **Diagnóstico territorial y línea de base:** caracterización hidro-geomorfológica, balance hídrico, calidad del agua, geología, suelos y cobertura vegetal.
3. **Gobernanza y gestión participativa:** levantamiento de la tuición de terrenos, instancias participativas con usuarios y actores institucionales (DOH, DGA, municipio), y capacitación técnica a la directiva en gestión de cuencas y SbN.
4. **Propuesta de medidas:** portafolio de intervenciones de protección ribereña, prevención de erosión, reforestación y protección de humedales; presupuesto referencial; y hoja de ruta a corto, mediano y largo plazo con identificación de fuentes de financiamiento.

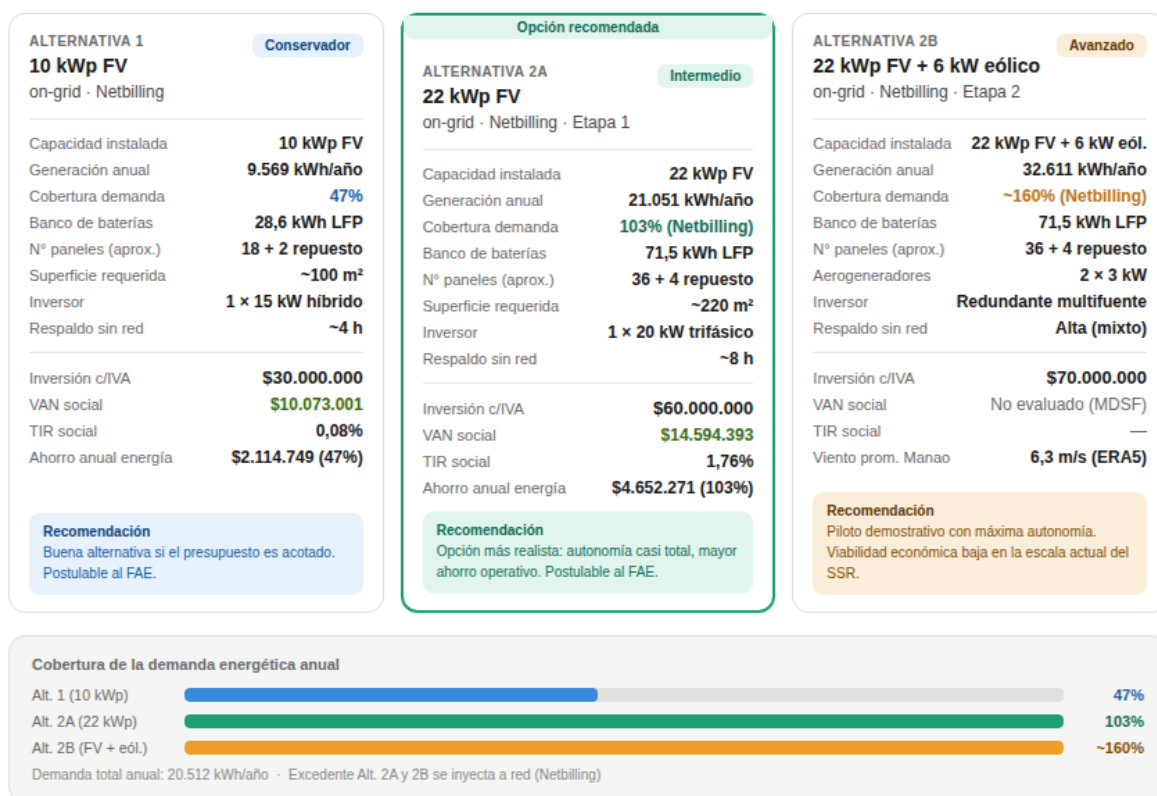
Resultados esperados: Plan de Manejo de Cuenca validado por la DGA; línea de base hidroecológica; identificación de zonas críticas de recarga y riesgo; modelo de gobernanza local articulado; y portafolio de proyectos con potencial de replicabilidad en otros SSR de Chiloé y territorios insulares del país.

Componente 2 — Sistema de Respaldo Energético Renovable

Objetivo: Diseñar e implementar un sistema de generación y almacenamiento de energía renovable que garantice la continuidad operativa del SSR, reduzca los costos energéticos y aumente su resiliencia frente al cambio climático, con enfoque en la escalabilidad.

El SSR Manao consume actualmente 20.512 kWh/año con un costo aproximado de \$5.400.000 anuales, con picos de consumo en los meses de diciembre a febrero. Se proponen **tres alternativas de solución**:

SISTEMA DE RESPALDO ENERGÉTICO — SSR MANAO · ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN



Fuentes: Explorador Solar y Explorador Eólico MEN · Boletas SAESA 2025 · Evaluación MDSF

Figura 11: Tabla resumen evaluación alternativas piloto sistema respaldo energético SSR Manao

La **alternativa 2A** es la opción más realista: permite cubrir la totalidad de la demanda anual mediante Netbilling, otorga mayor autonomía frente a cortes eléctricos —especialmente en invierno—, y es postulable al **Fondo de Acceso a la Energía (FAE)** del Ministerio de Energía. Chiloé ofrece condiciones favorables con una velocidad promedio de viento de 6,3 m/s y buen potencial solar entre septiembre y febrero.

Alcance, escalabilidad y potencial de política pública

Ambas propuestas están diseñadas con criterios de replicabilidad. El Plan de Manejo de Cuenca puede servir de insumo para justificar la priorización del Estero Hueihué en el marco del programa PERCH, mientras que el sistema energético piloto puede adaptarse a otros SSR del archipiélago y del país. El conjunto de la propuesta busca demostrar que la seguridad hídrica rural en territorios insulares requiere una intervención integrada: protección de fuentes, mejoramiento de infraestructura, autonomía energética y fortalecimiento de la gobernanza comunitaria.

11. PRINCIPALES CONCLUSIONES

1. Validación técnica de percepción comunitaria

Un hallazgo relevante del estudio es la coincidencia entre los datos técnicos sobre el cambio climático y las observaciones directas de las comunidades de SSR. Esta convergencia refuerza la robustez de ambos tipos de conocimiento, legitima la urgencia de las medidas de adaptación, fortalece la apropiación comunitaria de las soluciones propuestas y valida la metodología participativa como herramienta de co-construcción de conocimiento.

2. Desafíos multidimensionales

Los SSR de Chiloé enfrentan desafíos en múltiples dimensiones que requieren una respuesta integrada. En lo climático, la disminución progresiva de las precipitaciones, una estacionalidad más marcada con veranos secos y una mayor frecuencia de eventos extremos. En lo estructural, infraestructura obsoleta, capacidad de almacenamiento insuficiente, una transición del abastecimiento, desde fuentes superficiales renovables hacia fuentes subterráneas que actúan como un recurso no renovable (debido al balance negativo entre la recarga de los acuíferos y la extracción de agua), y ausencia de tratamiento de aguas servidas. En lo operacional: limitaciones técnicas de algunos operadores, mantenimiento reactivo, debilidad en los registros y cobros, y pérdidas en las redes. En lo institucional: fragmentación entre SSR, debilidad organizacional, falta de personal para apoyo técnico y barreras legales y de conocimiento para el financiamiento. En lo ecosistémico: degradación de bosques, humedales y turberas; presión por el cambio de uso del suelo; y falta de protección de áreas de recarga.

3. Heterogeneidad de capacidades adaptativas

No todos los SSR's tienen la misma capacidad de respuesta. Las fortalezas de algunos incluyen una organización renovada, capacidad de formulación de proyectos, herramientas digitales, redes territoriales y liderazgos comprometidos. Las debilidades en otros se manifiestan en directivas desgastadas que no han podido ser relevadas en el tiempo, conflictos internos, aislamiento institucional, capacidad técnica limitada y baja participación comunitaria. Esta heterogeneidad implica que las intervenciones deben diferenciarse y contextualizarse.

4. Necesidad de integración de enfoques

Ningún tipo de medida, por sí sola, es suficiente. Se requiere la implementación coordinada de inversión en infraestructura física para mejorar la capacidad de captación, almacenamiento y distribución; el fortalecimiento de capacidades y gobernanza, dado que la mejor infraestructura fracasa sin operadores capacitados y comunidades organizadas; y la protección y restauración de ecosistemas mediante SbN que complementen la infraestructura gris, asegurando la disponibilidad y la calidad del recurso en su origen.

5. Efectividad de la capacitación entre pares

El piloto de capacitación confirmó que los SSR's valoran enormemente los espacios de encuentro e intercambio, que aprender de otros operadores y directivas es más efectivo que las capacitaciones

tradicionales, que el formato 'de tú a tú' genera mayor confianza y transferencia de conocimiento, y que la figura de 'Operador Capacitador' puede ser institucionalizada.

6. Transición hacia SSR consolidados

Los SSR's deben evolucionar desde su rol exclusivo de suministro de agua potable hacia sistemas más integrales que incluyan el tratamiento de aguas servidas, la gestión de aguas grises, la protección activa de fuentes, la educación comunitaria y el monitoreo del cambio climático local. Esta transición requiere fortalecimiento institucional y legal, apoyo técnico y financiero sostenido, y cambio cultural hacia el rol de 'guardián del agua' en el territorio.

7. Costo-efectividad de las SbN

Las SbN tienen costos de inversión menores que los de la infraestructura convencional, generan múltiples beneficios adicionales, son compatibles con la gestión comunitaria, fortalecen la relación territorial y tienen mayor sostenibilidad en el tiempo. Sin embargo, requieren cambio de paradigma hacia enfoques socio-ecológicos, capacitación específica para diseño e implementación, monitoreo de mediano plazo para validar efectividad, y marco legal y financiero que las reconozca como inversión pública.

8. Urgencia del fortalecimiento de gobernanza

La fragmentación actual de SSR y su débil articulación institucional limitan la capacidad de incidencia en políticas públicas, economías de escala, aprendizaje mutuo y respuesta coordinada ante emergencias. El fortalecimiento de las uniones comunales, la creación de oficinas de agua potable en los municipios y la articulación de mesas hídras a escala comunal e intercomunal son acciones prioritarias. Cabe destacar que existe una muy buena disposición de los Comités a conversar sobre estos temas, lo que constituye una base positiva para avanzar y mejorar.

9. Necesidad de profundizar enfoque de género

Si bien el estudio incorporó una perspectiva de género, se identificaron áreas de mejora, incluyendo mayor participación de mujeres en directivas y en roles técnicos, reconocimiento del rol femenino en la gestión del agua, capacitaciones que aborden barreras de género específicas e indicadores desagregados por sexo en el monitoreo.

10. Replicabilidad y escalabilidad

La metodología desarrollada es transferible a otros archipiélagos de Chile, zonas costeras con problemáticas similares, SSR en otras regiones afectadas por megasequía, y adaptable a contextos con vulnerabilidades específicas. Los productos generados (indicadores, Manual de Buenas Prácticas, perfiles de proyectos) son herramientas concretas para facilitar el escalamiento.

12. RECOMENDACIONES ESTRATÉGICAS

12.1. Para el Ministerio de Obras Públicas (nivel nacional y Subdirección de SSR)

El MOP, a través de la Subdirección de SSR, podría institucionalizar el programa de 'Operadores Capacitadores', formalizando la figura de operadores experimentados que capacitan a sus pares con reconocimiento y respaldo institucional. Sería conveniente crear una línea de financiamiento específica para SbN en SSR, ya que actualmente no existe una categoría clara para estas inversiones.

Los estándares de infraestructura podrían actualizarse incorporando criterios de diseño para escenarios climáticos futuros, incluyendo una mayor capacidad de almacenamiento y la diversificación de fuentes. El equipo técnico de SSR podría requerir fortalecimiento para proveer acompañamiento permanente, aumentando la dotación de profesionales especializados con presencia territorial. La regularización de títulos de propiedad podría priorizarse mediante la asignación de recursos específicos para este programa, que destraba inversiones.

A nivel nacional, sería pertinente avanzar hacia una actualización del marco legal de SSR, que tome en consideración el cambio climático, y revisar la Ley 20.998 y su reglamento para incorporar explícitamente los desafíos de adaptación, SbN y la economía circular del agua. El desarrollo de un sistema nacional de información de SSR mediante una plataforma digital integrada permitiría el monitoreo en tiempo real, las alertas tempranas y la toma de decisiones basada en evidencia.

También sería importante evaluar el establecimiento de mecanismos de pago por servicios ecosistémicos, con marco legal y financiero, que compense a los propietarios de tierras que protegen fuentes de SSR. Los compromisos NDC y planes sectoriales podrían reconocer explícitamente el rol estratégico del agua potable rural en la política nacional de cambio climático.

12.2. Para gobiernos regionales y municipios

Los gobiernos regionales y municipios podrían integrar los SSR en los instrumentos de planificación territorial, asegurando que los Planes Reguladores Comunes y las Estrategias de Desarrollo Regional consideren explícitamente las necesidades de SSR y la protección de las fuentes. Sería recomendable activar o crear Mesas Hídricas Municipales con la participación de SSR, generando instancias de coordinación permanentes entre los actores del agua a nivel comunal. Los recursos del FNDR podrían destinarse a infraestructura hídrica rural resiliente, priorizando proyectos que incorporen criterios de adaptación climática y SbN.

12.3. Para las directivas de SSR

Las directivas de SSR podrían priorizar la implementación de planes de acción ante la escasez hídrica, como los Planes Comunitarios de Emergencia Hídrica (PCEH) sugeridos como parte del Manual de Buenas Prácticas desarrollado en este estudio, así como el fortalecimiento de Uniones Comunes y la articulación

territorial como mecanismo de fortalecimiento colectivo. Sería relevante avanzar en la regularización de la situación legal y administrativa, aprovechando los programas de apoyo disponibles para sanear títulos, actualizar estatutos y formalizar derechos de agua. La implementación de una gestión adaptativa con monitoreo continuo mediante sistemas simples de seguimiento de fuentes, consumos y calidad podría facilitar la toma de decisiones informadas. La integración de jóvenes y mujeres en roles de liderazgo podría planificarse activamente para asegurar el relevo generacional y una gobernanza inclusiva.

13. REPLICABILIDAD Y PRÓXIMOS PASOS

Potencial de replicabilidad

La metodología y las herramientas desarrolladas son directamente aplicables a territorios insulares similares en Chile, así como también a zonas de secano costero de la zona centro-sur con similares características. Las adaptaciones requeridas incluyen el ajuste de modelos climáticos a cada territorio, la caracterización de ecosistemas locales, la consideración de aspectos culturales específicos y la validación de indicadores de vulnerabilidad.

Los productos transferibles incluyen la metodología de evaluación de riesgo climático con un marco de indicadores compuestos adaptable, el Manual de Buenas Prácticas como herramienta práctica para la gestión comunitaria, las fichas técnicas de SbN implementables en la isla y el perfil de proyecto como caso replicable.

Próximos pasos recomendados

Para el período 2025-2026, se recomienda la implementación de proyectos piloto en Manao, monitoreando resultados e impactos, documentando lecciones aprendidas y ajustando propuestas según la evidencia generada. El escalamiento gradual entre 2026 y 2028 debiera replicar soluciones validadas a otros 5 SSR, consolidar el programa de capacitación permanente, implementar mejoras estructurales prioritarias y fortalecer la gobernanza territorial mediante Uniones y Mesas.

La institucionalización para el período 2028-2030 debiera incorporar aprendizajes en normativa y estándares técnicos, establecer un programa permanente con presupuesto asegurado, transferir la metodología a otras regiones y evaluar los impactos de largo plazo. Se recomienda que el monitoreo y evaluación continua incluyan sistemas de indicadores de seguimiento, evaluaciones medias y de término, sistematización y difusión de resultados, y ajustes apropiados según evidencia.

Investigación y desarrollo futuro

Se identificaron áreas que requieren profundización mediante investigación adicional, incluyendo la efectividad a largo plazo de SbN en contexto insular, medición de impactos diferenciados por género de medidas implementadas, modelos de sostenibilidad financiera para SSR rurales, integración de tecnologías digitales para gestión como Internet of Things (IoT) y sensores remotos y valoración económica de servicios ecosistémicos hídricos.

Figuras:

<i>Figura 1: Mapa de precipitación anual promedio por década (1960-2020) que muestra una disminución progresiva, especialmente desde 2010. Incluir la ubicación de SSR superpuesta para visualizar la expansión de los sistemas coincidente con períodos de mayor escasez.</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2: Comparación de la precipitación acumulada según la estación (invierno y verano) y el periodo (actual y futuro). Fuente: Datos del Explorador de Amenazas de ARClím.</i>	<i>8</i>
<i>Figura 3 Series de tiempo de los flujos del balance superficial para el periodo histórico 1986-2020 y el futuro 2021-2060, para los 4 escenarios de gestión propuestos en el estudio DGA (2022): Base, Aumento de población, Cambio de uso de suelo y Plan de gestión. Fuente: Datos de DGA (2022).</i>	<i>9</i>
<i>Figura 4: Representación de umbrales de vulnerabilidad para los SSR del área de estudio. Fuente: elaboración propia</i>	<i>12</i>
<i>Figura 5 y Figura 6: Análisis de la distribución poblacional en torno a los principales centros urbanos y las infraestructuras de transporte de las tres macrozonas y “Huella Impermeable” construida en la Isla Grande de Chiloé (Sentinel-2 2017-2024) Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>14</i>
<i>Figura 7: Mapa de la Isla Grande de Chiloé que muestra la ubicación de los 15 SSR del área de estudio. Elaboración Propia.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 8: Resultados priorización de medidas. Votos por preferencia que valen 3, 2 y 1 puntos según relevancia . Fuente: elaboración Propia</i>	<i>24</i>
<i>Figura 9: Identificación de ecosistemas estratégicos con potencial de regulación hídrica en SHAC de ANCUD.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 10: Extractos del Manual de Gestión Comunitaria.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 11: Tabla resumen evaluación alternativas piloto sistema respaldo energético SSR Manao</i>	<i>33</i>

N.º de proceso de selección: CH-R1020-P002



Ministerio de
Obras Públicas
Dirección General
de Obras Públicas



UDD
Universidad del Desarrollo

ARCADIS

