

¿Cómo impacta la sequía en los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de
la Isla Grande de Chiloé?
Riesgo de abastecimiento frente al cambio climático

Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Alumna: María-Paz Rojas C.
Profesor Guía: Diego Rivera Salazar

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada y respaldada por diversas instituciones y proyectos que hicieron posible su desarrollo. En primer lugar, contó con el apoyo del Proyecto BID CH-R1020-P002 “Implementación del Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático Sector Infraestructura 2024–2029”, el cual proporcionó el financiamiento y el marco técnico que sustentó el estudio realizado en la Isla Grande de Chiloé. Asimismo, se reconoce la colaboración del equipo de la Universidad del Desarrollo (UDD) participante en dicho proyecto, cuyo aporte técnico y soporte en el análisis de datos resultaron fundamentales para la ejecución de esta investigación.

De igual manera, el estudio recibió el respaldo académico y financiero del Proyecto FONDECYT Regular N.º 1230520, que permitió su articulación con la línea de investigación en seguridad hídrica.

Finalmente, se agradece especialmente a los dirigentes y operarios de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de la Isla Grande de Chiloé, quienes facilitaron información técnica y el acceso a terreno, contribuyendo de manera significativa al desarrollo y pertinencia territorial del trabajo realizado.

Tabla de contenido

Agradecimientos	2
Resumen.....	6
Abstract	7
1. Introducción	8
2. Marco Teórico.....	9
2.1. Riesgos hídricos y climáticos: enfoques conceptuales	9
2.2. Servicio Sanitario Rural (SSR): contexto y experiencias.....	10
2.3. Evaluación de riesgo climático aplicado a SSR.....	11
3. Materiales y metodología.....	12
4. Resultados y discusión.....	48
5. Conclusión	57
6. Referencias	59
7. Anexo.....	62

Ilustraciones

Ilustración 1. Riesgo climático de acuerdo al IPCC	9
Ilustración 2. Mapa zona de estudio.....	12
Ilustración 3. Macrozonas Isla Grande de Chiloé.....	13
Ilustración 4. Arquitectura metodológica del índice de riesgo climático para Servicios Sanitarios Rurales	23
Ilustración 5. Subindicador y relacionamiento con sus componentes	31
Ilustración 6. Subindicador y relacionamiento con sus componentes	40
Ilustración 7. Distribución espacial de los niveles amenaza anual/mensual del periodo 1980-2010	49
Ilustración 8. Análisis comparativo de exposición (E) acumulada por sistema sanitario rural (SSR)	50
Ilustración 9. Distribución espacial de los niveles de exposición (E)	51
Ilustración 10. Análisis comparativo de sensibilidad (s) acumulada por sistema sanitario rural (ssr)	52
Ilustración 11. Análisis comparativo de capacidad adaptativa (CA) acumulada por Sistema Sanitario Rural (SSR).....	53
Ilustración 12. Distribución espacial de los niveles de vulnerabilidad (V)	55
Ilustración 13. Distribución espacial de los niveles de riesgo (R)	56

Tablas

Tabla 1. Sistemas Sanitarios Rurales seleccionados	15
Tabla 2. Indicadores y subindicadores asociados al riesgo de pérdida de continuidad del servicio en los Sistemas Sanitarios Rurales	18
Tabla 3. Umbrales para indicadores de Exposición (E), Sensibilidad (S) y Capacidad Adaptativa (CA)	20
Tabla 4. Umbrales para el indicador de Amenaza (A), de acuerdo a bibliografía y estudios previos	20
Tabla 5. Aumento de temperatura y categorías de impacto	25
Tabla 6. Umbrales de disminución de precipitación y categorías de impacto.....	25
Tabla 7. Sequía hidrológica medida en <i>Standardized Precipitation Index (SPI)</i>	26
Tabla 8. Escala de ponderación por amenaza.....	26
Tabla 9. Criterios de umbralización y normalización del subindicador E1 mediante el método de quintiles	28
Tabla 10. Criterios de umbralización y normalización del subindicador E2 mediante el método de quintiles	29
Tabla 11. Criterios de umbralización y normalización del subindicador C1 mediante el método de quintiles	29
Tabla 12. Criterios de umbralización y normalización del subindicador C2 mediante el método de quintiles	30
Tabla 13. Interpretación de nivel de exposición de cada SSR.....	30
Tabla 14. Estimación del factor - promedio de personas por hogar - por comuna	32
Tabla 15. Criterios de umbralización y normalización de S1	33
Tabla 16. Criterios de umbralización y normalización de S2	33
Tabla 17. Criterios de umbralización y normalización de S3	34
Tabla 18. Criterios de umbralización y normalización de S4	34
Tabla 19. Evaluación de S5 en base a la categorización de componentes	35
Tabla 20. Criterios de umbralización y normalización de S5	35
Tabla 21. Evaluación de S6 en base a la categorización de componentes	35
Tabla 22. Criterios de umbralización y normalización de S6	36
Tabla 23. Evaluación de S7 en base a la categorización de la cantidad de fuentes de abastecimiento	36
Tabla 24. Criterios de umbralización y normalización de S7	36
Tabla 25. Evaluación de S8 en base a la categorización de componentes	37
Tabla 26. Criterios de umbralización y normalización del subindicador s8 mediante el método de quintiles	37
Tabla 27. Evaluación de S9 en base a la categorización de componentes	38
Tabla 28. Criterios de umbralización y normalización de S9	38
Tabla 29. Evaluación de S10 en base a la categorización de componentes.....	39
Tabla 30. Criterios de umbralización y normalización de S10	39
Tabla 31. Interpretación de nivel de sensibilidad de cada SSR.....	39
Tabla 32. Evaluación del componente C1 en base a la categorización de disponibilidad y uso de tecnologías para la gestión del recurso hídrico en la SSR	41
Tabla 33. Evaluación del componente C2 en base a la categorización de disponibilidad y uso de tecnologías administrativa y gestión del servicio de la SSR	41

Tabla 34. Evaluación del subindicador C1 en base a la categorización de planificación a corto plazo	42
Tabla 35. Evaluación del subindicador C2 en base a la categorización de planificación a mediano plazo.....	42
Tabla 36. Evaluación del subindicador C1 en base a la categorización de disponibilidad de sistema de respaldo	43
Tabla 37. Evaluación del subindicador C2 en base a la categorización de estado estructural y funcionamiento del sistema de respaldo.....	43
Tabla 38. Evaluación del subindicador C3 en base a la categorización de disponibilidad de protocolos, mantenimiento y sostenibilidad institucional en la SSR	43
Tabla 39. Evaluación del subindicador CA4-D1 en base a la categorización de la diversificación de fuentes de financiamiento existentes.....	44
Tabla 40. Evaluación del subindicador CA4-D2 en base a la categorización de la estabilidad y credibilidad institucional de las fuentes	44
Tabla 41. Evaluación del subindicador CA4-D3 en base a la categorización de estrategias de sostenibilidad financiera	44
Tabla 42. Evaluación del subindicador CA5-D1 en base a la categorización de la protección física y regulatoria de la fuente	45
Tabla 43. Evaluación del subindicador CA5-D2 en base a la categorización de la gestión ambiental del entorno, manejo de la microcuena y soluciones basadas en la naturaleza (SbN).....	45
Tabla 44. Evaluación del subindicador CA5-D3 en base a la categorización del monitoreo, gobernanza y sostenibilidad institucional.....	46
Tabla 45. Interpretación de nivel de capacidad adaptativa de cada SSR.....	46

Resumen

La seguridad hídrica en zonas rurales de Chile enfrenta crecientes desafíos asociados a la variabilidad climática, la degradación de fuentes de agua y limitaciones estructurales en la gestión de los sistemas de abastecimiento. En la Isla Grande de Chiloé, los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) dependen principalmente de fuentes superficiales y acuíferos de recarga pluvial, lo que los hace particularmente sensibles a cambios en el régimen de precipitaciones y a procesos de transformación territorial.

En este contexto, la presente investigación evalúa el riesgo climático y la vulnerabilidad hídrica de los SSR de la Isla Grande de Chiloé, con el objetivo de determinar en qué medida la sequía y el cambio climático influyen en la continuidad del servicio de abastecimiento de agua.

La metodología utilizada se basa en un modelo de evaluación de riesgo climático que integra variables de Amenaza (A), Exposición (E) y Vulnerabilidad (V), siguiendo el enfoque conceptual del IPCC y la propuesta de Nicolás-Artero y Blanco (2024). Para ello se analizaron 15 SSR mediante un índice compuesto que incorpora información hidro-climática histórica y proyectada, datos territoriales y antecedentes socio-institucionales levantados mediante fuentes oficiales, datos satelitales y trabajo de terreno.

El análisis se desarrolló en cuatro etapas: (1) recopilación de datos, (2) normalización de indicadores, (3) agregación dimensional y (4) cálculo del riesgo mediante una función ponderada que integra amenaza (25%), exposición (35%) y vulnerabilidad (40%), entendida como la relación entre Sensibilidad (S) y Capacidad Adaptativa (CA).

Los resultados muestran que el riesgo hídrico de los SSR no se explica exclusivamente por el cambio climático. Si bien las amenazas hidro-climáticas constituyen un factor relevante, el nivel de riesgo depende principalmente de la interacción entre exposición territorial y vulnerabilidad del sistema, especialmente del equilibrio entre sensibilidad estructural/no estructural y capacidad adaptativa de los comités.

En consecuencia, el riesgo de interrupción del abastecimiento en los SSR de Chiloé es un fenómeno hidro-climático y socio-institucional, donde el cambio climático actúa como amplificador de presiones preexistentes. El fortalecimiento de la gobernanza local, la planificación y la capacidad adaptativa de los sistemas emergen como una estrategia clave para reducir la vulnerabilidad y mejorar la resiliencia hídrica ante escenarios de mayor variabilidad climática.

Abstract

Water security in rural areas of Chile faces increasing challenges associated with climate variability, the degradation of water sources, and structural limitations in the management of supply systems. In the Isla Grande de Chiloé, Rural Sanitary Services (SSR) rely mainly on surface water sources and rain-fed aquifers, making them particularly sensitive to changes in precipitation patterns and processes of territorial transformation.

In this context, this research evaluates the climatic risk and water vulnerability of SSR systems in the Isla Grande de Chiloé, with the aim of determining the extent to which drought and climate change influence the continuity of water supply services.

The methodology is based on a climate risk assessment model that integrates the variables of Hazard (H), Exposure (E), and Vulnerability (V), following the conceptual framework of the IPCC and the proposal by Nicolás-Artero and Blanco (2024). Fifteen SSR systems were analyzed using a composite index that incorporates historical and projected hydroclimatic information, territorial data, and socio-institutional background collected from official sources, satellite data, and fieldwork.

The analysis was conducted in four stages: (1) data collection, (2) indicator normalization, (3) dimensional aggregation, and (4) risk calculation using a weighted function integrating hazard (25%), exposure (35%), and vulnerability (40%), the latter understood as the relationship between Sensitivity (S) and Adaptive Capacity (AC).

The results show that the water risk faced by SSR systems cannot be explained solely by climate change. Although hydroclimatic threats constitute a relevant factor, the level of risk mainly depends on the interaction between territorial exposure and system vulnerability, particularly the balance between structural and non-structural sensitivity and the adaptive capacity of the committees.

Consequently, the risk of water supply interruption in the SSR systems of Chiloé is a hydroclimatic and socio-institutional phenomenon, where climate change acts as an amplifier of pre-existing pressures. Strengthening local governance, planning processes, and the adaptive capacity of these systems emerges as a key strategy to reduce vulnerability and improve water resilience under scenarios of increased climate variability.

1. Introducción

El cambio climático es una de las principales amenazas ambientales del siglo XXI, con impactos directos en la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos. En Chile, los efectos del cambio climático se han manifestado en un aumento de la temperatura promedio, una disminución sostenida de las precipitaciones y una mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos (Garreaud et al., 2020; MMA, 2024), como olas de calor y sequías prolongadas. Estas condiciones han exacerbado la crisis hídrica en diversas regiones del país, afectando especialmente a las comunidades rurales que dependen de fuentes de agua vulnerables y sistemas de abastecimiento con capacidad limitada (Escenarios Hídricos 2030, 2021).

Los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) constituyen la infraestructura crítica para el abastecimiento de agua en las zonas más aisladas del país. En el marco de la Ley 20.998, los SSR asumen la gestión del agua en un escenario de creciente complejidad técnica y ambiental (DOH, 2023). Esta situación es particularmente crítica en el archipiélago de Chiloé, donde la seguridad hídrica depende de un ciclo hidrológico condicionado por la capacidad de almacenamiento de los acuíferos superficiales y la formación de vegetación específica. La degradación de estas fuentes, sumada a la variabilidad del régimen de precipitaciones, ha reducido la capacidad de recarga de las cuencas insulares, lo que tensiona la operatividad de los sistemas de captación y saneamiento locales (DGA, 2022).

Para abordar esta problemática, la presente investigación propone un modelo de evaluación integral basado en la interacción entre las dimensiones climáticas, operacionales y territoriales, siguiendo marcos analíticos de vulnerabilidad hídrica adaptados al contexto nacional (Álamos et al., 2021).

El objetivo general es evaluar el riesgo climático y la vulnerabilidad que afectan a los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de la Isla Grande de Chiloé, integrando información climática, hidrológica y socio-institucional. Para ello, se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar las amenazas hidro-climática histórica y proyectada
- Determinar el nivel de vulnerabilidad mediante la relación Sensibilidad/Capacidad Adaptativa
- Estimar el riesgo climático como herramienta de priorización de medidas de adaptación

El análisis se estructura en cuatro etapas que transitan desde la captura de datos hasta la estimación del riesgo:

- Etapa 1 (Entrada de Datos): Consolidación de fuentes de información de organismos oficiales (DGA, DOH, DMC) y datos satelitales (MapBiomias Chile), junto a evidencia cualitativa obtenida mediante entrevistas y visitas a terreno para caracterizar los componentes de los subindicadores de Exposición (E), Sensibilidad (S) y Capacidad Adaptativa (CA).
- Etapa 2 (Normalización): Transformación de los datos brutos mediante normalización absoluta (umbrales desde fuentes bibliográficas) y normalización relativa (método de quintiles para la muestra de 15 SSR) para obtener una escala común de análisis.
- Etapa 3 (Sumatoria Dimensional): Agregación de componentes y subindicadores para cuantificar de manera independiente las dimensiones de la amenaza y la vulnerabilidad del sistema.

- Etapa 4 (Ponderación del Riesgo): Determinación del Riesgo (R) mediante una función ponderada que integra la Amenaza (A) con un peso del 25%, la Exposición (E) con un 35%, y la Vulnerabilidad (V) —entendida como el cociente entre Sensibilidad y Capacidad Adaptativa— como el motor crítico del modelo con el 40% del peso total. Adicionalmente, se evalúa el estado actual de los SSR en Chiloé, lo que incluye la infraestructura, la capacidad operativa y los desafíos en la gestión del agua. Con esta información, se identificarán los principales riesgos asociados a la sequía y al cambio climático y los efectos sobre el suministro y calidad del agua, y la continuidad de los servicios sanitarios.

En conjunto, este enfoque metodológico permite cuantificar el riesgo climático que enfrentan los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de la Isla Grande de Chiloé y desarrollar una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en materia de adaptación y planificación hídrica territorial. La integración de información climática proyectada, variables operacionales y componentes socio-institucionales busca aportar evidencia técnica para fortalecer la resiliencia de los SSR frente a escenarios de creciente incertidumbre climática, contribuyendo así a la seguridad hídrica local y al diseño de estrategias de gestión más robustas y contextualizadas.

2. Marco Teórico

2.1. Riesgos hídricos y climáticos: enfoques conceptuales

El concepto de riesgo se ha consolidado como una herramienta central para caracterizar y evaluar los impactos del cambio climático sobre los sistemas naturales y sociales. Desde la perspectiva del IPCC¹, el riesgo climático resulta de la interacción entre las amenazas derivadas de la variabilidad y el cambio climático, la exposición de personas y sistemas a dichas amenazas, la vulnerabilidad que condiciona su sensibilidad y fragilidad, y la capacidad adaptativa que determina las posibilidades de respuesta (IPCC, 2022; Ilustración 1). Este enfoque permite articular de manera integrada los factores biofísicos y sociales, superando aproximaciones que concebían el riesgo únicamente como la probabilidad de ocurrencia de un evento extremo.

Ilustración 1. Riesgo climático de acuerdo al IPCC



Fuente: elaboración propia

¹ IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Organismo de la ONU encargado de evaluar la ciencia relacionada con el cambio climático

La sequía ha sido una de las amenazas más estudiadas, tanto en su dimensión meteorológica como hidrológica y socioeconómica. Wilhite y Glantz (1985) fueron pioneros en distinguir entre distintos tipos de sequía: meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica. Los impactos no dependen exclusivamente de la magnitud del déficit hídrico, sino también de las condiciones de gestión, infraestructura y uso del agua. De este modo, el riesgo hídrico se entiende no solo como escasez física, es decir, calidad y cantidad, sino también como una construcción social asociada a la manera en que las comunidades dependen, organizan y administran el recurso —acceso y oportunidad.

En América Latina, diversas investigaciones han enfatizado que la vulnerabilidad de los sistemas de agua rural está determinada tanto por factores físicos, como la disminución de precipitaciones o la calidad de las fuentes, y por dimensiones sociales e institucionales. Estudios sobre gobernanza hídrica en la región muestran que la capacidad organizativa de las comunidades, los mecanismos de gestión colectiva y la articulación institucional influyen de manera significativa en la sostenibilidad de los sistemas de agua rural (Trimble et al., 2020; Valcourt et al., 2020). Asimismo, investigaciones sobre servicios sanitarios rurales en Chile destacan que la gestión comunitaria y las redes de colaboración local constituyen elementos clave para enfrentar contextos de escasez hídrica y fortalecer la resiliencia² de los sistemas frente a presiones climáticas y territoriales (Duarte-Vera et al., 2021).

En consecuencia, los enfoques contemporáneos sobre riesgos hídricos y climáticos reconocen que el riesgo no es un atributo inherente al evento climático, sino el resultado de una interacción dinámica entre procesos naturales y sociales. Esta relación es fundamental para diseñar metodologías de evaluación que integren indicadores de amenaza, exposición, vulnerabilidad y capacidad adaptativa, como las que se aplicarán en la presente investigación.

2.2. Servicio Sanitario Rural (SSR): contexto y experiencias

Los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) constituyen una de las principales modalidades de provisión de agua potable en zonas rurales e intermedias de Chile. Son gestionados mayoritariamente por organizaciones comunitarias sin fines de lucro. Su origen se remonta a los programas de Agua Potable Rural (APR) impulsados por el Estado en la década de 1960, orientados a mejorar la calidad de vida de la población rural mediante la instalación de infraestructura básica para el abastecimiento de agua (SISS, 2022). Actualmente, los SSR abastecen a más de dos millones de personas en el país, lo que constituye un componente esencial de la seguridad hídrica y de la cohesión social en territorios fuera de las concesiones de agua potable urbana.

El marco legal vigente está definido por la Ley N.º 20.998 sobre Servicios Sanitarios Rurales, promulgada en 2017 y reglamentada en 2020, que reconoce formalmente a estas organizaciones y establece normas para su operación, fiscalización y financiamiento. Esta ley busca fortalecer la sostenibilidad de los SSR, mejorar la capacidad técnica e institucional y garantizar un suministro seguro y de calidad a la población (Ministerio de Obras Públicas, 2019). No obstante, persisten desafíos asociados a la mantención de la infraestructura, a la capacidad de gestión de los comités y cooperativas, y a las brechas en la cobertura de tratamiento y monitoreo de la calidad del agua (SISS, 2022).

² Capacidad de un sistema complejo para anticipar, absorber, adaptarse, y/o recuperarse de un suceso, tendencia o perturbación peligrosa, asociada al cambio climático, manteniendo su función y organización, y conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, de aprendizaje y transformación, Álamos et al., 2021.

La experiencia internacional muestra que los SSR comparten desafíos comunes con otros modelos de gestión comunitaria en América Latina. En México, Perú y Bolivia, los sistemas de agua rural han debido enfrentar tensiones relacionadas con la escasez hídrica, la presión de la demanda y la limitada capacidad de financiamiento y gobernanza local (World Bank, 2017; CEPAL, 2023). Estas experiencias resaltan la importancia de fortalecer las capacidades organizativas, la participación comunitaria y los vínculos con instituciones estatales para garantizar la resiliencia de los sistemas rurales frente al cambio climático.

En el caso chileno, los SSR no solo cumplen un rol técnico en el abastecimiento de agua, sino que también desempeñan un papel social y cultural en la vida comunitaria. La resiliencia de los SSR frente a crisis hídricas depende tanto de la infraestructura como de factores como la cohesión social, la capacidad de adaptación organizacional y la construcción de redes de colaboración con otros actores territoriales. Esta perspectiva coincide con propuestas participativas como el Sistema de Monitoreo Local (SIMOL), que pone en el centro a los comités como actores clave de la gobernanza del agua rural en contextos de crisis (Donoso & Vicuña, 2016; Urquiza et al., 2020).

Los SSR en Chile representan una experiencia singular de gestión comunitaria del agua que, pese a los avances normativos y de cobertura, continúa enfrentando desafíos estructurales y climáticos. La experiencia comparada en América Latina refuerza la necesidad de fortalecer la capacidad adaptativa y la gobernanza local, pues son un componente crítico para la seguridad hídrica de las poblaciones rurales.

2.3. Evaluación de riesgo climático aplicado a SSR

El riesgo climático es la interacción entre amenazas climáticas e hidrológicas y la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad adaptativa de los sistemas (IPCC, 2022). En Chile, el Atlas de Riesgo Climático (ARClím) constituye un esfuerzo pionero en la integración de información climática y proyecciones hidro-climáticas para distintos territorios, aunque se centra principalmente en variables biofísicas y no incorpora en profundidad las dimensiones socio-institucionales de los sistemas de agua rural.

Frente a estas limitaciones, otros enfoques complementarios enfatizan la dimensión hidro-social y comunitaria. Nicolás-Artero y Blanco (2024) propone un Indicador Compuesto de Seguridad Hídrica para la interfaz doméstica-comunitaria y muestra que la inseguridad hídrica en áreas rurales no depende únicamente de la disponibilidad física del recurso, sino también de factores como la gestión comunitaria, las redes de apoyo y la robustez institucional. El Sistema de Monitoreo Local (SIMOL) es una herramienta participativa para que los comités de agua rural evalúen su situación en torno a variables como la operatividad de los sistemas, la gobernanza comunitaria, la protección de cuencas, la sustentabilidad económica y la apropiación del agua como derecho humano y bien común (Carrasco et al., 2021). Esta propuesta refuerza la necesidad de integrar dimensiones sociales, políticas y culturales en la evaluación del riesgo. Mientras ARClím entrega una base sólida para el análisis de amenazas climáticas, Nicolás-Artero (2024) y SIMOL (2021) sostienen la vulnerabilidad y capacidad adaptativa desde una perspectiva comunitaria.

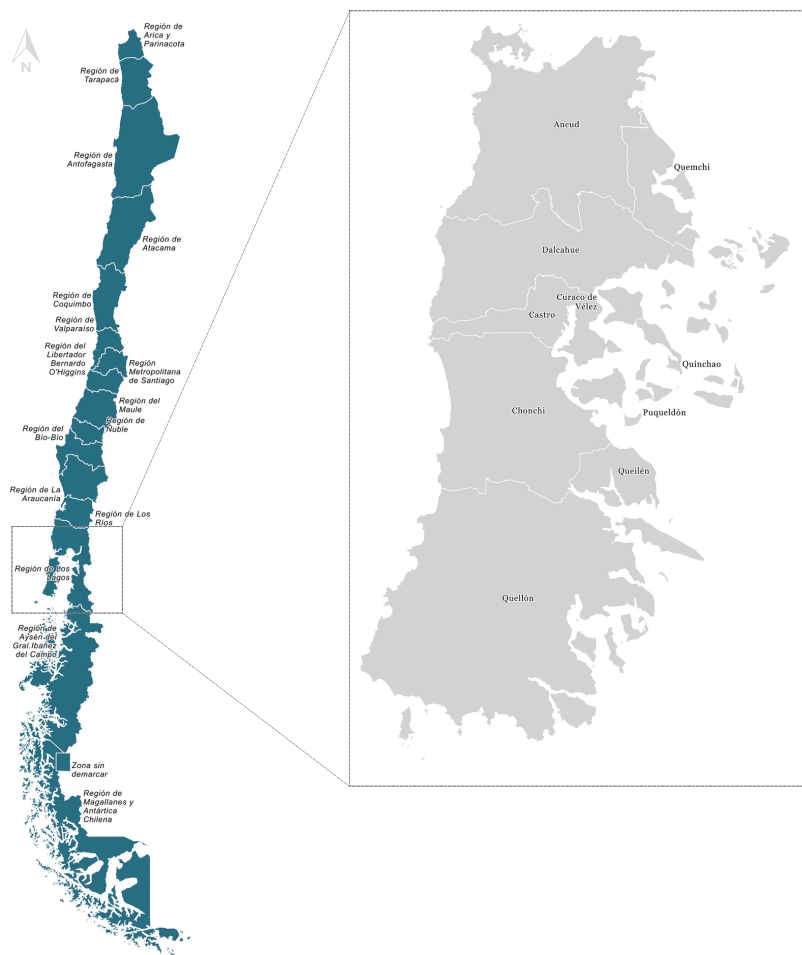
En la presente investigación, se combinan variables climáticas, hidrológicas, territoriales y socio-organizacionales para caracterizar los riesgos de los Servicios Sanitarios Rurales en la Isla Grande de Chiloé. La definición precisa de dichos indicadores, así como las fuentes de datos y procedimientos de análisis, se presenta en el capítulo metodológico.

3. Materiales y metodología

3.1. Zona de estudio. Geografía y demografía

La investigación se desarrolla en la Isla Grande de Chiloé, ubicada en la Región de Los Lagos, al sur de Chile (Ilustración 2). El territorio se caracteriza por su condición insular, una alta fragmentación espacial y una fuerte dependencia de sistemas hídricos superficiales de pequeña escala, humedales y acuíferos someros de recarga pluvial. La dinámica hidrológica local se encuentra estrechamente vinculada al régimen de precipitaciones, con marcada estacionalidad y alta sensibilidad a variaciones interanuales, lo que condiciona la disponibilidad de agua para consumo humano y actividades productivas (DGA, 2022).

Ilustración 2. Mapa zona de estudio



Fuente: elaboración propia

En las últimas tres décadas, la Provincia de Chiloé ha experimentado una transformación estructural impulsada por el desarrollo acuícola, el auge turístico y cambios en los patrones de residencia posteriores a la pandemia (Román et al., 2015). Según datos de los últimos ciclos censales, la población provincial aumentó de 154.766 habitantes en 2002 a 176.901 en 2024, lo que representa un crecimiento aproximado del 14%. Territorialmente, la isla se organiza en tres macrozonas

funcionales (Ilustración 3). La Macrozona Norte, que comprende las comunas de Ancud y Quemchi, presenta una matriz productiva basada en la agricultura, la ganadería y la pesca, junto con un desarrollo creciente del sector turístico. La Macrozona Centro, integrada por Dalcahue, Castro, Chonchi, Puqueldón y Queilén, constituye el núcleo administrativo y de servicios de la isla; Castro, con más de 46.000 habitantes, actúa como polo funcional que concentra infraestructura crítica, conectividad y la mayor densidad de la industria mitilicultora³ y salmonera. Por su parte, la Macrozona Sur, correspondiente a la comuna de Quellón, exhibe el crecimiento demográfico más acelerado de la provincia (30,4% en el periodo 2002–2024), asociado a la expansión de la frontera acuícola, y destaca además por albergar reservas de biodiversidad y extensas turberas que cumplen un rol clave como infraestructura ecológica para la regulación del ciclo hidrológico y la resiliencia climática del territorio (INE, Censo 2002-2024).

Ilustración 3. Macrozonas Isla Grande de Chiloé



Fuente: elaboración propia

El aumento demográfico, junto con la intensificación productiva, ha generado una presión significativa sobre la huella impermeable y los ecosistemas naturales, lo que tensiona la disponibilidad del recurso hídrico tanto en áreas rurales como urbanas. Asimismo, el territorio experimenta una variación estacional relevante asociada al turismo.

³ Industria dedicada a la producción y exportación de choritos (*Mytilus chilensis*)

3.2. Metodología

De los 92 SSR existentes en la Isla Grande de Chiloé, se seleccionaron 15 sistemas para el análisis detallado (tabla 1). La muestra fue definida mediante un proceso de priorización técnica sustentado en estudios previos y posteriormente validado con la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), con el fin de asegurar la pertinencia territorial y operativa. La selección consideró criterios territoriales y funcionales, priorizando la Macrozona Norte (Nodo Ancud), identificada como el sector de mayor vulnerabilidad hídrica debido a la tendencia decreciente de las precipitaciones y a un balance hídrico subterráneo negativo, además de crecientes presiones antrópicas asociadas a población flotante y proyectos de infraestructura de gran escala como el Puente Chacao. Asimismo, se incorporaron sistemas de la Macrozona Centro (Nodo Castro), donde se observan señales de saturación operativa vinculadas a la expansión urbana y al crecimiento demográfico sostenido.

La muestra fue configurada para reflejar la diversidad técnica e histórica de los sistemas presentes en la isla, incluyendo SSR con captaciones superficiales, subterráneas y mixtas, así como organizaciones constituidas entre 1982 y 2023. De este modo, los 15 servicios seleccionados actúan como casos representativos de los distintos contextos geográficos, técnicos y socioeconómicos del territorio insular.

Tabla 1. Sistemas Sanitarios Rurales seleccionados

Nº	Nombre Comité	Comuna	SHAC	Año constitución	Nº arranques	Fecha inicio	Tipo fuente	Tipo asentamiento	Saneamiento (SI/NO)
1	Conimo	Ancud	Ancud	2002	105	31-07-2009	Superficial - subterránea	concentrado	no
2	Manao	Ancud	Ancud	2002	192	18-07-2008	Superficial	concentrado	no
3	Pupelde Bajo La Playa	Ancud	Ancud	2001	62	S/I	Superficial	concentrado	no
4	Tantauco	Ancud	Ancud	2019	122	09-08-2020	Subterránea	semiconcentrado	no
5	Calle	Ancud	Ancud	2015	84	30-08-2021	Superficial - subterránea	semiconcentrado	no
6	Pid Pid	Castro	Castro	1997	724	22-10-2021	Superficial	concentrado	no
7	Llau Llao	Castro	Castro	1987	1201	17-06-2010	Superficial - subterránea	concentrado	si
8	Rilan	Castro	Castro	1987	130	19-10-2021	Superficial	concentrado	si
9	Pindaco - Quitripulli	Chonchi	Huillinco	2019	138	S/I	Superficial - subterránea	concentrado	no
10	Astilleros Punahuel	Dalcahue	Castro	2023	403	S/I	Subterránea	semiconcentrado	no
11	Queilen	Queilén	Quellón	1982	1373	09-10-2012	Superficial	concentrado	no
12	Auchac	Quellón	Quellón	1999	161	09-10-2021	Superficial	concentrado	no
13	Quilén	Quellón	Quellón	2014	80	21-10-2021	Superficial	semiconcentrado	no
14	Villa Corcovado San Antonio Y Oqueldán	Quellón	Quellón	2001	634	28-10-2021	Superficial	concentrado	no
15	Río Lolle	Quellón	Quellón	2001	100	S/I	Superficial	concentrado	no

Fuente: elaboración propia

3.2.1 Base de datos primaria – secundaria

La arquitectura de datos de la investigación se estructura en dos niveles complementarios: una base de datos secundaria de carácter institucional y una base de datos primaria construida a partir de trabajo de campo.

La base primaria, o de evidencia cualitativa, se construyó a partir de trabajo en terreno en 15 SSR seleccionados en la Isla Grande de Chiloé. Se aplicaron entrevistas semi-estructuradas y encuestas a técnicos, dirigentes y personal administrativo, con el objetivo de recopilar información relativa a la gestión operativa, gobernanza, capacidad financiera, mantenimiento de infraestructura y mecanismos de respuesta ante eventos de escasez.

Esta dimensión cualitativa resulta fundamental para la estimación de los componentes de Sensibilidad (S) y Capacidad Adaptativa (CA), en línea con enfoques recientes de seguridad hídrica que integran la interfaz doméstico-comunitaria como escala crítica de análisis (Nicolás-Artero & Blanco, 2024). La incorporación de esta evidencia permitió complementar los datos físicos y administrativos con información contextual sobre prácticas locales, organización comunitaria y percepción de riesgo, fortaleciendo así la robustez del modelo integral de evaluación.

La base secundaria integra información de organismos oficiales para la construcción de los subindicadores asociados a las dimensiones de Amenaza (A) y Exposición (E).

En materia de cobertura y uso de suelo, se emplearon datos satelitales de MapBiomás Chile, los cuales permitieron evaluar cambios en la cobertura vegetal y transformaciones del uso del suelo en zonas de recarga hídrica. La pérdida de cobertura boscosa y la expansión de actividades productivas constituyen variables relevantes para comprender las alteraciones en los procesos de infiltración y regulación hídrica.

Respecto de la disponibilidad de derechos de agua, se utilizó información del Catastro Público de Aguas de la Dirección General de Aguas, con el fin de verificar la existencia y características de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) asociados a cada SSR analizado.

En cuanto a infraestructura, se consideraron inventarios técnicos de la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), que incluyen información sobre los sistemas de captación, tratamiento, impulsión y almacenamiento. Estos antecedentes permitieron caracterizar la capacidad instalada y posibles brechas estructurales en los sistemas estudiados.

La evaluación del riesgo en los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de la Isla Grande de Chiloé se organiza en torno a una cadena de riesgo que permite identificar, de manera diferenciada, las principales amenazas, factores de exposición y vulnerabilidad que condicionan la calidad, cantidad y continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable.

La arquitectura metodológica se fundamenta en un análisis multicriterio diseñado para capturar las particularidades del Sistema Sanitario Rural (SSR). La jerarquización de las variables sigue una estructura descendente de tres niveles: Indicador, Subindicador y Componente. La Tabla 2 detalla los subindicadores y componentes de Amenaza (A), Exposición (E), junto con los factores de Sensibilidad (S) y Capacidad Adaptativa (CA) que permiten valorizar el indicador de Vulnerabilidad (V). Además, se muestra la metodología empleada para la cuantificación, normalización y ponderación, conforme al marco conceptual del riesgo propuesto por el Panel Intergubernamental

sobre Cambio Climático (IPCC, 2022), lineamientos metodológicos del Center for Climate and Resilience Research (CR2, 2017) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2018) para sistemas rurales de agua y saneamiento.

Las dimensiones de Exposición (E), Sensibilidad (S) y Capacidad Adaptativa (CA) —los dos últimos definen la vulnerabilidad intrínseca de los SSR— se desglosan hasta el nivel de componente, permitiendo una evaluación detallada de los atributos operativos y socio-técnicos de los SSR. En la dimensión de Amenaza (A), la caracterización se detalla hasta el nivel de subindicador, pues las variables climáticas y meteorológicas procesadas proporcionan la resolución necesaria para el análisis de riesgo sin requerir una desagregación adicional en componentes.

Para la cuantificación de los subindicadores mencionados, se consolidó un inventario de datos proveniente de fuentes oficiales y plataformas de referencia técnica, entre las que destacan la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2), la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) y la Dirección General de Aguas (DGA). Asimismo, se integró información del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), proyecciones climáticas del CMIP6⁴, CONAF y MapBiomias Chile. Esta base de datos secundaria fue robustecida mediante una fase de validación empírica, incorporando información primaria recabada en campañas de terreno y mediante entrevistas y encuestas aplicadas a los directivos de los Comités y Cooperativas de SSR.

La evaluación del riesgo se proyecta bajo el escenario de cambio climático SSP5-8.5 (trayectoria de altas emisiones), comparando un periodo de línea de base o actual (1980-2010) con un horizonte de futuro cercano (2035-2065).

⁴ <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/projections-cmip6?tab=overview>.

Tabla 2. Indicadores y subindicadores asociados al riesgo de pérdida de continuidad del servicio en los Sistemas Sanitarios Rurales

Indicador	Dimensión (calidad, cantidad, continuidad)	Subindicador	Componente
Amenaza [3 sub- indicadores]	Calidad, cantidad	Aumento de la T°	-
	Calidad, cantidad	Disminución de la pp (disminución media anual, estacional)	-
	Calidad, cantidad	Sequía prolongada a través de indicadores de sequía meteorológica: SPI	-
Exposición [4 sub- indicadores]	Calidad, continuidad	Cercanía de captaciones a fuentes de contaminación (industrias, vertederos, caminos)	Proximidad mínima; Densidad total; Concentración (probabilidad estadística de falla) ⁵
	Calidad, continuidad	Exposición geográfica a intrusión salina y marejadas	-
	Calidad, continuidad	Cambio uso de suelo	Pérdida de cobertura vegetal protectora; Presión antrópica en el área de recarga (actividades productivas)
Sensibilidad [10 sub- indicadores]	Cantidad, continuidad	Número de arranques	-
	Cantidad, continuidad	Razón demanda segura estival	-
	Cantidad, continuidad	Crecimiento de la población	-
	Continuidad	Capacidad de almacenamiento per cápita	-
	Cantidad, calidad, continuidad	Disponibilidad/condición de componentes básicos para el funcionamiento de una SSR (de acuerdo a manual DOH para SSR)	Captación; Tratamiento; Impulsión; Almacenamiento; Sistema de respaldo
	Calidad, continuidad	Disponibilidad y completitud de registros de calidad del agua entregada por la SSR	Existencia de registros; Frecuencia de muestreos; Parámetros críticos monitoreados
	Cantidad, calidad, continuidad	Diversificación de fuentes de abastecimiento	-

⁵ El análisis de **Probabilidad Estadística de Falla** se basa en el marco metodológico de los Planes de Seguridad del Agua (OMS, 2011) y los criterios de Vulnerabilidad de Acuíferos de Foster & Hirata (OPS/OMS). Este enfoque permite cuantificar el riesgo no como un evento estático, sino como la probabilidad incremental de afectación de la captación ante una alta densidad de amenazas en la zona de susceptibilidad alta, cumpliendo con las exigencias preventivas de la Ley N° 20.998

	Cantidad, calidad, continuidad	Infraestructura, salud ecosistémica del entorno y capacidad de respuesta ante FEM, que causan cortes de suministro	Interrupción por fallas en la infraestructura; Interrupción por baja disponibilidad de agua en la fuente; Interrupción por eventos climáticos extremos
	Continuidad	Capacidad de gobernanza y gestión comunitaria del SSR	Conocimiento de instrumentos administrativos; Capacidad financiera; Continuidad administrativa; Honorarios para administración/gestión; Colaboración inter-SSR
	Cantidad, continuidad	Disponibilidad de DAA asignadas a la SSR	Existencia documental de DAA; Permanencia y restricción de uso; Capacidad de ejercicio efectivo
Capacidad Adaptativa [5 sub-indicadores]	Cantidad, calidad, continuidad	Incorporación de tecnologías de gestión y control	Tecnologías de gestión del recurso hídrico; Tecnologías administrativas y de gestión del servicio
	Cantidad, calidad, continuidad	Proyección y compromiso institucional para el fortalecimiento de la infraestructura del Servicio Sanitario Rural (SSR)	Corto plazo (1-3 años); Mediano plazo (4-10 años)
	Continuidad	Sistemas de respaldo energético	Existencia y adecuación; Autonomía y viabilidad operativa; Protocolos, mantenimiento y sostenibilidad
	Continuidad	Diversificación de fuentes de financiamiento	Variedad de fuentes; Estabilidad y credibilidad institucional; Estrategia de sostenibilidad financiera
	Cantidad, calidad, continuidad	Gestión ambiental del entorno y/o protección de fuentes	Protección física y regulatoria de la fuente; Gestión ambiental del entorno; Monitoreo, gobernanza y sostenibilidad institucional

Fuente: elaboración propia

3.2.2 Etapas

A. Criterios de Normalización de Subindicadores. Para permitir la integración de componentes de distinta naturaleza, se aplica un proceso de normalización en una escala de 0.2 a 1.0, o bien, de 0.25 a 1.0 (tablas 3 y 4). El modelo emplea dos lógicas diferenciadas según la naturaleza del dato:

- Factores de Gestión y Entorno (E, S, CA): Se normalizan mediante Quintiles Estadísticos que permite un análisis comparativo interno entre los 15 SSR de la muestra como desempeño relativo. El primer quintil (Q1) recibe un valor de 0.2 y el quinto (Q5) un valor de 1.0.
- Factores Climáticos (Amenaza): La Amenaza no utiliza quintiles, pero se normaliza mediante 4 umbrales Bibliográficos Críticos (IPCC, 2021; MMA, 2020). Así, la amenaza se mide frente a estándares (física del clima) y no por comparación local, lo que evita el sesgo de percepción (e.g. subestimar riesgos extremos, si estos son homogéneos en la zona).

Tabla 3. Umbrales para indicadores de Exposición (E), Sensibilidad (S) y Capacidad Adaptativa (CA)

Quintil/Umbrales	Clasificación Umbral	Normalización (E, S, CA)
Q1	Muy Bajo	0.2
Q2	Bajo	0.4
Q3	Medio	0.6
Q4	Alto	0.8
Q5	Muy Alto	1.0

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Umbrales para el indicador de Amenaza (A), de acuerdo a bibliografía y estudios previos

Umbral de acuerdo a bibliografía (Tº, pp, SPI)	Clasificación Umbral	Normalización (A)
1	Leve / incipiente	0.25
2	Moderado	0.50
3	Significativo	0.75
4	Severo / crítico	1.0

Fuente: elaboración propia

Para la correcta interpretación de los índices, es relevante distinguir la naturaleza operativa de cada dimensión. Mientras que en la Amenaza (A), Exposición (E) y Sensibilidad (S), un valor cercano a 1 indica una condición crítica de mayor peligro o susceptibilidad, en la Capacidad Adaptativa (CA) la interpretación es inversa: un valor cercano a 1 representa una situación óptima de resiliencia y gestión institucional. Esta distinción es determinante para el cálculo de la Vulnerabilidad (V), la cual se define técnicamente como la relación entre la Sensibilidad (S) del sistema y su Capacidad Adaptativa (CA). La CA, entonces, es un denominador de la función; por consiguiente, un incremento en los niveles de capacidad adaptativa aumenta el valor del divisor, lo que deriva en una reducción

efectiva del índice de Vulnerabilidad y, de manera vinculante, en una atenuación del Riesgo Climático global.

B. Integración de Dimensiones - Cálculo de indicadores. El valor de cada indicador principal se obtiene mediante la sumatoria lineal de los valores normalizados de los respectivos subindicadores, de acuerdo a la siguiente ecuación, para exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa:

$$I = \sum_{i=1}^n l'_i \text{ [Ec. 1]}$$

Para el caso de la amenaza se utiliza la siguiente ecuación:

$$I = \sum_{i=1}^n w_i * l'_i \text{ [Ec. 2]}$$

Donde I corresponde al indicador evaluado e l'_i , representa el valor normalizado del subindicador i , y w_i es la ponderación asignada al subindicador, obtenida a partir del proceso de umbralización y normalización.

Es importante precisar que el valor de cada subindicador se deriva de la integración de los componentes (C) constituyentes, según:

$$l'_i = \sum_{i=1}^n C'_i \text{ [Ec. 3]}$$

Donde C'_i representa los componentes integrados en el subindicador respectivo

Este método de agregación *bottom-up* garantiza que cada deficiencia o fortaleza detectada en el diagnóstico técnico sume directamente a la magnitud de la dimensión correspondiente.

C. Ponderación y Ecuación de Riesgo Resultante. La integración final del modelo emplea una suma ponderada que otorga relevancia estratégica a la vulnerabilidad y la exposición como determinantes críticos del impacto en los sistemas sanitarios rurales. Ante la baja varianza climática observada en el área de estudio, el modelo prioriza los factores locales; así, la Exposición y la Vulnerabilidad concentran conjuntamente el 75% del peso total de la evaluación.

Esta decisión metodológica busca que el riesgo final refleje las brechas en la calidad de la infraestructura, la eficacia de la gestión comunitaria y las capacidades locales de respuesta (SISS, 2022; FAO, 2016). Bajo este esquema, se asigna una ponderación superior a la Vulnerabilidad (40%) por sobre la Exposición (35%), dado que la sensibilidad y la capacidad adaptativa son los atributos intrínsecos que definen la resiliencia de un SSR. La Amenaza completa el modelo con un peso relativo del 25%.

La Vulnerabilidad (V) es cuantificada de acuerdo a la Ec. 4, mientras que el Riesgo (R) se define en la Ec. 5.

$$V = \frac{S}{CA} \text{ [Ec. 4]}$$

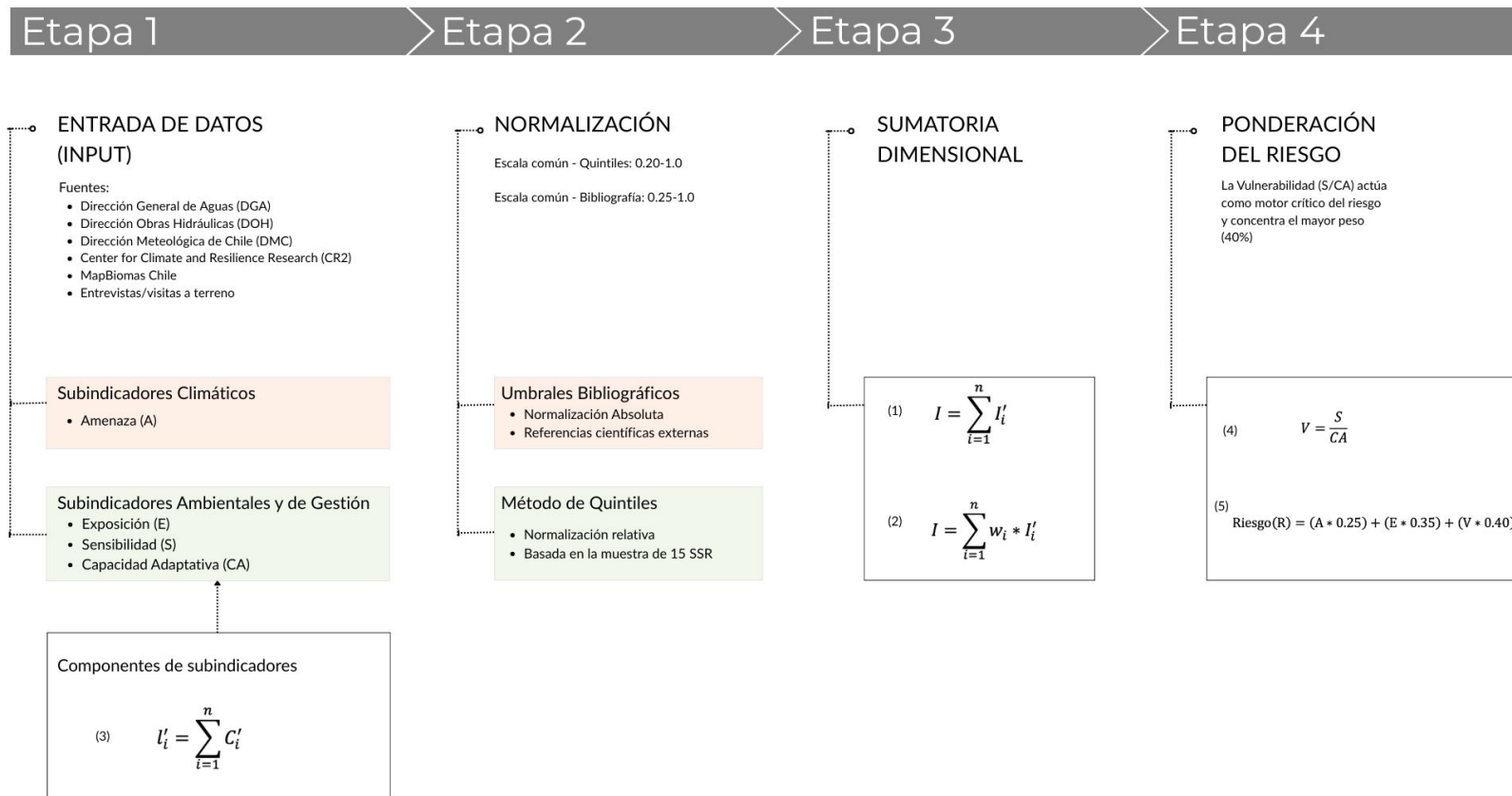
$$\text{Riesgo}(R) = (A * 0.25) + (E * 0.35) + (V * 0.40) \text{ [Ec. 5]}$$

A representa la amenaza climática, la exposición física y ambiental de las fuentes del SSR, V vulnerabilidad a partir del análisis de sensibilidad estructural, operativa e institucional, y CA la capacidad adaptativa técnica, social y organizacional. Esta formulación es coherente con el enfoque de seguridad hídrica en la interfaz doméstico-comunitaria propuesto por Artero et al. (2024), que integra las dimensiones de disponibilidad, accesibilidad, aceptabilidad y estabilidad para evaluar la resiliencia hídrica de los sistemas rurales frente al cambio climático.

Dada la definición del componente de Vulnerabilidad, el índice de Riesgo podría adoptar valores superiores a la unidad (>1) lo que no constituye un error estadístico, sino una decisión de diseño, pues se presenta un efecto multiplicador y una señal de alerta. Respecto del efecto multiplicador, al situar la Capacidad Adaptativa (CA) como denominador, el modelo asume que la carencia de gestión no solo suma riesgo, sino que lo multiplica, con lo cual un valor de CA tendiente a 0 amplifica la vulnerabilidad. Sobre la alerta crítica, un valor superior a 1 identifica un "Punto de Quiebre"; es decir, el SSR se encuentra en un estado de déficit de resiliencia tal que la fragilidad interna sobrepasa la escala nominal, lo que permite jerarquizar la urgencia de la intervención institucional para fortalecer la infraestructura y la autonomía comunitaria (SISS, 2022).

El modelo (Ilustración 4) integra dos flujos de información distintos: un análisis espacial de la Amenaza a nivel territorial y un diagnóstico multidimensional de Exposición (E), Sensibilidad (S) y Capacidad Adaptativa (CA) a nivel de servicio. Estos flujos convergen en una matriz de ponderación donde la capacidad de gestión comunitaria (CA) actúa como el regulador final de la vulnerabilidad, determinando la magnitud del riesgo resultante para cada Servicio Sanitario Rural (SSR).

Ilustración 4. Arquitectura metodológica del índice de Riesgo Climático para Servicios Sanitarios Rurales



Fuente: elaboración propia

3.2.3 Indicadores

A. Amenaza (A)

El Índice de Amenaza representa el componente climático del riesgo que afecta la continuidad del suministro de agua potable en los Sistemas Sanitarios Rurales (SSR). Este índice representa la probabilidad e intensidad de eventos climáticos adversos que pueden alterar la disponibilidad del recurso hídrico o comprometer la operación del sistema.

La Amenaza considera tres subindicadores (A1–A3) que capturan los principales forzantes de estrés climático identificados en la literatura y evidenciados en la Isla Grande de Chiloé:

- (A1) Aumento de la temperatura media anual
- (A2) Disminución de la precipitación media anual y estival
- (A3) Sequía hidrológica a partir del Standardized Precipitation Index (SPI)

Cada subindicador se construyó mediante series observadas y proyectadas de temperatura y precipitación, basadas en datos de CR2MET⁶, DMC y modelos CMIP6⁷ (escenario SSP5–8.5), con análisis temporal entre 1980–2010 (presente) y 2035–2065 (futuro).

Es fundamental señalar que el análisis de estos indicadores se realiza a una escala regional. La caracterización climática preliminar para la Isla Grande de Chiloé indica que no existe una variabilidad espacial significativa en las tendencias de temperatura y precipitación entre comunas. Dado que el forzante climático se manifiesta de manera homogénea en el área de estudio, la Amenaza se caracteriza a una escala global de isla. Por consiguiente, la capacidad de discriminación del riesgo final del modelo recaerá principalmente en la variabilidad local de la exposición y la vulnerabilidad de cada SSR frente a este escenario climático común.

El Subindicador A1. Aumento en temperaturas, incide directamente en la disponibilidad de los recursos y en la demanda del servicio. De acuerdo con el IPCC (2021), incrementos superiores a +1 °C respecto al período preindustrial ya representan un cambio significativo en los sistemas naturales y sociales, mientras que aumentos iguales o superiores a +2 °C generan impactos críticos en el balance hídrico. El planeta se ha calentado en torno a +1,1 °C, y las proyecciones bajo escenarios SSP indican incrementos de entre +2 y +4 °C hacia fines de siglo (IPCC, 2022). A nivel nacional, se han documentado tendencias de hasta 0,5 °C por década en la zona centro-sur, asociadas a reducciones significativas en la disponibilidad de agua (Boisier et al., 2018), mientras que la denominada “megasequía” evidenció que incluso un aumento cercano a +1 °C, combinado con menores precipitaciones, derivó en efectos severos sobre caudales y abastecimiento de agua (CR2, 2017). Proyecciones del Ministerio del Medio Ambiente (2020) y de Arriagada et al. (2022) indican incrementos de entre +1 y +3 °C hacia mediados de siglo, que refuerzan la consideración de +2 °C como un umbral crítico para la gestión del recurso hídrico. Finalmente, en cuanto a extremos, la literatura sobre salud y cambio climático establece que olas de calor pueden definirse a partir de percentiles elevados (≥ 90) de la distribución histórica de temperatura (Smith et al., 2014), lo que en territorios como Chiloé implica que episodios sobre 28–30 °C que generan condiciones críticas de estrés térmico y de presión adicional sobre el suministro de agua.

⁶ Center For Climate and Resilience Research. <https://www.cr2.cl/bases-de-datos/>.

⁷ Coupled Model Intercomparison Project Phase 6. <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/projections-cmip6?tab=overview>.

Tabla 5. Aumento de temperatura y categorías de impacto

Categoría	Aumento de la temperatura ⁸	Normalización
Cambio leve / incipiente	$0,0\text{ }^{\circ}\text{C} < x \leq 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.25
Cambio sustancial temprano	$0,5\text{ }^{\circ}\text{C} < x \leq 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.50
Cambio sustancial	$1,0\text{ }^{\circ}\text{C} < x < 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.75
Cambio severo / crítico	$x \geq 2^{\circ}\text{C}$	1.00

Fuente: elaboración propia

El Subindicador A2. Disminución de la precipitación afecta particularmente en sistemas dependientes de aguas subterráneas y escurrimientos pluviales como los de la Isla Grande de Chiloé. De acuerdo con el IPCC (2021), reducciones relativamente pequeñas de la precipitación (<5 %) ya pueden afectar el balance hídrico local, especialmente cuando se combinan con aumentos de temperatura que intensifican la evapotranspiración. El Informe de la Agencia Internacional de la Energía (IEA) para Chile estima reducciones promedio de aproximadamente -6 % en escenarios de bajas emisiones, aumentando hasta -16 % en escenarios de altas emisiones (IEA, 2024), lo que marca un umbral de déficit moderado. Por otra parte, estudios nacionales muestran que disminuciones de entre -10 % y -20 % corresponden a un umbral significativo: el Ministerio del Medio Ambiente (2020) y Arriagada et al. (2022) proyectan reducciones de este orden hacia mediados de siglo, mientras que el CR2 (2017) asocia déficits de esta magnitud a impactos relevantes en caudales y recarga. Finalmente, un déficit igual o superior a -20 % debe considerarse crítico, dado que la megasequía 2010–2015 —con anomalías en torno a ese valor— produjo la crisis hídrica más grave en Chile central, con consecuencias severas en el abastecimiento de agua (CR2, 2017; Boisier et al., 2018). Estos antecedentes permiten establecer umbrales operativos para los SSR de Chiloé: déficit moderado (-6 %), significativo (-10 % a -19 %) y severo o crítico ($\geq -20\%$).

El análisis se desarrolla en base a un escenario presente, definido a partir de datos históricos de precipitación correspondientes al período 1980–2010, y un escenario futuro, con datos simulados bajo el escenario de emisiones SSP5-8.5, para el período 2035–2065. Para el análisis anual se utiliza el promedio anual de precipitación, mientras que para el período estival se realiza un análisis mensual para capturar la variabilidad intraestacional. Finalmente, el análisis de amenaza climática se efectúa a nivel comunal, aun cuando el escenario climático no presenta diferencias significativas entre comunas.

Tabla 6. Umbrales de disminución de precipitación y categorías de impacto

Categoría	Disminución de precipitación ⁹	Normalización
Déficit leve / incipiente	$0 < x \leq -6\%$	0.25
Déficit moderado	$-6\% < x \leq -10\%$	0.50
Déficit sustancial	$-10\% < x < -20\%$	0.75
Déficit severo / crítico	$x \geq -20\%$	1.00

Fuente: elaboración propia

⁸ Boisier et al. (2018); CR2 (2017); IPCC (2021, 2022); Arriagada et al. (2022); MMA (2020); Smith et al. (2014)

⁹ IPCC AR6 WGI (2021); O’Gorman (2015); IEA (2024); Arriagada et al. (2022, CMIP6); CR2 (2017); Boisier et al. (2018)

El Subindicador A3. Sequía hidrológica, considera el *Standardized Precipitation Index* (SPI)¹⁰ es la herramienta estadística más utilizada a nivel global para el monitoreo y la clasificación de la sequía meteorológica. Desarrollado originalmente por McKee et al. (1993), el SPI cuantifica la escasez de precipitación al comparar la precipitación acumulada en un período de tiempo específico (por ejemplo, 3, 6 o 12 meses) con el registro histórico de esa misma ventana temporal. La principal ventaja radica en su capacidad de ser aplicado universalmente, ya que se expresa en unidades de desviación estándar. Los valores negativos indican condiciones de sequía, mientras que los valores positivos denotan condiciones de humedad superior a la media. Para garantizar una aplicación uniforme y una interpretación consistente de la severidad del evento, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) estandarizó el uso de este índice, estableciendo umbrales claros (como -1.0 para sequía moderada, -1.5 para sequía severa, y ≤ -2.0 para sequía extrema) que permiten una clasificación precisa de la intensidad de la sequía (OMM, 2012).

Tabla 7. Sequía hidrológica medida en Standardized Precipitation Index (SPI)

Nivel de amenaza de sequía	Umbral SPI	Valor normalizado
Sequía leve / incipiente	$0 < x \leq -0,99$	0.25
Sequía moderada	$-0,99 < x \leq -1,49$	0.50
Sequía sustancial	$-1,49 < x \leq -2$	0.75
Sequía severa / crítico	$x < -2$	1.00

Fuente: elaboración propia

Para estimar el indicador de Amenaza (A), se aplica la ecuación 2. Para la integración de los subindicadores, se utiliza la escala de ponderaciones definida en la tabla siguiente, que asigna pesos relativos a cada subindicador de amenaza en función de su relevancia para la afectación del servicio.

Tabla 8. Escala de ponderación por amenaza

Subindicador	Código	Peso relativo (w_i)
Aumento de temperatura	A1	0.35
Disminución de precipitación	A2	0.35
Sequía prolongada (SPI)	A3	0.30

Fuente: elaboración propia

B. Exposición (E)

El componente de Exposición se analiza a escala local y caracteriza el grado en que los Sistemas Sanitarios Rurales (SSR) se encuentran ubicados en entornos geográficos y ambientales que incrementan su susceptibilidad frente a condiciones climáticas adversas o presiones externas. Este componente integra cuatro subindicadores que capturan distintas dimensiones del entorno físico y territorial:

- E1. Cercanía de captaciones a fuentes de contaminación (industrias, vertederos, caminos)

¹⁰ *Standardized precipitation index*. El SPI compara la precipitación acumulada para una escala temporal específica en una ubicación determinada con su distribución a largo plazo, por ejemplo 30 años.

- E2. Exposición geográfica a intrusión salina y marejadas
- E3. Cambio uso de suelo

El Subindicador E1. Cercanía de captaciones a fuentes de contaminación (industrias, vertederos, caminos) evalúa la exposición en los SSR, pues la definición de Seguridad Hídrica busca proteger la calidad del agua cruda destinada al consumo humano. A nivel nacional, este análisis se rige por la Ley N° 20.998, que mandata la garantía de continuidad y calidad del servicio, y por el Código de Aguas (Art. 61 y 147 quáter), el cual establece un área de protección legal mínima de 200 metros en torno a las captaciones para prevenir interferencias antropogénicas y riesgos sanitarios.

Complementariamente, el Manual de Proyectos de Agua Potable Rural de la Dirección de Obras Hidráulicas establece criterios técnicos para evaluar el entorno sanitario de las fuentes de abastecimiento. A nivel internacional, las directrices de la Organización Mundial de la Salud y los programas de protección de fuentes de agua de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos promueven la identificación de fuentes potenciales de contaminación y la delimitación de áreas de vigilancia en torno a captaciones de agua potable como parte del enfoque de gestión preventiva del riesgo (WHO, 2011; EPA, 1997).

Se utilizó Google Earth Engine para analizar una base de datos de más de 1.000 puntos de contaminación potencial y la red vial completa de la isla. El proceso se desglosó en las siguientes etapas técnicas:

- **Categorización de Amenazas:** Las fuentes se clasifican por niveles de prioridad según su peligrosidad intrínseca:
 - o Alta Prioridad: Vertederos (12 unidades) y PTAS (14 unidades), debido al potencial de generación de lixiviados y efluentes bacteriológicos
 - o Actividad Acuícola e Industrial: Centros de cultivo de salmones (185), moluscos (675), algas (54) y plantas procesadoras (58)
 - o Infraestructura de Transporte: Red vial (caminos), evaluada como corredor de contaminantes accidentales y escorrentía
- **Procesamiento de Buffer y Distancias:** Para cada SSR se estableció un área de influencia de 5.000 metros (5 km). Mediante álgebra de mapas, se calcularon las distancias euclidianas desde la captación hasta cada foco contaminante y el camino más cercano, con una precisión de 1 metro.

El proceso categoriza la exposición mediante una matriz de parámetros independientes. Bajo un criterio de prevención de riesgos, el nivel de exposición final del sistema se determina por el valor más desfavorable alcanzado en cualquiera de las siguientes dimensiones de análisis:

Proximidad mínima. Evalúa el Riesgo Microbiológico Agudo. Si hay un foco a 50 metros, el riesgo de infección por bacterias o virus es inminente, aunque solo haya una fuente en toda la comuna. Por eso, una distancia corta dispara la alerta máxima por sí sola.

Densidad Total: Evalúa la Carga Química Acumulativa. Aunque todas las fuentes estén a 800 metros (distancia moderada), tener 30 focos contaminantes crea una "presión de cuenca". El suelo tiene un límite de capacidad para filtrar nitratos o metales. Así, frente a múltiples fuentes, esa capacidad se satura y el contaminante termina llegando al pozo.

Concentración: Evalúa la Probabilidad Estadística de Falla¹¹. Si el 60% de tus fuentes están a menos de 1 km, la probabilidad de que una de ellas tenga un derrame accidental que alcance el pozo es muy alta, comparado con un sistema donde todas las fuentes están a 4 km.

El resultado de la suma entre estos tres parámetros son los ingresados a la ecuación 5, para posteriormente ser categorizados de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 9. Criterios de umbralización y normalización del subindicador E1 mediante el método de quintiles

Quintil	Rango de Valores (km)	Valor Normalizado
Q1	1,51 - 2,00	0.2
Q2	1,26 - 1,50	0.4
Q3	1,25	0.6
Q4	0,76 - 1,00	0.8
Q5	0,50 - 0,75	1.0

Fuente: elaboración propia

El Subindicador E2. Exposición geográfica a intrusión salina y marejadas considera la seguridad hídrica de los Sistemas Sanitarios Rurales (SSR) en zonas costeras que enfrenta amenazas crecientes derivadas del cambio climático, específicamente mediante la intrusión salina y el incremento en la frecuencia de marejadas extremas. A nivel nacional, la Ley Marco de Cambio Climático (Ley 21.455) y el Plan de Adaptación al Cambio Climático para el Sector de los Recursos Hídricos (MOP, 2022) identifican la vulnerabilidad de los acuíferos litorales ante el avance de la cuña salina que compromete la calidad química del agua dulce al elevar las concentraciones de cloruros y sodio por sobre los límites de la NCh 409. Internacionalmente, la Hussain et al., (2019) y la Lu et al., (2019) establecen que la proximidad geográfica a la línea de costa es el factor determinante en la susceptibilidad de una fuente de agua, ya que las marejadas pueden provocar inundaciones superficiales y una infiltración rápida de agua de mar en los pozos de captación, invalidando su uso para consumo humano de forma prolongada.

Este indicador mide la exposición geográfica a la intrusión salina y a las marejadas de cada Sistema Sanitario Rural (SSR) basándose en la elevación del terreno respecto al nivel del mar, la distancia a la costa y la profundidad de inundación potencial en caso de eventos extremos (tabla 10).

Para el cálculo se utilizó la plataforma *Google Earth Engine*, en base al Modelo Digital de Elevación (DEM) *SRTM GL1* de la NASA/USGS con una resolución de 30 metros. El proceso metodológico considera:

- Definición del Escenario Crítico: Se estableció un Nivel del Mar Extremo (ESL) de 6 metros sobre el nivel medio del mar para simular inundaciones por marejadas o alzas proyectadas. El análisis se restringe a un radio de influencia directa de 10 km desde la línea de costa,

¹¹ El análisis de **Probabilidad Estadística de Falla** se basa en el marco metodológico de los Planes de Seguridad del Agua (OMS, 2011) y los criterios de Vulnerabilidad de Acuíferos de Foster & Hirata (OPS/OMS). Este enfoque permite cuantificar el riesgo no como un evento estático, sino como la probabilidad incremental de afectación de la captación ante una alta densidad de amenazas en la zona de susceptibilidad alta, cumpliendo con las exigencias preventivas de la Ley N° 20.998

generada mediante un *buffer* negativo de 500 metros sobre el perímetro de la Isla Grande de Chiloé.

- Cálculo de Profundidad de Inundación: Se aplicó álgebra de mapas para determinar la susceptibilidad de cada píxel mediante la fórmula: Profundidad=ESL(6m)–Elevación (DEM). Áreas con elevación superior a 6 metros fueron descartadas como zonas fuera de riesgo.
- Análisis de Proximidad de los SSR: Se generó una máscara de las áreas bajo intrusión (exposición>0) y se calculó la distancia euclidiana desde cada uno de los 15 sistemas SSR del estudio hacia dichas zonas. Para optimizar el cálculo en grandes áreas, se utilizó el algoritmo *fastDistanceTransform* con una resolución de 90 metros, permitiendo identificar:
 - Distancia corta (menor a 1 km): SSR muy cercano a zona de riesgo.
 - Distancia media (1-5 km): SSR con riesgo indirecto.
 - Distancia larga (mayor a 5 km): SSR alejado de zonas de intrusión.

Es importante señalar que mientras mayor sea la distancia a la intrusión salina y marejadas, menor será la exposición.

Tabla 10. Criterios de umbralización y normalización del subindicador E2 mediante el método de quintiles

Quintil	Rango de Valores (km)	Valor Normalizado
Q1	0,085 - 0,127	1.0
Q2	0,175 - 0,270	0.8
Q3	0,350 - 0,547	0.6
Q4	0,780 - 1,142	0.4
Q5	1,541 - 3,938	0.2

Fuente: elaboración propia

El Subindicador E3. Cambio uso de suelo, evalúa la transformación del territorio circundante a las captaciones, integrando dos dimensiones críticas para la seguridad hídrica: la Pérdida de Cobertura Vegetal Protectora (C1) y la Presión Antrópica en el Área de Recarga (C2). Ambos componentes se analizan mediante un enfoque espaciotemporal basado en datos de MapBiomás Chile (Collection 2), utilizando un área de influencia directa de 1 km de radio (*buffer*) sobre cada sistema. Esta integración permite capturar tanto el retroceso de los servicios de regulación natural como el avance de actividades productivas potencialmente degradantes. El valor final del subindicador se obtiene mediante la agregación de ambos componentes y su posterior normalización por quintiles, determinando así el nivel de exposición del sistema conforme a los siguientes criterios y flujos metodológicos.

Pérdida de cobertura vegetal protectora. Este componente mide la degradación de los ecosistemas naturales (bosques y formaciones no boscosas) entre los años 2010 y 2024. El cálculo se basa en la variación porcentual de la superficie vegetal original:

$$\%Pérdida = \left(\frac{Área\ 2010 - Área\ 2024}{Área\ 2010} \right) * 100 \text{ [Ec. 6]}$$

Tabla 11. Criterios de umbralización y normalización del subindicador C1 mediante el método de quintiles

Quintil	Rango de Valores	Valor Normalizado
---------	------------------	-------------------

Q1	2,9% - 6,5%	0.2
Q2	6,5% - 9,3%	0.4
Q3	12,2% - 16,3%	0.6
Q4	17,8% - 26,4%	0.8
Q5	26,6% - 60,1%	1.0

Fuente: elaboración propia

Presión antrópica en el área de recarga. Este componente cuantifica la intensidad de la intervención humana (agricultura, plantaciones forestales y áreas urbanas) al cierre del periodo de estudio (2024). A diferencia del anterior, este mide la ocupación total acumulada.

$$\%Antrópico = \left(\frac{\text{Píxeles Antrópicos}}{\text{Píxeles Totales}} \right) * 100 \text{ [Ec. 7]}$$

Tabla 12. Criterios de umbralización y normalización del subindicador C2 mediante el método de quintiles

Quintil	Rango de Valores	Valor Normalizado
Q1	11,50% - 32,20%	0,2
Q2	34,00% - 38,60%	0,4
Q3	48,60% - 50,70%	0,6
Q4	54,20% - 58,20%	0,8
Q5	68,80% - 74,20%	1

Fuente: elaboración propia

Una vez integrados los componentes a la ecuación 1 se obtiene la sumatoria para conocer el nivel de exposición de cada SSR, en base a la tabla de umbralización del indicador de Exposición (E).

Tabla 13. Interpretación de nivel de exposición de cada SSR

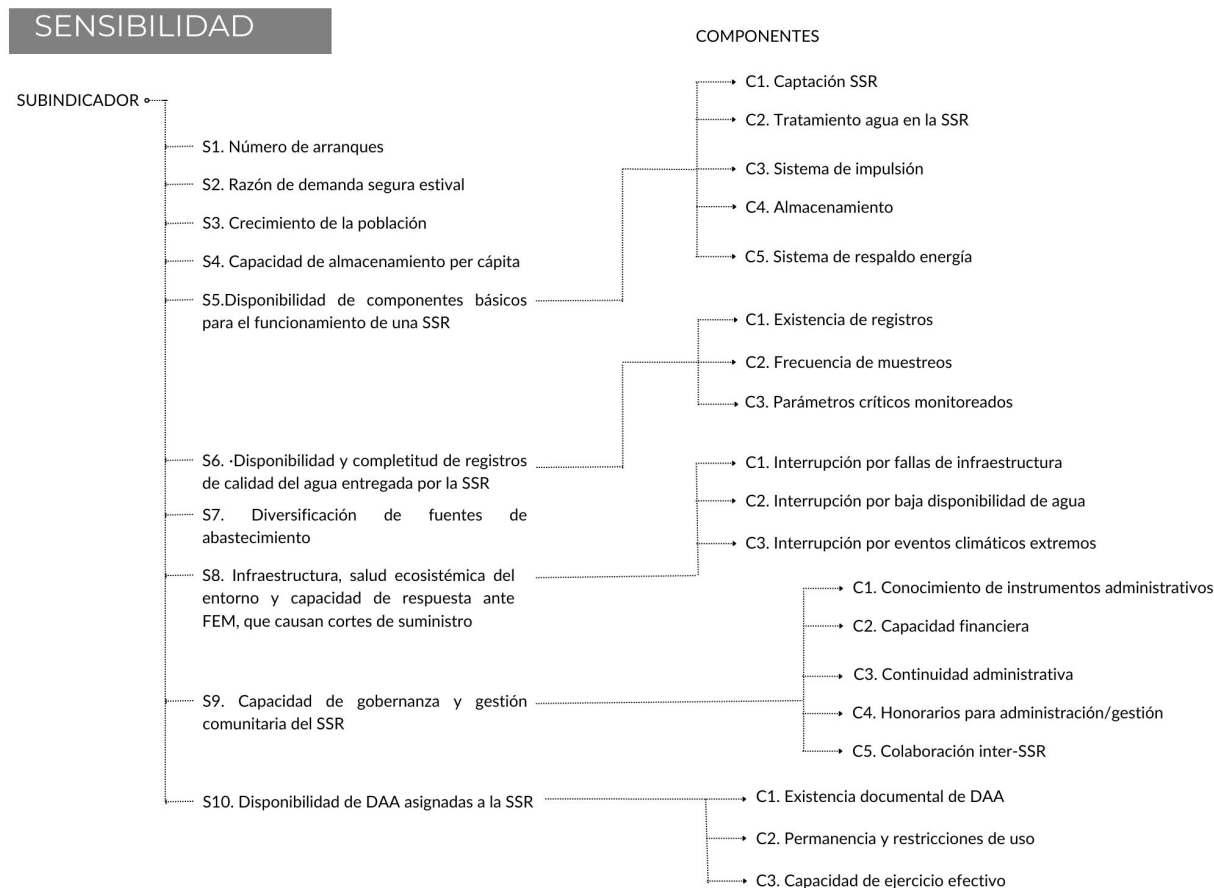
Rango de Valores	Valor Normalizado	Interpretación
1.20 - 1.60	0.20	Muy Bajo
1.61 - 2.00	0.40	Bajo
2.01 - 2.80	0.60	Medio
2.81 - 3.00	0.80	Alto
3.01 - 3.20	1.00	Muy Alto

Fuente: elaboración propia

C. SENSIBILIDAD

Para la Sensibilidad (S), se evalúan subindicadores y componentes que consideran dimensiones como la escala del sistema y población atendida (tabla 5). Esta aproximación permite identificar sistemas más susceptibles, priorizar intervenciones y orientar medidas de adaptación y fortalecimiento operacional.

Ilustración 5. Subindicador y relacionamiento con sus componentes



Fuente: elaboración propia

La evaluación de los subindicadores presentados en este capítulo sigue dos metodologías:

- Normalización DIRECTA de resultados del subindicador correspondiente por Quintiles (S1 al S4)
- Normalización por Quintiles, previa valoración de componentes (S5 al S10), según tres etapas consecutivas:
 - Valoración Cualitativa de Componentes: Se utiliza una matriz de caracterización para asignar valores discretos (0; 0,5 y 1) según el estado operativo, la suficiencia técnica o el grado de gestión del componente evaluado (donde 0 representa una condición adecuada y 1 la ausencia o deficiencia crítica).
 - Agregación mediante Ecuación 3: Los puntajes de los componentes se integran para obtener un valor bruto por subindicador, reflejando el nivel de precariedad o solidez operativa del sistema.
 - Normalización por Quintiles: Con el fin de estandarizar los resultados y permitir la comparación relativa entre diferentes Servicios Sanitarios Rurales (SSR), los valores brutos se procesan mediante un esquema de quintiles. Este procedimiento traduce

la diversidad de hallazgos a una escala normalizada de 0 a 1, donde los umbrales de cada quintil definen la sensibilidad final del sistema frente al abastecimiento.

El Subindicador S1. Número de arranques refleja la escala de cobertura y carga operativa del SSR, constituyendo un componente relevante de la sensibilidad estructural e institucional frente al riesgo climático. Este indicador permite caracterizar la magnitud del sistema y estimar la población potencialmente dependiente del servicio, aspectos críticos para evaluar su capacidad de respuesta ante eventos extremos o condiciones de déficit hídrico.

A nivel nacional, el tamaño promedio del hogar corresponde a 3,1 personas por vivienda, según los resultados del Censo 2017 (INE, 2018). Por su parte, el Manual de Proyectos de Agua Potable Rural (MOP, 2019) establece que la densidad real de una localidad debe estimarse a partir de la cantidad de viviendas encuestadas; sin embargo, recomienda contrastar esta información con antecedentes censales o registros municipales para asegurar mayor representatividad.

En el presente estudio no se aplicó una encuesta a nivel de vivienda, dado que no corresponde al foco analítico del proyecto. Por ello, y con el propósito de fundamentar el factor de estimación utilizado, se calculó el promedio de personas por hogar comunal a partir de los datos del Censo 2017, según se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 14. Estimación del factor - promedio de personas por hogar - por Comuna

Nº	Comuna	Nº habitantes	Nº viviendas	factor ¹²
1	Ancud	38.991	16.959	3
2	Castro	43.807	18.021	3
3	Chonchi	14.858	6.706	3
4	Dalcahue	13.762	5.659	3
5	Queilen	5.385	2.450	3
6	Quellón	27.192	11.003	3

Fuente: Datos CENSO 2017 (INE,2018)

Para todas las comunas incluidas en el estudio, el factor de tres personas por vivienda se considera representativo, ya que evita subestimar la cantidad de beneficiarios y refleja adecuadamente las condiciones de gestión y operación de los SSR en las seis comunas incluidas en el estudio.

$$N^{\circ}\text{habitantes abastecidos} = N^{\circ}\text{arranques} * 3 \text{ [Ec. 8]}$$

Cabe señalar que el subindicador de sensibilidad S1, se encuentra directamente asociado al número de arranques que posee cada SSR; por ende, este subindicador se utiliza para determinar el nivel de sensibilidad estructural e institucional. No obstante, resulta igualmente relevante considerar la cantidad de usuarios asociados a este nivel de sensibilidad, con el fin de profundizar el análisis en términos de afectación potencial.

Es importante reiterar que el análisis de los factores de riesgo climático se realiza a nivel de los SSR y no desde la perspectiva de la seguridad hídrica doméstica individual.

¹² El factor resultante es a partir de: $N^{\circ}\text{habitantes}/N^{\circ}\text{viviendas}$, redondeando el resultado al límite superior, de manera de no subestimar.

Tabla 15. Criterios de umbralización y normalización de S1

Quintil	Rango de Valores	Valor Normalizado
Q1	68 - 91	0,2
Q2	92 - 134	0,4
Q3	135 - 170	0,6
Q4	171 - 800	0,8
Q5	801 - 1.383	1

Fuente: elaboración propia

El Subindicador S2. Razón demanda segura estival es un subindicador de sensibilidad operativa de los Sistemas Sanitarios Rurales (SSR), pues permite evaluar la relación entre la disponibilidad efectiva de agua y la demanda máxima esperada durante la estación seca o de mayor consumo. Este indicador refleja la capacidad del sistema para mantener la continuidad y suficiencia del servicio bajo condiciones climáticas adversas, particularmente en escenarios de déficit hídrico y aumento estacional de la demanda.

La demanda estival constituye el principal factor de presión sobre los SSR en Chiloé, debido a la limitada recarga pluvial en verano y al incremento de la población flotante. Para este estudio, la demanda se estimó a partir del crecimiento en la afluencia de visitantes reportada por SERNATUR (2019-2024), permitiendo proyectar el consumo adicional durante el periodo de mayor estrés hídrico. De este modo, la razón entre el volumen seguro disponible y la demanda estival estimada funciona como un indicador de sensibilidad, identificando sistemas donde el consumo turístico compromete la resiliencia y continuidad del servicio para la comunidad residente.

Tabla 16. Criterios de umbralización y normalización de S2

Quintil	Rango de Valores	Valor Normalizado ¹³
Q1	0,50 - 0,82	0,2
Q2	0,83 - 1,00	0,4
Q3	1,01 - 1,22	0,6
Q4	1,23 - 1,50	0,8
Q5	1,51 - 3,20	1

Fuente: elaboración propia

El Subindicador S3. Crecimiento de la población refleja el ritmo de expansión de la demanda hídrica respecto de la capacidad instalada del sistema. Un aumento sostenido en la cantidad de habitantes conectados o en proceso de incorporación genera una mayor presión sobre la infraestructura existente, la disponibilidad de las fuentes de abastecimiento y la gestión operativa de los comités o cooperativas administradoras.

Desde la perspectiva del riesgo climático, un crecimiento poblacional acelerado sin una ampliación proporcional de la oferta hídrica incrementa la sensibilidad del sistema, ya que reduce sus márgenes de seguridad frente a eventos de sequía o variabilidad estacional. Este indicador permite, por tanto,

¹³ La clasificación del valor normalizado (nivel de sensibilidad) se sustenta en la razón $Q_{\text{seguro}}/Q_{\text{demanda}}$, por lo tanto, su interpretación es: mientras menor sea el factor resultante, menor será el caudal seguro - la demanda es superior en relación a la disponibilidad - en el período estival.

identificar SSR que enfrentan mayores desafíos de sostenibilidad operativa y resiliencia frente a escenarios de aumento de la demanda y menor disponibilidad de recursos.

Tabla 17. Criterios de umbralización y normalización de S3

Quintil	Rango de Valores	Valor Normalizado
Q1	0,00%	0,2
Q2	0,1% - 10,3%	0,4
Q3	10,4% - 27,5%	0,6
Q4	27,6% - 34,7%	0,8
Q5	34,8% - 138,2%	1

Fuente: elaboración propia

El Subindicador S4. Capacidad de almacenamiento, corresponde a la relación entre el volumen de agua acumulado en los estanques de un SSR y la población abastecida por el sistema. Este subindicador permite estimar la autonomía del servicio en términos de litros disponibles por habitante y día frente a interrupciones del suministro. Si bien la literatura nacional establece cortes generales entre 80 y 140 l/hab como referencia (HOMSI y Asociados, 2007; SISS, 2022), en la Isla Grande de Chiloé estos umbrales requieren ser ajustados debido a dos particularidades: (i) la mayoría de los SSR no cuentan con sistemas de alcantarillado, por lo que el consumo efectivo suele oscilar entre 80 y 100 l/hab/día, y (ii) de acuerdo con lo manifestado por distintos comités de los SSR, en general cuentan con disponibilidad de agua para abastecer a sus usuarios, a excepción de los veranos donde algunos SSR se ven afectados por la demanda de población flotante, lo que disminuye la necesidad de mantener volúmenes de almacenamiento muy elevados. En consecuencia, los rangos aquí propuestos (tabla 18), se definen considerando la capacidad de los SSR para asegurar entre uno y dos días de autonomía frente a fluctuaciones en la disponibilidad de agua o incrementos temporales de la demanda.

Tabla 18. Criterios de umbralización y normalización de S4

Quintil	Rango de Valores (l/hab)	Valor Normalizado
Q1	8,3 - 51,7	0,2
Q2	51,8 - 68,0	0,4
Q3	68,1 - 92,9	0,6
Q4	93,0 - 99,6	0,8
Q5	99,7 - 222,2	1

Fuente: elaboración propia

El Subindicador S5. Disponibilidad/condición de componentes básicos para el funcionamiento de una SSR evalúa la existencia y estado de los componentes básicos establecidos en la normativa para los sistemas de agua potable rural: captación/succión, tratamiento (físico, químico), impulsión y almacenamiento. La relevancia de este subindicador radica en que la sensibilidad del sistema se incrementa cuando alguno de estos elementos presenta deficiencias, dado que compromete directamente la continuidad, calidad y seguridad del servicio. El proceso consiste en verificar la presencia y el estado de funcionamiento de cada uno de estos componentes y clasificar el sistema según el nivel de cumplimiento de los requisitos normativos. De este modo, los SSR con infraestructura completa y en buen estado presentan una menor sensibilidad, mientras que aquellos con componentes ausentes o en condiciones deficientes se consideran más sensibles. La

tabla 19 describe los criterios de análisis de cada componente y la forma en que se integran en el cálculo del indicador.

Tabla 19. Evaluación de S5 en base a la categorización de componentes

Componente	Objeto de evaluación	Adecuado (0)	Deficiente (0,5)	Ausente (1)
C.1 Captación	Tipo de fuente y estado de protección de la captación	Fuente protegida y operativa	Fuente con deficiencias de protección o deterioro	No existe captación formal o infraestructura mínima
C2. Tratamiento	Existencia y estado de desinfección/filtrado	Sistema instalado y operativo conforme a norma	Sistema con fallas, sin mantenimiento o sin cumplir norma	No existe sistema de tratamiento
C3. Impulsión	Equipos de bombeo o sistemas de impulsión	Equipos presentes, operativos	Equipos con fallas frecuentes	No existen equipos de impulsión donde son necesarios
C4. Almacenamiento	Existencia y estado de estanques de reserva	Estanques en buen estado, capacidad suficiente y con mantención	Estanques con deficiencias: deteriorado o capacidad insuficiente	No existe estanque o almacenamiento formal
C5. Sistema de respaldo operativo	Sistema de respaldo de energía, para cubrir el servicio de abastecimiento frente a cortes eléctricos de índole climático	Existente y operativo	Existente no operativo	No existe

Fuente: elaboración propia

Tabla 20. Criterios de umbralización y normalización de S5

Quintil	Rango de Valores	Valor Normalizado
Q1	0,00 - 0,99	0,2
Q2	1,00 - 1,00	0,4
Q3	1,01 - 1,50	0,6
Q4	1,51 - 2,00	0,8
Q5	2,01 - 3,50	1

Fuente: elaboración propia

El Subindicador S6. Disponibilidad y completitud de registros de calidad del agua entregada por la SSR mide la existencia, periodicidad y trazabilidad mínima de los controles de calidad (muestreos, parámetros críticos y archivo de resultados) del SSR, utilizando información provista por el operador. De esta manera, permite conocer la capacidad del sistema para detectar y corregir problemas de calidad, y se expresa en una puntuación normalizada (0, 0,5 y 1) que refleja mayor sensibilidad cuando los registros son inexistentes, esporádicos o incompletos (tabla 21).

Tabla 21. Evaluación de S6 en base a la categorización de componentes

Componente	Objeto de evaluación	Adecuado (0)	Deficiente (0,5)	Ausente (1)
------------	----------------------	--------------	------------------	-------------

C1. Existencia de registros	Presencia de registros formales de controles de calidad (digital o papel organizado)	Registros sistemáticos y actualizados	Registros irregulares o parciales	No hay registros documentados
C2. Frecuencia de muestreos	Periodicidad de los controles	mensual	Estacional o anual	Nunca
C3. Parámetros críticos monitoreados	Inclusión de microbiología (coliformes/ E. coli) y cloro residual	Microbiología + cloro (\pm turbidez/pH)	Sólo cloro/turbidez (sin microbiología regular)	No se analizan parámetros relevantes

Fuente: elaboración propia

Tabla 22. Criterios de umbralización y normalización de S6

Quintil	Rango de Valores	Valor Normalizado
Q1	0,00 - 0,49	0,2
Q2	0,50 - 0,50	0,4
Q3	0,51 - 1,50	0,6
Q4	1,51 - 1,99	0,8
Q5	2,00 - 3,00	1

Fuente: elaboración propia

El Subindicador S7. Diversificación de fuentes de agua mide la capacidad de un SSR de acceder a distintas alternativas de abastecimiento frente a variaciones en la disponibilidad hídrica. La sensibilidad aumenta cuando el sistema depende de una sola fuente, ya sea superficial o subterránea, dado que cualquier perturbación en su disponibilidad o calidad puede provocar interrupciones en el servicio (IPCC, 2022). Por el contrario, la existencia de fuentes complementarias, como la combinación de aguas superficiales y subterráneas, y la interconexión con otros SSR, otorga mayor flexibilidad y reduce el nivel de riesgo, en línea con los enfoques de resiliencia y gestión adaptativa en sistemas rurales reportados en Chile y América Latina. Este subindicador se construye mediante la evaluación de la cantidad de fuentes disponibles en cada SSR, según el grado de diversificación. Así, los sistemas con una única fuente se consideran altamente sensibles, mientras que aquellos con múltiples alternativas de respaldo presentan una menor sensibilidad, lo cual es coherente con las recomendaciones de seguridad hídrica planteadas por organismos internacionales (SISS, 2022).

Tabla 23. Evaluación de S7 en base a la categorización de la cantidad de fuentes de abastecimiento

Cantidad de fuentes	Valorización
Fuente superficial, subterránea, y otro tipo de respaldo frente a emergencias (by pass, camiones aljibe)	0
Fuente superficial y subterránea	0,5
Sólo una fuente (superficial o subterránea)	1

Fuente: elaboración propia

Tabla 24. Criterios de umbralización y normalización de S7

Quintil	Rango de Valores	Valor Normalizado
Q1	0.00	0,2

Q2	0.01 - 0.49	0,4
Q3	0.50	0,6
Q4	0.51 - 0.99	0,8
Q5	1.00	1

Fuente: elaboración propia

El Subindicador S8. Infraestructura, salud ecosistémica del entorno y capacidad de respuesta ante FEM, que causan cortes de suministro evalúa la sensibilidad operativa del SSR ante pérdidas de continuidad del suministro atribuibles a fallas de infraestructura o a déficit en las captaciones, considerando frecuencia, duración, alcance y causa predominante de las interrupciones. Cabe señalar que esta metodología considera la información recopilada a partir de la entrevista al operador y se codifica en una escala normalizada 0–1 (mayor valor = mayor sensibilidad). La clasificación permite priorizar sistemas con mayor riesgo de corte prolongado o masivo y orientar acciones de contingencia y reforzamiento infraestructural.

Tabla 25. Evaluación de S8 en base a la categorización de componentes

Componente	Objeto de evaluación	Sí (1)	No (0)
C1. Interrupción por fallas en la infraestructura	Capacidad del sistema para prevenir y gestionar fallas en redes, bombas, válvulas y otros componentes críticos	No hay mantenimiento preventivo, las fallas son frecuentes o el comité no cuenta con capacidad de reparación	Existe mantenimiento preventivo, registros de fallas y capacidad de reparación oportuna
C2. Interrupción por baja disponibilidad de agua en la fuente	Gestión de la disponibilidad hídrica en la captación (caudales, estiajes, monitoreo)	No existe monitoreo ni estrategias ante disminución del caudal; el suministro depende exclusivamente de una fuente vulnerable	Comité cuenta con monitoreo básico de la fuente, planes de gestión en estiaje o fuentes alternativas
C3. Interrupción por eventos extremos climáticos	Preparación del SSR para enfrentar lluvias intensas, inundaciones, sequías extremas, incendios u otros eventos	SSR no posee medidas de preparación ni protocolos ante eventos extremos, aumentando el riesgo de cortes prolongados	Comité cuenta con procedimientos de emergencia, protección de infraestructura y coordinación externa

Fuente: elaboración propia

Tabla 26. Criterios de umbralización y normalización del subindicador S8 mediante el método de quintiles

Quintil	Rango de Valores	Valor Normalizado
Q1	0.00	0,2
Q2	0.01 - 0.49	0,4
Q3	0.50-0.99	0,6

Q4	1- 1.99	0,8
Q5	2.00	1

Fuente: elaboración propia

El Subindicador S9. Capacidad de gobernanza y gestión comunitaria del SSR considera información levantada en terreno en los comités de las SSR. Se evalúan las condiciones organizacionales y administrativas que permiten a los sistemas rurales responder de manera efectiva frente a contingencias como fallas técnicas, sobreexigencia de la demanda o conflictos entre usuarios. La literatura reconoce que la falta de gobernanza y de gestión organizada constituye uno de los principales factores de sensibilidad en los sistemas comunitarios de agua, ya que limita su capacidad de adaptación y coordinación frente a escenarios de riesgo (SISS, 2022). En este sentido, la presencia de instrumentos administrativos, la capacidad financiera, la continuidad en la administración, la disponibilidad de recursos humanos dedicados y la colaboración inter-SSR constituyen subindicadores relevantes para evaluar el nivel de gestión comunitaria. Cada uno de ellos se valora en términos binarios (sí/no), cuyo resultado agregado permite clasificar el grado de sensibilidad del sistema.

Tabla 27. Evaluación de S9 en base a la categorización de componentes

Componente	Objeto de evaluación	Sí (0)	No (1)
C1. Conocimiento de instrumentos administrativos	Manejo de estatutos, reglamentos internos, manuales de operación y normativas vigentes	Comité conoce y aplica instrumentos	Comité desconoce o no aplica instrumentos
C2. Capacidad financiera	Existencia de fondos, balance positivo y manejo de cuentas	Comité cuenta con recursos y registro financiero	Comité carece de respaldo económico
C3. Continuidad administrativa	Mantención de la gestión más allá de los cambios de directiva	Existe traspaso ordenado y registros claros	Cada cambio de directiva interrumpe la gestión
C4. Honorarios para administración/gestión	Personal remunerado para tareas administrativas y contables	Existe personal contratado (secretario, administrador)	Gestión voluntaria, sin personal contratado
C5. Colaboración inter-SSR	Existencia de coordinación o apoyo mutuo con otros sistemas	Comité participa en asociaciones/redes de SSR	Comité opera de forma aislada

Fuente: elaboración propia

Tabla 28. Criterios de umbralización y normalización de S9

Quintil	Rango de Valores	Valor Normalizado
Q1	0,00	0,2
Q2	0,01 - 1,00	0,4
Q3	1,01 - 1,80	0,6
Q4	1,81 - 4,00	0,8
Q5	4,01 - 5,00	1

Fuente: elaboración propia

El Subindicador S10. Disponibilidad de DAA asignadas a la SSR evalúa, a partir de la información verbal del operador, la existencia y seguridad jurídica y operativa de los derechos asociados a la captación del SSR como documentación vigente, permanencia y restricciones, capacidad real de ejercicio y presencia de conflictos o sanciones (tabla 19). Se codifica en una escala normalizada 0–1 (mayor valor = mayor sensibilidad cuando los derechos son inexistentes, temporales, no ejercibles o están en disputa) y se registra el nivel de confianza de la respuesta para priorizar la verificación documental en los casos más críticos.

Tabla 29. Evaluación de S10 en base a la categorización de componentes

Componente	Objeto de evaluación	Adecuado (0)	Deficiente (0,5)	Ausente (1)
C1. Existencia documental de DAA	Existencia de derechos inscritos o documentos formales que acrediten DAA para la captación	Derechos inscritos / documentación disponible y vigente	Documentación parcial, en trámite o no actualizada	No existen derechos ni documentación conocida
C2. Permanencia y restricciones de uso	Naturaleza del derecho: permanente/temporal, restricciones estacionales o turnos	Derecho permanente y sin restricciones operativas relevantes	Derecho con restricciones estacionales o condiciones operativas limitantes	Derecho temporario o sujeto a turnos frecuentes / no renovable
C3. Capacidad de ejercicio efectivo	Capacidad real de captación (instalaciones, puntos autorizados, bombeo) para hacer uso del DAA	Captación y equipos habilitados para ejercer el derecho	Captación parcial o con limitaciones operativas recurrentes	No es posible ejercer el derecho por falta de obras o autorización operativa

Fuente: elaboración propia

Tabla 30. Criterios de umbralización y normalización de S10

Quintil	Rango de Valores	Valor Normalizado
Q1	0,00 - 0,10	0,2
Q2	0,11 - 0,50	0,4
Q3	0,51 - 0,90	0,6
Q4	0,91 - 1,10	0,8
Q5	1,11 - 2,50	1

Fuente: elaboración propia

Una vez integrados los subindicadores a la ecuación 1, se obtiene el nivel de sensibilidad de cada SSR.

Tabla 31. Interpretación de nivel de sensibilidad de cada SSR

Rango de Valores	Valor Normalizado	Interpretación
3,80 - 5,24	0,2	Muy Bajo
5,25 - 5,72	0,4	Bajo
5,73 - 6,72	0,6	Medio
6,73 - 7,32	0,8	Alto
7,33 - 14,40	1	Muy Alto

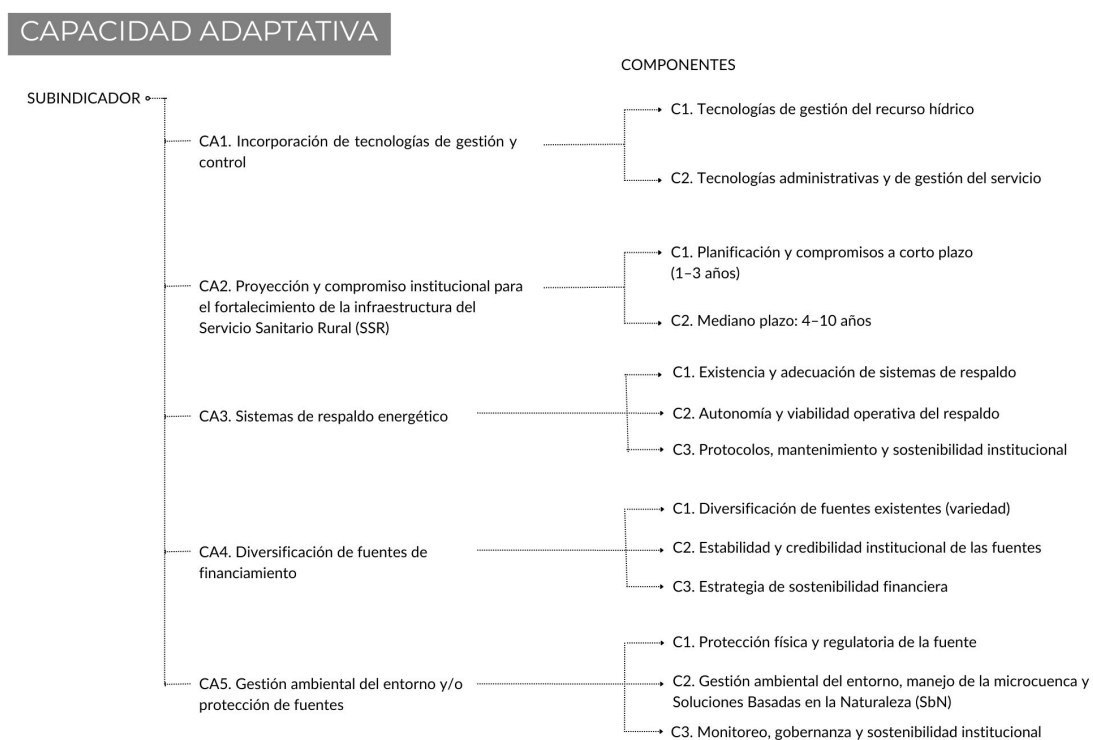
Fuente: elaboración propia

D. CAPACIDAD ADAPTATIVA

Para la estimación de la Capacidad Adaptativa (CA) se han considerado subindicadores y componentes relacionados con la intervención operacional de los sistemas, dentro de los cuales se encuentra la incorporación de tecnología y la evaluación de la operación mediante estrategias de mejoramiento continuo (ilustración 6). Los subindicadores propuestos para esta capacidad están condicionados por la voluntad de los servicios sanitarios rurales a incorporar los dentro de su operación, existiendo casos en donde existen sistemas que ya poseen uno o más de estos subindicadores.

Es importante mencionar que la evaluación de los componentes se fundamenta en evidencias cualitativas extraídas de entrevistas con técnicos, gestores, y administrativos.

Ilustración 6. Subindicador y relacionamiento con sus componentes



Fuente: elaboración propia

La caracterización de estos componentes se basa en una escala de cumplimiento: Adecuado (1,0), Deficiente (0,5) y Ausente (0,0). A cada respuesta se le asigna un peso diferenciado que, mediante la Ecuación 3, permite obtener el valor del subindicador correspondiente. Finalmente, los resultados son normalizados en un rango de 0 a 1, siguiendo los criterios establecidos en las tablas de caracterización de cada subindicador.

El Subindicador CA1. Incorporación de tecnologías de gestión y control corresponde a la capacidad de un SSR para integrar herramientas tecnológicas que faciliten el monitoreo y la gestión de su operación como sistemas de telemetría, registros digitales de producción y consumo, medición de horas de funcionamiento de bombas, control de consumo eléctrico, o plataformas de gestión

administrativa y financiera. La incorporación de estos instrumentos permite una administración más eficiente y transparente del servicio, facilita la toma de decisiones basada en información y mejora la capacidad de respuesta frente a contingencias operacionales. En este sentido, los SSR que cuentan con tecnologías de gestión y control presentan una alta capacidad adaptativa, mientras que aquellos que no disponen de ellas se consideran con baja capacidad adaptativa, al operar con información limitada y depender exclusivamente de la experiencia acumulada de los administradores comunitarios.

Tabla 32. Evaluación del componente C1 en base a la categorización de disponibilidad y uso de tecnologías para la gestión del Recurso Hídrico en la SSR

Nivel	Descripción operativa	Valor Normalizado
Adecuado	El SSR cuenta con 2 o más sistemas tecnológicos instalados y operativos, ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> • telemetría + registro digital producción/consumo • telemetría + control eléctrico 	0,0
Deficiente	Existe 1 tecnología instalada, pero de uso parcial, discontinuo, o sin integración en la gestión, ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> • caudalímetro sin registro sistemático • telemetría intermitente • planillas digitales no actualizadas 	0,5
Ausente	No cuenta con sistemas tecnológicos ni registros digitales sistemáticos. Sólo presentan una gestión basada en percepción, experiencia y registros manuales.	1,0

Fuente: elaboración propia

Tabla 33. Evaluación del componente C2 en base a la categorización de disponibilidad y uso de tecnologías administrativa y gestión del servicio de la SSR

Nivel	Descripción operativa	Valor Normalizado
Adecuado	El SSR cuenta con al menos 1 sistema tecnológicos instalados y operativos, ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> • uso de plataforma administrativa/financiera • registro digital actualizado de socios • control de morosidad digital • respaldo digital de documentos 	0,0
Deficiente	Existe 1 tecnología instalada, pero de uso parcial, discontinuo, o sin integración en la gestión, ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> • boleta electrónica • registro digital o plataforma en uso parcial • con brechas en actualización, orden o continuidad 	0,5
Ausente	Toda la administración se realiza en cuadernos o registros físicos. No existen soportes digitales.	1,0

Fuente: elaboración propia

El Subindicador CA2. Proyección y compromiso institucional para el fortalecimiento de la infraestructura del Servicio Sanitario Rural (SSR) mide el grado de proyección institucional y el nivel de compromiso operativo y financiero para el mejoramiento de la infraestructura del Servicio Sanitario Rural (SSR) con el objetivo de asegurar el abastecimiento y la continuidad del servicio para la población, en horizontes de corto plazo (1–3 años) y mediano plazo (4–10 años). El alcance comprende la existencia y solidez de planes o proyecciones (formales o descritas sustantivamente),

la identificación y aseguramiento parcial o total de fuentes de financiamiento, la definición de cronogramas e hitos de ejecución, el inicio y avance verificable de acciones (diseño, licitación, obras o adquisiciones), la implementación de mecanismos de monitoreo y mantenimiento, la consideración de riesgos críticos y las medidas de mitigación, y la participación y validación por parte de actores comunitarios y técnicos.

Tabla 34. Evaluación del subindicador C1 en base a la categorización de planificación a corto plazo

Nivel	Descripción operativa	Valor Normalizado
Adecuado	Existe un plan o proyección clara para los próximos 1–3 años, que incluya al menos 2 de las siguientes tipologías: <ul style="list-style-type: none"> • proyectos definidos • financiamiento identificado o en gestión avanzada • cronograma e hitos • participación comunitaria • avances verificables (diseño, licitación u obras) 	0,0
Deficiente	Existen ideas o intenciones de proyectos, pero sin claridad en financiamiento, cronogramas ni acciones iniciadas. No hay avances concretos aunque existe conciencia desde el comité y/o usuarios de la necesidad	0,5
Ausente	No existe planificación o visión de necesidades a corto plazo. No se identifican proyectos, financiamiento ni acciones orientadas a resolver brechas de infraestructura	1,0

Fuente: elaboración propia

Tabla 35. Evaluación del subindicador C2 en base a la categorización de planificación a mediano plazo

Nivel	Descripción operativa	Valor Normalizado
Adecuado	El SSR cuenta con una visión de crecimiento futuro y necesidades estructurales (fuentes, estanques, redes, energía, recambio de equipos), que incluya al menos 2 de las siguientes tipologías: <ul style="list-style-type: none"> • análisis de riesgos • proyecciones de demanda • propuestas de proyectos futuros, desde las SSR o instituciones externas (públicas, privadas, ONG's, etc) • gestiones institucionales (MOP, Municipalidad, GORE, etc) 	0,0
Deficiente	Existe una percepción general de necesidades futuras, pero sin formalización en documentos, sin priorización ni estrategias claras. No existen gestiones concretas.	0,5
Ausente	No existe visión de mediano plazo, ni identificación de riesgos, ni planificación de futuras inversiones. El SSR opera de manera reactiva.	1,0

Fuente: elaboración propia

El Subindicador CA3. Sistemas de respaldo energético representa la disponibilidad, fiabilidad y sostenibilidad de los sistemas de respaldo energético del Sistema Sanitario Rural (SSR) orientados a asegurar la continuidad operacional del servicio de abastecimiento frente a cortes de suministro eléctrico y variaciones en la disponibilidad energética. Su alcance contempla la existencia y adecuación de fuentes de respaldo (generadores, bancos de baterías, plantas solares con almacenamiento), la suficiencia de capacidad y autonomía para cargas críticas, la provisión continua

de combustible o energía (contratos, reservas, cadenas de suministro), procedimientos de operación y mantenimiento, registros de pruebas y la planificación financiera y responsabilidades institucionales para sostenimiento. La unidad de análisis es la plataforma energética asociada al conjunto de instalaciones y servicios críticos del SSR.

Tabla 36. Evaluación del subindicador C1 en base a la categorización de disponibilidad de sistema de respaldo

Nivel	Descripción operativa	Valor Normalizado
Adecuado	El SSR cuenta con un sistema de respaldo energético instalado y funcional (generador, baterías o FV ¹⁴ + almacenamiento) dimensionado adecuadamente para cargas críticas (bombas, cloración, telemetría). Existe transferencia manual o automática (partida del sistema).	0,0
Deficiente	Existe un sistema de respaldo, pero su capacidad es insuficiente, su uso es esporádico o presenta fallas frecuentes; o bien no cubre todas las cargas críticas.	0,5
Ausente	No existe ningún sistema de respaldo energético operativo.	1,0

Fuente: elaboración propia

Tabla 37. Evaluación del subindicador C2 en base a la categorización de estado estructural y funcionamiento del sistema de respaldo

Nivel	Descripción operativa	Valor Normalizado
Adecuado	El sistema de respaldo debe presentar, al menos, 1 de estas tipologías: <ul style="list-style-type: none"> • mantener cargas críticas por un período adecuado ($\geq 4-6$ h según contexto) • cuenta con reservas suficientes y actualizadas de combustible • acceso garantizado a suministro en emergencias 	0,0
Deficiente	Autonomía limitada (1–3 h), reservas de combustible inestables o no verificadas, o incertidumbre en la reposición durante cortes prolongados	0,5
Ausente	No existe autonomía energética asegurada; sin reservas ni posibilidad clara de sostener operación ante un corte	1,0

Fuente: elaboración propia

Tabla 38. Evaluación del subindicador C3 en base a la categorización de disponibilidad de protocolos, mantenimiento y sostenibilidad institucional en la SSR

Nivel	Descripción operativa	Valor Normalizado
Adecuado	Existen protocolos escritos o verbalizados claramente, registros de pruebas, mantenimiento preventivo regular, roles definidos y planificación financiera para sostener respaldo (combustible, mantención, reposición)	0,0
Deficiente	Conocimiento práctico del funcionamiento, pero sin documentos, registros irregulares o mantenimiento esporádico. Responsabilidades poco claras.	0,5
Ausente	No hay protocolos, mantenimiento ni responsables definidos	1,0

Fuente: elaboración propia

¹⁴ FV: Panel fotovoltaico

El Subindicador CA4. Diversificación de fuentes de financiamiento evalúa el grado de diversificación, suficiencia y sostenibilidad de las fuentes de financiamiento destinadas al fortalecimiento y operación del Sistema Sanitario Rural (SSR), con vistas a asegurar la continuidad y mejora de los servicios. Su alcance incluye la existencia y combinación de fuentes: presupuesto público recurrente y de inversión, transferencias municipales/región, contratos de prestación de servicios, mecanismos de autofinanciamiento o recaudación local, alianzas público-privadas y reservas/fondos de contingencia.

Tabla 39. Evaluación del subindicador CA4-D1 en base a la categorización de la diversificación de fuentes de financiamiento existentes

Nivel	Descripción operativa	Valor Normalizado
Adecuado	El SSR cuenta con al menos 3 fuentes de financiamiento activas, por ejemplo, tarifas locales, inversión pública, apoyo municipal, fondo reserva, con combinaciones que se utilizan regularmente	0,0
Deficiente	El SSR depende de una fuente principal, con alguna fuente secundaria ocasional, por ejemplo, solo cuotas o tarifas locales + proyectos puntuales	0,5
Ausente	Existe dependencia exclusiva de una sola fuente, por ejemplo, solo tarifas locales. No hay diversificación	1,0

Fuente: elaboración propia

Tabla 40. Evaluación del subindicador CA4-D2 en base a la categorización de la estabilidad y credibilidad institucional de las fuentes

Nivel	Descripción operativa	Valor Normalizado
Adecuado	El SSR cuenta con fuentes regulares, formales o con compromisos claros , que cumplen con al menos una de estas tipologías: <ul style="list-style-type: none"> • convenios o patrones estables • morosidad controlada • fondos de reserva vigentes 	0,0
Deficiente	El SSR presenta alguna de estas tipologías: <ul style="list-style-type: none"> • las fuentes existen, pero son inestables o no garantizadas • no hay compromisos formales; morosidad irregular • fondo de reserva variable 	0,5
Ausente	El SSR presenta alguna de estas tipologías: <ul style="list-style-type: none"> • no existe estabilidad financiera • no hay compromisos externos • fuerte vulnerabilidad económica • no hay reserva ni regularidad en ingresos 	1,0

Fuente: elaboración propia

Tabla 41. Evaluación del subindicador CA4-D3 en base a la categorización de estrategias de sostenibilidad financiera

Nivel	Descripción operativa	Valor Normalizado
Adecuado	Desde el SSR existe una visión clara, incluso verbalizada. Se manifiesta al menos 2 de estas tipologías: <ul style="list-style-type: none"> • planificación financiera futura (hoja de ruta con costos asociados) 	0,0

	<ul style="list-style-type: none"> • mecanismos de ahorro • gestión activa de fondos • control de morosidad • búsqueda de nuevos proyectos/alianzas 	
Deficiente	El SSR manifiesta al menos una de estas tipologías: <ul style="list-style-type: none"> • lluvia de ideas, pero sin un plan claro • las propuestas dependen de oportunidades y no de planificación • decisiones reactivas 	0,5
Ausente	No existe estrategia o visión financiera futura. El SSR opera reactiva y de forma precaria	1,0

Fuente: elaboración propia

El Subindicador CA5. Gestión ambiental del entorno y/o protección de fuentes mide el grado de gestión ambiental del entorno y la protección de las fuentes vinculadas al Sistema Sanitario Rural (SSR), orientado a garantizar la calidad y disponibilidad del recurso hídrico. Su alcance abarca la existencia y aplicación de medidas de protección física de fuentes (zonas de protección, cercos, control de accesos), gestión de cuencas y uso de suelo (prácticas de conservación, reforestación, control de actividades antrópicas contaminantes), sistemas de control y tratamiento de vertidos y aguas residuales en el entorno, monitoreo regular de calidad y cantidad de las fuentes, marcos regulatorios y permisos, capacidad institucional y financiera para mantener las medidas de protección, mecanismos de respuesta ante contaminaciones o degradación, y la participación y corresponsabilidad de comunidades y actores locales en la protección.

Tabla 42. Evaluación del subindicador CA5-D1 en base a la categorización de la protección física y regulatoria de la fuente

Nivel	Descripción operativa	Valor Normalizado
Adecuado	El SSR presenta protección física completa, con al menos 1 de las siguientes tipologías: <ul style="list-style-type: none"> • cercos, acceso controlado • zona de protección definida, • permisos o regularización de derechos de agua • acuerdos con propietarios y señalización 	0,0
Deficiente	El SSR presenta protección, pero muestra una de las siguientes tipologías: <ul style="list-style-type: none"> • protección deteriorada • zona de protección no implementada plenamente • regularización del área de servicio en trámite • control de acceso incompleto 	0,5
Ausente	Sin protección física ni control del acceso fuente expuesta a riesgos ambientales y antrópicos	1,0

Fuente: elaboración propia

Tabla 43. Evaluación del subindicador CA5-D2 en base a la categorización de la gestión ambiental del entorno, manejo de la microcuenca y Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)

Nivel	Descripción operativa	Valor Normalizado
Adecuado	Se implementan acciones ambientales sistemáticas con mantenimiento y participación local, incluyendo al menos una SbN en operación, por ejemplo:	0,0

	<ul style="list-style-type: none"> • reforestación nativa, • barreras vegetales, • restauración de microcuena, • exclusión ganadera permanente, • humedal/biofiltro 	
Deficiente	El SSR cumple con al menos una de éstas tipologías: <ul style="list-style-type: none"> • acciones ambientales aisladas o esporádicas, • existe conocimiento de SbN pero sin implementación concreta • existen medidas parciales sin continuidad (p. ej., cercos provisorios, plantaciones sin mantenimiento) 	0,5
Ausente	No hay acciones ambientales ni SbN Entorno con actividades contaminantes o degradación sin gestión	1,0

Nota: Para esta evaluación se consideró que:

Si existe ≥ 1 SbN implementada, el nivel no puede ser Ausente

Si existen ≥ 2 SbN activas o consolidadas, se refuerza la calificación Adecuado

Tabla 44. Evaluación del subindicador CA5-D3 en base a la categorización del monitoreo, gobernanza y sostenibilidad institucional

Nivel	Descripción operativa	Valor Normalizado
Adecuado	El SSR presenta, al menos, 2 de las siguientes tipologías: <ul style="list-style-type: none"> • monitoreo periódico de calidad y cantidad • respuesta ante contaminación • financiamiento y mantenimiento de las medidas (incluidas SbN) • gobernanza y roles claros • participación comunitaria activa 	0,0
Deficiente	El SSR muestra una de las siguientes tipologías: <ul style="list-style-type: none"> • Actividades de monitoreo irregulares • roles poco definidos • acciones reactivas • financiamiento insuficiente o incierto 	0,5
Ausente	No se realiza monitoreo ni existen mecanismos de gobernanza para la protección o gestión ambiental.	1,0

Fuente: elaboración propia

Una vez integrados los subindicadores a la ecuación 1, se obtiene el nivel de capacidad adaptativa de cada SSR, en base a la tabla de umbralización del indicador correspondiente.

Tabla 45. Interpretación de nivel de Capacidad Adaptativa de cada SSR

Rango de Valores	Valor Normalizado	Interpretación
2,50 - 3,30	0,2	Muy Bajo
3,31 - 5,20	0,4	Bajo
5,21 - 8,00	0,6	Medio
8,01 - 8,70	0,8	Alto
8,71 - 10,50	1	Muy Alto

Fuente: elaboración propia

La capacidad adaptativa constituye la dimensión más incipiente dentro del análisis de riesgo de los SSR en la isla, pero al mismo tiempo representa un eje estratégico para su fortalecimiento futuro. Los subindicadores propuestos buscan capturar los avances hacia la modernización de la operación y la diversificación de soluciones hídricas en un territorio caracterizado por sistemas comunitarios de pequeña escala. Si bien actualmente la mayoría de los SSR carece de estas herramientas, la inclusión de estas como parte del indicador permite reconocer las brechas existentes y orientar la formulación de políticas y proyectos de innovación que refuercen la resiliencia de los servicios frente al cambio climático y a la presión sobre el recurso hídrico.

En este sentido, la capacidad adaptativa no se mide únicamente en función de la infraestructura instalada, sino también de la voluntad y la posibilidad de los SSR de incorporar mejoras tecnológicas y soluciones sostenibles en su gestión. De este modo, aunque se trata de un componente aún en desarrollo, su consideración en la propuesta metodológica permite avanzar hacia una visión integral del riesgo, en la que la adaptación se reconoce como un elemento clave para garantizar la continuidad, la seguridad y la sostenibilidad de los sistemas de agua potable rurales en la Isla Grande de Chiloé.

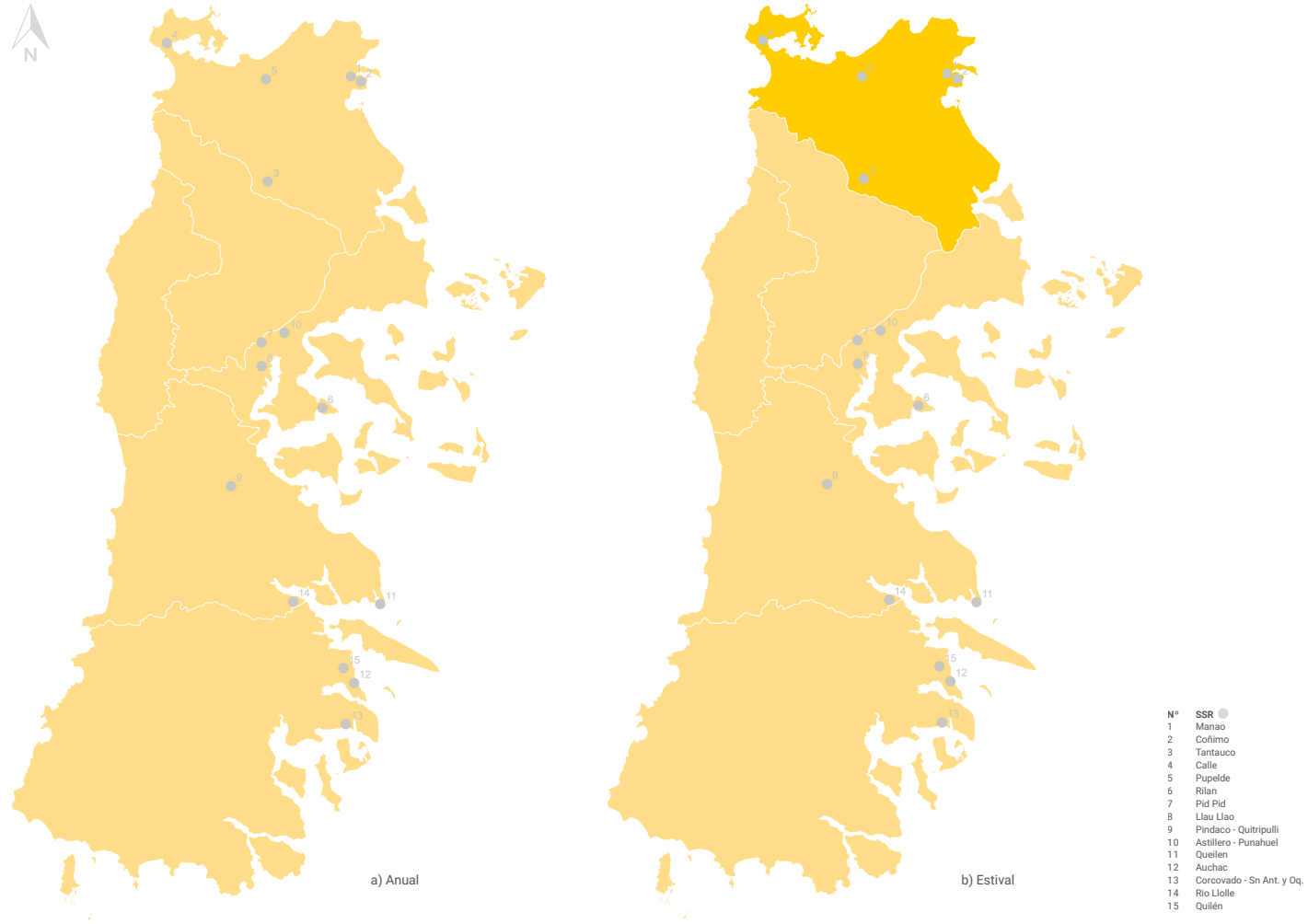
4. Resultados y discusión

El análisis de los indicadores de amenaza climática evidencia un incremento generalizado de los niveles de presión al transitar desde un “año regular” hacia el período estival comprendido entre octubre y marzo (ilustración 7). Este comportamiento homogéneo confirma que la estacionalidad constituye un factor estructural en la dinámica de riesgo, pues intensifica las condiciones que afectan la disponibilidad hídrica y la estabilidad operativa de los Sistemas Sanitarios Rurales (SSR). Sin embargo, la magnitud del incremento no es territorialmente uniforme. Los SSR que presentan la variación más crítica se localizan en la comuna de Ancud. En estos sistemas, entre Manao y Pupelde, el indicador aumenta desde un valor promedio de 0,5875 en un año regular (categoría “media”) hasta 0,675 en el período estival, superando el umbral de una amenaza “alta”. Este cambio de categoría implica que las fuentes de captación y/o la infraestructura existente operan en un margen reducido de seguridad bajo condiciones normales, que se ve sobrepasado durante los meses de menor precipitación y mayor demanda, lo que evidencia una mayor sensibilidad territorial frente a la estacionalidad climática en el sector norte de la isla.

En contraste, los SSR emplazados en el resto de las comunas de la Isla Grande de Chiloé mantienen la categoría de amenaza “media” en ambos períodos. No obstante, el valor del indicador aumenta desde 0,5125 a 0,600, lo que representa un incremento aproximado del 17%. Si bien no se produce un cambio de categoría, el desplazamiento hacia el límite superior del rango medio reduce el margen de resiliencia del sistema y lo deja más expuesto a eventos extremos o a déficits hídricos prolongados.

La relación entre ambos períodos muestra una correlación positiva directa, sin registros de disminución ni de estabilidad del indicador en ningún SSR evaluado. El aumento sistemático de 0,58 a 0,67 en los sistemas de Ancud y de 0,51 a 0,60 en el resto de las comunas confirma que el factor estacional incide en la amenaza climática. La brecha adicional de 0,0875 puntos observada durante el período octubre-marzo sugiere la existencia de un déficit hídrico estructural que se intensifica estacionalmente, posiblemente asociado a la disminución de los caudales superficiales y/o a una menor recarga de acuíferos en dichos meses.

Ilustración 7. Distribución espacial de los niveles Amenaza anual/mensual del periodo 1980-2010

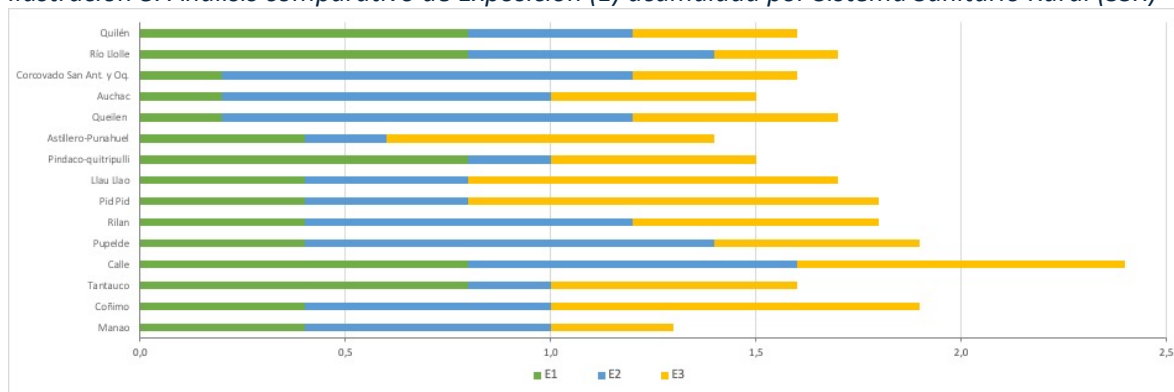


Fuente: elaboración propia

Desde la perspectiva de la gestión, la transición de una amenaza “media” a “alta” en los SSR ubicados en la comuna de Ancud (SHAC Ancud) requiere una priorización territorial diferenciada. Mientras que en el resto de la isla el año regular permite una operación relativamente estable, con un incremento estival moderado, en Ancud la temporada crítica exige instrumentos adicionales de gestión, tales como planes de contingencia para el abastecimiento mediante fuentes alternativas, mecanismos de regulación del consumo en períodos de máxima demanda e inversiones en infraestructura de acumulación que amortigüen el aumento estacional del indicador. Es importante, entonces, incorporar un enfoque territorial y temporal en la planificación de los SSR, reconociendo que la intensidad de la amenaza climática no solo varía según la estación, sino también según la localización comunal dentro de la isla.

El análisis del indicador de exposición muestra dispersión entre los comités evaluados, a diferencia de lo observado en la amenaza climática, que presentaba un comportamiento relativamente homogéneo. La variabilidad evidencia que los factores territoriales y estructurales, como las características de la infraestructura, la densidad demográfica o el emplazamiento geográfico, difieren entre los sistemas, lo que configura niveles de exposición altamente heterogéneos dentro de la Isla Grande de Chiloé.

Ilustración 8. Análisis comparativo de Exposición (E) acumulada por Sistema Sanitario Rural (SSR)



Nota:

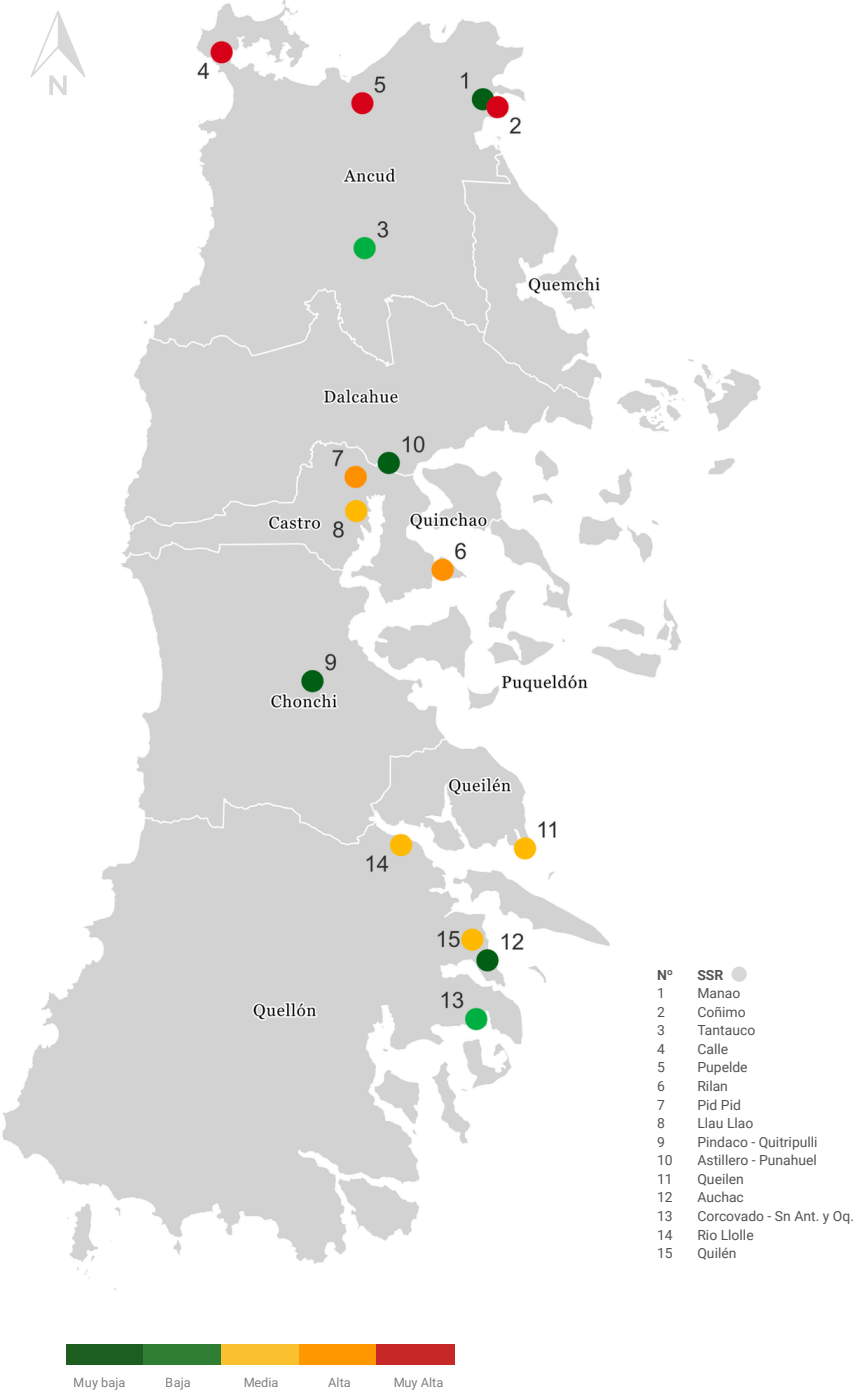
(1) **E1**= Cercanía de captaciones a fuentes de contaminación (industrias, vertederos, caminos); **E2**= Exposición geográfica a intrusión salina y marejadas; **E3**= Cambio uso de suelo

En el nivel más crítico se identifican tres comités que alcanzan la categoría de exposición “Muy Alta”, con valores normalizados de 1,0. El caso más extremo corresponde a Calle, con una sumatoria de 2,4 y valores elevados en las tres dimensiones analizadas (0,8 en cada una), lo que refleja una exposición multidimensional y estructural. Coñimo y Pupelde presentan una suma de 1,9; sin embargo, el origen de dicha exposición difiere. En Coñimo, el mayor peso recae en la variable E3 (0,9), mientras que en Pupelde predomina la variable E2 (1,0). Esta diferencia indica que, aun cuando comparten la misma categoría final, los factores subyacentes que explican su exposición responden a dinámicas distintas, lo que tiene implicancias directas para el diseño de medidas de mitigación específicas.

El análisis desagregado de las variables E1, E2 y E3 permite identificar los principales impulsores de la exposición en cada territorio. En la variable E1 se observan valores elevados (0,8) en comités como Tantauco, Calle, Pindaco-Quitripulli, Río Lolle y Quilén, lo que sugiere una concentración de condiciones territoriales o estructurales adversas en esta dimensión. En la variable E2, los valores

máximos (1,0) se registran en Pupelde, Queilén y Corcovado San Antonio y Oqueldán, evidenciando vulnerabilidades específicas particularmente intensas en esta dimensión, independientemente de su resultado agregado. En cuanto a la variable E3, el valor máximo se presenta en Pid Pid (1,0), seguido por Coñimo y Llau Llao (0,9), consolidando a estos sistemas como focos relevantes en esta dimensión particular de exposición.

Ilustración 9. Distribución espacial de los niveles de Exposición (E)



Fuente: elaboración propia

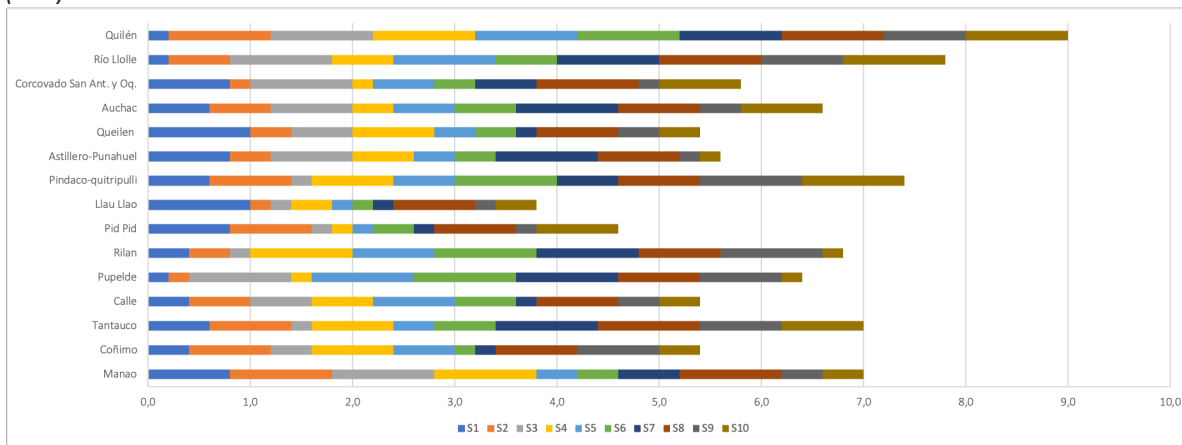
Los comités con exposición “Muy Baja”, con valores normalizados de 0,2 se encuentran Manao, Pindaco-Quitripulli, Astillero-Punahuel y Auchac. A pesar de enfrentar amenazas climáticas de magnitud media, la baja exposición territorial actúa como un factor amortiguador del riesgo total, lo que, junto con la configuración espacial y estructural del sistema, puede reducir significativamente la presión global.

En términos comparativos, la exposición emerge como el principal factor diferenciador del riesgo entre los comités. Mientras la amenaza climática presenta un patrón relativamente uniforme, la exposición introduce una brecha. Por ejemplo, Calle presenta una normalización cinco veces mayor que Astillero-Punahuel (1,0 frente a 0,2), aun cuando ambos sistemas están sometidos a amenazas climáticas similares. Esta heterogeneidad permite identificar “zonas críticas” donde convergen alta exposición y amenaza estival elevada, particularmente en los casos de Coñimo, Calle y Pupelde, que se posicionan como prioridades de intervención desde la perspectiva de la inversión pública.

Finalmente, el análisis de la sumatoria de los subindicadores, es decir, del S1 al S10, permite orientar la priorización de medidas correctivas de manera focalizada. En comités como Rilán y Pid Pid, clasificados con exposición “Alta”, las estrategias de mitigación debieran concentrarse en la dimensión que presenta mayor ponderación, con el objetivo de reducir progresivamente su categoría a niveles “Medios” o “Bajos”. De este modo, la desagregación del indicador no solo permite caracterizar la exposición, sino también proporcionar criterios operativos concretos para una planificación territorial diferenciada.

La **Sensibilidad (S)** por Sistema Sanitario Rural (SSR) revela no solo la magnitud total de la sensibilidad de cada sistema, sino también la contribución específica de cada subindicador (S1 a S10) a dicha fragilidad (ilustración 10).

Ilustración 10. Análisis comparativo de Sensibilidad (S) acumulada por Sistema Sanitario Rural (SSR)



Fuente: elaboración propia

Nota:

(1) **S1**= Nº arranques; **S2**= razón demanda segura período estival ($Q_{seguro}/Q_{demanda}$); **S3**= crecimiento en la demanda, considerando aumento de infraestructura (2019-2024); **S4**= capacidad de almacenamiento per cápita; **S5**= Disponibilidad de componentes básicos para el funcionamiento de una SSR; **S6**= Disponibilidad y completitud de registros de calidad del agua entregada por la SSR; **S7**= Diversificación de fuentes de agua; **S8**= Interrupciones en el servicio por temas infraestructurales o disponibilidad de agua en las fuentes de captación; **S9**= Capacidad de gobernanza y gestión comunitaria del SSR; **S10**= Disponibilidad de DAA asignadas a la SSR.

Quilén es el sistema más sensible, con un valor acumulado de 9,0 puntos. Le sigue de cerca Río Lolle, con un puntaje cercano a 7,8. En ambos casos, la sensibilidad es multivariable, lo que implica que un escenario de estrés afecta significativamente su operatividad. Por el contrario, Llau Llau y Pid Pid presentan los niveles de sensibilidad acumulada más bajos, con valores que oscilan entre 3,8 y 4,6 puntos respectivamente. Estos sistemas demuestran una mayor capacidad estructural o de gestión para absorber cambios en las variables analizadas.

El impacto de subindicadores específicos, como, por ejemplo, S8 (representado en color café) muestra una presencia alta en casi todos los SSR, con lo que las “interrupciones del servicio” un factor determinante en la acumulación de sensibilidad total de la red.

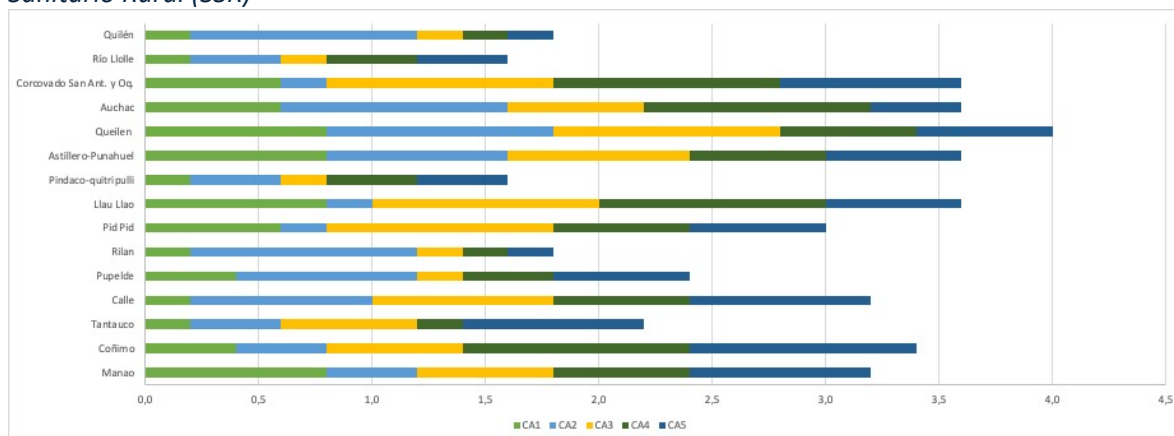
En sistemas como Pupelde, se observa que la sensibilidad está fuertemente concentrada en escenarios específicos como S3, S5, S6 y S7, lo que sugiere debilidades ante amenazas particulares más que una fragilidad generalizada.

La mayoría de los comités, como Manao, Tantaucó y Pindaco, se agrupan en un rango de sensibilidad intermedia entre 5,5 y 7,5, más la combinación de factores de riesgo es heterogénea, lo que requiere diagnósticos individualizados para su fortalecimiento.

El indicador de sensibilidad total identifica a Coñimo, Pindaco-quitripulli y Quilén en el nivel más crítico, alcanzando el puntaje máximo de normalización debido a la precariedad simultánea en sus componentes técnicos y organizativos. En contraste, localidades como Calle, Pid Pid y Llau Llau se sitúan en niveles de sensibilidad bajos o muy bajos, lo que sugiere una mayor resiliencia y capacidad de respuesta ante eventos adversos. En conclusión, la alta sensibilidad observada en la mayoría de la muestra responde primordialmente a la dependencia de fuentes únicas y a debilidades en la gestión comunitaria, factores que comprometen la continuidad del servicio ante futuras crisis hídricas.

A diferencia de la sensibilidad, la **Capacidad Adaptativa (CA)** mide el potencial de cada sistema para enfrentar y recuperarse de las perturbaciones. En la Ilustración 11 una barra más larga indica una mayor resiliencia.

Ilustración 11. Análisis comparativo de Capacidad Adaptativa (CA) acumulada por Sistema Sanitario Rural (SSR)



Fuente: elaboración propia

Nota:

⁽¹⁾ **CA1**= Incorporación de tecnologías de gestión y control; **CA2**= Proyección y compromiso institucional para el fortalecimiento de la infraestructura del Servicio Sanitario Rural; **CA3**= Sistemas de respaldo energético; **CA4**= Diversificación de fuentes de financiamiento; **CA5**= Gestión ambiental del entorno y/o protección de fuentes.

Queilen, presenta el índice más alto, alcanzando un valor acumulado de 4,0. Su fortaleza reside principalmente en las dimensiones CA2 y CA3, proyección y sistema de respaldo energético, respectivamente. Por otra parte, Llau Llao se sitúa como el segundo sistema con mejor capacidad adaptativa (aprox. 3,6), destacando significativamente en la dimensión de capacidad de contar con diversidad de fuentes de abastecimiento (CA4), en comparación con el resto de los comités. Manao, Coñimo y Astillero-Punahuel, también muestran niveles robustos, situándose por encima de los 3,2 puntos.

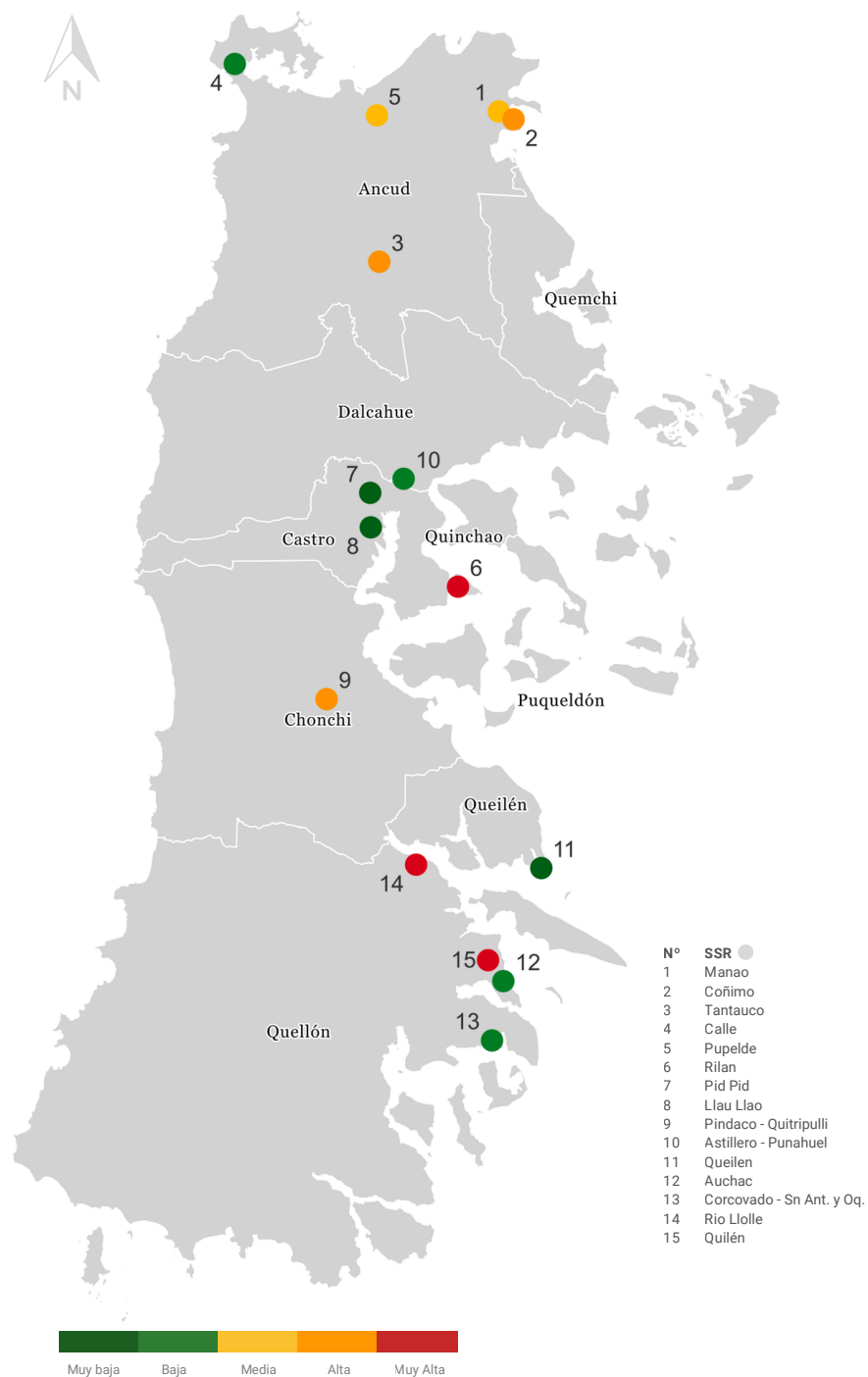
Se consideran sistemas críticos, es decir, que presentan una baja Capacidad Adaptativa; Rilán, Pindaco-quitripulli, Río Llolle y Quilén con puntajes acumulados que no superan los 1,7 puntos. Es especialmente preocupante el caso de Quilén y Río Llolle, ya que el análisis previo de sensibilidad los identificó como los más vulnerables y, además, son los que poseen menos herramientas para adaptarse.

En relación a la distribución de componentes (CA1 al CA5), se evidencia que la incorporación de tecnologías de gestión y control (CA1, verde claro) es una base constante en la mayoría de los sistemas, con valores que oscilan generalmente entre 0,2 y 0,8. Por el contrario, la disponibilidad de sistemas de respaldo en caso de cortes energéticos (CA3) es el componente que genera la mayor brecha de desigualdad; mientras que en Queilen o Corcovado es muy amplia, en Quilén o Río Llolle es mínima o casi inexistente.

La capacidad de gestionar el entorno y proteger las fuentes de abastecimiento de agua (CA5, azul oscuro) muestra una presencia relevante en sistemas como Manao, Coñimo y Calle, aportando un componente crítico a su resiliencia total.

Los resultados del indicador de vulnerabilidad (V) muestran que esta se encuentra fuertemente determinada por la relación entre una sensibilidad elevada y una capacidad adaptativa limitada, más que por valores absolutos altos de sensibilidad (ilustración 12). Los casos de vulnerabilidad Muy Alta, como Quilén, Río Llolle y Rilán, presentan fracciones superiores a 2,0, explicadas por una combinación crítica de sensibilidades altas o medias-altas con capacidades adaptativas muy reducidas, lo que amplifica la condición de riesgo. En contraste, sistemas como Llau Llao y Pid Pid, aun presentando niveles no despreciables de sensibilidad, alcanzan vulnerabilidades Muy Bajas debido a capacidades adaptativas elevadas, asociadas a respaldo energético, diversificación de financiamiento y fortalecimiento organizacional. Los SSR clasificados con vulnerabilidad Alta (Coñimo, Tantauco y Pindaco-quitripulli) reflejan escenarios intermedios donde una capacidad adaptativa insuficiente no logra compensar presiones estructurales y territoriales relevantes. Asimismo, los sistemas con vulnerabilidad Baja o Media muestran fracciones cercanas o inferiores a la unidad, indicando un equilibrio relativo entre sensibilidad y capacidad adaptativa, aunque aún con riesgos latentes frente a escenarios de estrés hídrico o eventos extremos. En términos territoriales, se observa una mayor concentración de vulnerabilidades elevadas en SSR con menor desarrollo institucional y menor acceso a mecanismos de apoyo técnico y financiero, particularmente en áreas más aisladas.

Ilustración 12. Distribución espacial de los niveles de Vulnerabilidad (V)

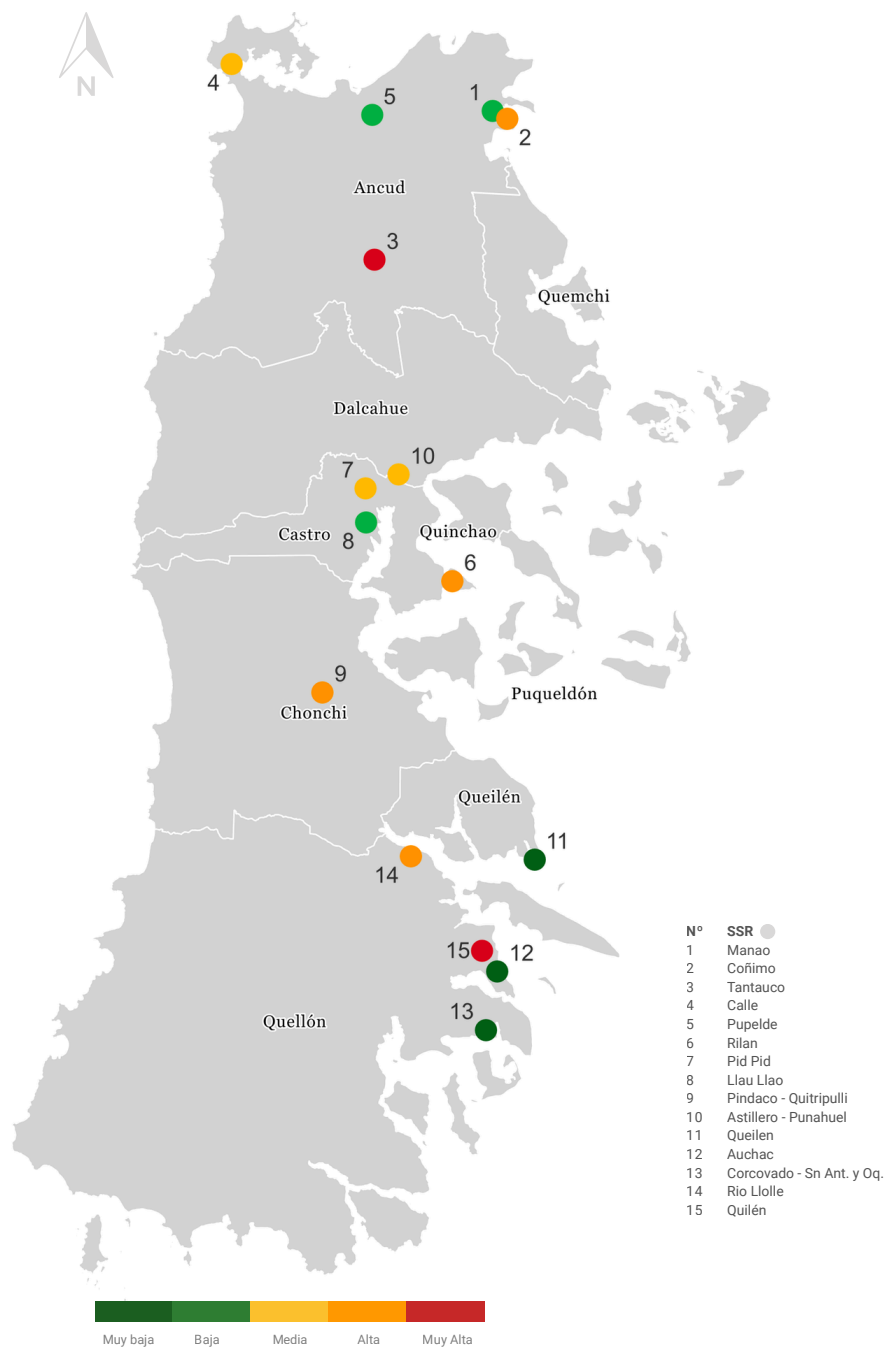


Fuente: elaboración propia

El indicador integrado de riesgo permite observar cómo la interacción entre la amenaza climática, la exposición y la vulnerabilidad configura resultados diferenciados entre los comités, aun cuando la amenaza anual presenta valores relativamente similares (0,59 y 0,51). En este contexto, el riesgo no se explica solo por la amenaza, sino por la forma en que esta se combina con niveles variables de exposición y de vulnerabilidad estructural.

La distribución espacial de estas categorías se presenta en la siguiente figura, donde se observa la concentración de niveles críticos en determinados SSR.

Ilustración 13. Distribución espacial de los niveles de Riesgo (R)



Fuente: elaboración propia

Tal como se aprecia en la Ilustración 13, los casos clasificados como “Muy Alto”, como Coñimo (0,82) y Rilán (0,81), evidencian configuraciones distintas que conducen a resultados similares. En Coñimo, el riesgo elevado se explica principalmente por una exposición máxima (1,00) combinada con una alta vulnerabilidad (0,80), lo que amplifica el efecto de una amenaza anual de 0,59. En Rilán, en cambio, el nivel de amenaza es levemente inferior (0,51), pero la combinación de una exposición alta (0,80) y una vulnerabilidad máxima (1,00) genera un efecto multiplicador que posiciona al sistema en una categoría crítica. Esto confirma que la vulnerabilidad, particularmente cuando alcanza valores extremos, puede compensar o incluso superar el efecto de variaciones moderadas en la amenaza.

En la categoría “Alto” se encuentran casos como Pupelde (0,74), Río Llole (0,74), Quilén (0,74) y Calle (0,66). En estos sistemas, el riesgo elevado se debe a distintas configuraciones internas. Pupelde combina una amenaza relativamente alta (0,59) con una exposición máxima (1,00) y una vulnerabilidad media-alta (0,60), lo que mantiene el sistema en una condición de presión significativa. Calle, pese a presentar exposición máxima (1,00), muestra una vulnerabilidad más baja (0,40), lo que atenúa parcialmente el resultado final y lo sitúa por debajo de los casos más críticos. En Río Llole y Quilén, el elemento determinante es la vulnerabilidad máxima (1,00), que amplifica una exposición media (0,60), lo que demuestra nuevamente el rol modulador de este componente en la configuración del riesgo.

Los sistemas clasificados como “Medio”, tales como Tantauco (0,61) y Pindaco-Quitripulli (0,52), presentan combinaciones en las que uno de los componentes actúa como factor de contención. En Tantauco, una amenaza de 0,59 y una vulnerabilidad alta (0,80) se ven parcialmente compensadas por una exposición baja (0,40). En Pindaco-Quitripulli, en cambio, la exposición muy baja (0,20) amortigua el efecto de una vulnerabilidad elevada (0,80), manteniendo el riesgo en un nivel intermedio. Estos casos ilustran cómo la reducción de uno de los componentes puede contener el resultado global.

Los comités con riesgo “Bajo” o “Muy Bajo”, como Manao (0,46), Llao Llao (0,42), Queilén (0,42), Villa Corcovado (0,43), Astillero-Punahuel (0,36) y Auchac (0,36), comparten una característica común: presentan niveles reducidos de exposición y/o vulnerabilidad que actúan como factores protectores, aun bajo amenazas similares a las del resto de la isla. En particular, los valores bajos de exposición (0,20) en Manao, Astillero-Punahuel y Auchac demuestran que una configuración territorial menos presionada puede disminuir el riesgo total.

5. Conclusión

El análisis desarrollado permitió caracterizar de manera consistente la amenaza climática que enfrenta la continuidad del Servicio Sanitario Rural en la Isla Grande de Chiloé, identificando los principales forzantes que condicionan la disponibilidad y estabilidad del recurso hídrico. La integración, normalización y ponderación de variables climáticas permiten la comparabilidad territorial y una interpretación operativa de la amenaza como insumo para la planificación.

En cuanto a la exposición, los resultados evidencian que el cambio de uso de suelo es el factor predominante en la estructura de riesgo de la mayoría de los SSR evaluados. El sistema Calle, por ejemplo, concentra la mayor carga acumulada de presiones al combinar transformación territorial

e intrusión salina, mientras que sistemas como Coñimo y Pupelde también alcanzan niveles de exposición 'Muy Alta', y casos como Pid Pid evidencian valores máximos en dimensiones específicas, lo que demuestra que la acumulación o concentración de presiones puede resultar tan relevante como la presencia de exposiciones severas en todas las variables.

El indicador integrado muestra que la vulnerabilidad emerge del desbalance entre la sensibilidad y la capacidad adaptativa, que es un factor modulador decisivo del riesgo. Los SSR con vulnerabilidad "Muy Alta" presentan mayor probabilidad de interrupciones prolongadas, mientras que los sistemas con vulnerabilidad "Muy Baja" evidencian que el fortalecimiento de la gobernanza y la planificación financiera permite contener presiones estructurales y no estructurales incluso en contextos de sensibilidad moderada.

El riesgo en los Sistemas Sanitarios Rurales de la Isla Grande de Chiloé es el producto de una interacción entre amenaza, exposición y vulnerabilidad, en la que la vulnerabilidad es un factor decisivo en la amplificación o atenuación del resultado final. La relativa homogeneidad de la amenaza anual contrasta con la marcada heterogeneidad de la exposición y la vulnerabilidad, lo que posiciona a estos dos componentes como los principales ejes de intervención para la reducción efectiva del riesgo.

El riesgo no se configura como efecto directo de la amenaza climática, sino como resultado de la interacción entre la exposición y la vulnerabilidad. Los SSR con riesgo alto representan escenarios críticos en los que la exposición a déficits hídricos se ve intensificada por debilidades estructurales y no estructurales, lo que los convierte en prioridades de intervención. Los casos de riesgo medio muestran que es posible contener niveles elevados de exposición mediante el fortalecimiento adaptativo, mientras que los sistemas de riesgo bajo reflejan el impacto positivo de una gestión territorial y operativa adecuada.

Desde una perspectiva de planificación regional, los resultados obtenidos constituyen una base metodológica sólida para apoyar la priorización territorial de medidas de adaptación en sistemas sanitarios rurales (SSR). La utilización de indicadores compuestos de amenaza, exposición y vulnerabilidad permite operacionalizar el concepto de riesgo climático en escalas locales, facilitando su integración en instrumentos de planificación y gestión existentes. En particular, la incorporación sistemática de la capacidad adaptativa como variable estructural aporta un criterio técnico para la asignación eficiente de recursos y el diseño de intervenciones diferenciadas según el perfil de cada SSR. De este modo, el enfoque desarrollado no solo contribuye a la comprensión del riesgo climático en contextos rurales insulares, sino que ofrece un marco replicable para futuras evaluaciones orientadas a fortalecer la resiliencia hídrica y la continuidad del servicio en escenarios de creciente variabilidad climática.

6. Referencias

- Álamos, N., Monsalve, T., Billi, M., Lefort, I., Allendes, Á., Navea, J., Calvo, R., & Urquiza, A. (2021). Vulnerabilidad hídrica territorial: Marco analítico y aplicaciones (Documento de trabajo NEST-r3 N°3). Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2). <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/AGJ6P>
- Arriagada, A., Bozkurt, D., & Rondanelli, R. (2022). Future changes in hydroclimate over central-southern Chile: Increased interannual variability and ENSO modulation. [Informe técnico]. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2).
- Boisier, J. P., Alvarez-Garreton, C., Cordero, R. R., Damiani, A., Gallardo, L., Garreaud, R., & Rondanelli, R. (2018). Anthropogenic drying in central-southern Chile evidenced by long-term observations and climate model simulations. *Climate Dynamics*, 50(9–10), 4061–4083. <https://online.ucpress.edu/elementa/article/doi/10.1525/elementa.328/112849/Anthropogenic-drying-in-central-southern-Chile>.
- Carrasco Henríquez, N., Rivera Salazar, D., Infante Céspedes, F., Salgado Vargas, M., Bahamonde Zamorano, M., Lillo Saavedra, M., & Soto Redondo, V. (2021). Manual del agua: Sistema de Monitoreo Local (SIMOL) para la participación comunitaria en la gestión del agua rural. Universidad de Concepción. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/31331>.
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2). (2017). La megasequía 2010–2015: Una lección para el futuro. Informe a la Nación. Universidad de Chile.
- Dirección General de Aguas (DGA). (2022a). Plan estratégico de gestión hídrica en las cuencas de las Islas Chiloé y circundantes. Ministerio de Obras Públicas.
- Dirección General de Aguas (DGA). (2022b). Informes hidrológicos regionales. Gobierno de Chile.
- Dirección de Obras Hidráulicas (DOH). (2023). Manual de gestión de Servicios Sanitarios Rurales: Implementación de la Ley 20.998. Ministerio de Obras Públicas.
- Donoso, G., & Vicuña, S. (2016). *Gestión del agua en Chile: Diagnóstico y desafíos*. Santiago: Ediciones Universidad Católica.
- Duarte-Vera, A., Vanhulst, J., & Letelier-Araya, E. (2021). Tensiones de la gobernanza comunitaria de servicios sanitarios rurales en territorios periurbanos de Chile. *Urbano*, 24(44). <https://doi.org/10.22320/07183607.2021.24.44.09>
- Escenarios Hídricos 2030. (2021). Transición hídrica: El futuro del agua en Chile. Fundación Chile; Fundación Futuro Latinoamericano; Fundación Avina.
- Frêne Conget, C., Villarroel, F., Rojas, R., Sanzana, J., González, J., Alarcón, D., Gómez, F., & Barra, S. (2022). Escasez de agua en Chiloé: Red Participativa de Agua como solución para el sector rural. *Revista de Geografía Norte Grande*, 82, 375–396.
- Garreaud, R. D., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H. H., & Veloso-Aguila, D. (2019). The Central Chile mega drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, 40(1), 421–439. <https://doi.org/10.1002/joc.6219>
- HOMSI y Asociados. (2007). Estudio de diagnóstico y diseño de un plan de desarrollo de los sistemas de agua potable rural en Chile. Ministerio de Obras Públicas.

- Hussain, M. S., Abd-Elhamid, H. F., Javadi, A. A., & Sherif, M. M. (2019). *Management of seawater intrusion in coastal aquifers: A review*. *Water*, 11(12), 2467.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2003). Censo 2002: Síntesis de resultados. INE.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2024). Censo de Población y Vivienda 2024: Resultados. INE.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- International Energy Agency (IEA). (2024). *Climate resilience in Chile's energy and water sectors*. IEA.
- Ley N° 20.998. Regula los Servicios Sanitarios Rurales. Diario Oficial de la República de Chile, 14 de febrero de 2017.
- Lu, C., Werner, A. D., & Simmons, C. T. (2019). Seawater intrusion in heterogeneous coastal aquifers under flooding events. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.012>.
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2020). Atlas de riesgo climático para Chile (ARCLIM). Gobierno de Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2024). Informe del Estado del Medio Ambiente 2024. Gobierno de Chile.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2022). Plan de Adaptación al Cambio Climático para el Sector de los Recursos Hídricos. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/10/Plan-Adaptacion-Recursos-Hidricos.pdf>.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2019). Manual de proyectos de agua potable rural. Dirección de Obras Hidráulicas.
- Nicolás-Artero, C., & Blanco, G. (2024). An indicator-based approach to household-community interface for water security: A case study in rural Chile. *Water*, 16(1), 117. <http://dx.doi.org/10.7764/eure.50.151.05>.
- World Health Organization. (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality* (4th ed.). Geneva: World Health Organization.
- Román, Á., Barton, J. R., Bustos, B., & Salazar, A. (2015). *Revolución salmonera: Paradojas y transformaciones territoriales en Chiloé*. RIL Editores.
- Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR). (2024). Anuario estadístico de turismo: Región de Los Lagos 2019–2024. Gobierno de Chile.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). (2022a). Informe de gestión de servicios sanitarios rurales 2021–2022. Gobierno de Chile.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). (2022b). Informe de gestión del sector sanitario. Gobierno de Chile.
- Trimble, M., Jacoby, P., Olivier, T., Pascual, M., Zurbruggen, C., Garrido, L., & Mazzeo, N. (2020). *Reconfiguring water governance for resilient social-ecological systems in South America*. In

J. Baird & R. Plummer (Eds.), *Water resilience: Management and governance in times of change*. Springer.

- Urquiza, A., Billi, M., & Álvarez, R. (2020). Vulnerabilidad hídrica territorial: Conceptos y aplicaciones para la gestión del agua en Chile. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2).
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (1997). *State Source Water Assessment and Protection Programs Guidance*.
- Valcourt, N., Walters, J., Javernick-Will, A., Linden, K., & Hailegiorgis, B. (2020). *Understanding rural water services as a complex system: An assessment of key factors as potential leverage points for improved service sustainability*. Sustainability,
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10(3), 111–120. [https://doi.org/10.1080/0250806850868632812\(3\)](https://doi.org/10.1080/0250806850868632812(3)), 1243. <https://doi.org/10.3390/su12031243>.
- World Health Organization. (2011). *Water safety plan manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers*. WHO Press. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>

7. Anexo

Instrumento cualitativo

Este instrumento permitió recopilar información cualitativa y contextual sobre la gestión del agua, las condiciones de vulnerabilidad de los sistemas, su organización interna y la percepción local del riesgo climático, complementando el análisis hidroclimático y territorial desarrollado en la investigación (ilustración 14). En el contexto de esta tesis, la pauta de entrevistas fue utilizada como insumo metodológico para la identificación y selección de indicadores asociados a las dimensiones de Sensibilidad (S) y Capacidad Adaptativa (CA) de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR), componentes fundamentales del análisis de Vulnerabilidad (V) climática aplicado al territorio de estudio.

La pauta se estructuró en ámbitos temáticos relacionados con la disponibilidad y calidad del agua, la continuidad del suministro, los aspectos legales e institucionales, las redes de apoyo, la capacidad organizacional de los comités y la identificación de posibles soluciones basadas en la naturaleza (SbN) para la protección de fuentes hídricas. Mientras la dimensión de Exposición (E) fue evaluada mediante análisis geoespacial e hidroclimático, la pauta permitió identificar variables relevantes para las dimensiones de Sensibilidad y Capacidad Adaptativa. Las entrevistas fueron complementadas con recorridos en terreno, observación directa de infraestructura y registro fotográfico de captaciones, casetas, equipos y del entorno ecosistémico asociado a las fuentes de agua.

Ilustración 14. Pauta de preguntas y terreno

- Pauta de entrevistas a Comités SSR**
- Presentación por parte del o los entrevistadores
 - Solicitar consentimiento para grabación y uso de la entrevista para el estudio
- Caracterización general del/la entrevistado/a**
- Nombres y Apellido:
 - Cargo / rol:
 - Nombre del SSR - Localidad:
 - Teléfono:
 - Mail:
 - Tiempo de residencia en la isla:
 - Antigüedad en el cargo del rol vinculado al SSR:
 - ¿Cómo está conformada la organización?
 - Año estimado de inicio de operación:
 - ¿Cuenta con licencia de SSR?
 - Cantidad de socios- usuarios del SSR
- Preguntas por ámbito de interés:**
- A. Disponibilidad de Agua**
1. ¿Considera que en su localidad el agua es un recurso escaso?
 2. ¿Ha experimentado su comunidad interrupciones en el suministro de agua en los últimos dos años? ¿Cuál es la razón por la que se suspendió el suministro de agua en su SSR? ¿Con qué frecuencia ocurren cortes de agua por fallas técnicas?, ¿Han notado si los cortes de agua afectan de forma diferente a mujeres y hombres en la comunidad?
- En dicha ocasión ¿cómo se enfrentó o solucionó la situación?
3. ¿Reciben o han recibido agua a través de camiones aljibe? ¿Y por cuánto tiempo recibieron agua por camión aljibe o hace cuánto lo reciben?
 4. ¿El SSR cuenta con la capacidad para responder a la demanda actual? De no ser así, ¿Existe arranque en lista de espera o demanda de expansión de la red de suministro?
 5. ¿Cómo se le da seguimiento al registro de consumo?, ¿Cómo se cuantifica el consumo por familia? ¿Cómo calculan el cobro del consumo?
 6. ¿Sabe usted si algunos usuarios utilizan algunas fuentes adicionales de agua? De ser así, ¿cuál es la razón del uso de esta fuente adicional?
7. ¿Cree que las actividades productivas (piscicultura, forestales, agrícolas, turismo) consumen mucha agua en su comuna?, ¿Ha sentido que el consumo de agua por estas actividades productivas afecta la disponibilidad de agua para el consumo domiciliario?
 8. ¿Cómo enfrenta el aumento de la población flotante en temporada de verano?
 9. ¿Cuáles son las principales amenazas o problemas que afectan las fuentes de agua en su sector (deforestación, uso agrícola, contaminación, sequía, etc.)?
 10. ¿Cuáles son las principales preocupaciones en relación con el agua en su comunidad? ¿Cuál es la más urgente?
 12. ¿Ha escuchado de conflictos de usuario por derechos de agua en la localidad?
- B. Calidad del Agua**
13. ¿Han tenido problemas en relación con la calidad del agua de la fuente? ¿Cuáles? ¿Esto ha puesto en riesgo o disminuido la continuidad del suministro?
 14. ¿Cuenta con infraestructura para potabilizar el agua?
 15. ¿Se realizan monitoreos periódicos de cloro residual y/o análisis bacteriológico o físico-químicos?
 16. ¿Se ha deteriorado el paisaje en el área de su SSR? (degradación y erosión del suelo)
 17. ¿Perceben o evidenciaron casos de contaminación por actividades agrícolas, acuícolas o ganaderas?
- C. Continuidad del Suministro**
18. ¿Con qué frecuencia ocurren cortes de agua por fallas técnicas? ¿Podría indicar la naturaleza de la falla?
 19. ¿La provisión de servicio por parte del SSR, se ha visto afectado por fenómenos meteorológicos extremos (inundaciones, incendios, sequías, aumento de temperaturas)? y en caso de ser así ¿De qué forma?
- ¿Cómo han respondido? ¿Su organización ha podido resolverlos de forma independiente (en términos técnicos y financiero)? O ¿Contaron con ayuda externa? ¿De qué instituciones? ¿Qué tan efectivo fue el apoyo?
20. ¿Cree que su comunidad está preparada para enfrentar sequías prolongadas en el tiempo? ¿Cómo imaginan la situación del agua en su comunidad en los próximos 5 a 10 años?
 21. ¿Qué soluciones visualizan como Comité para estar más preparados a los impactos de la sequía y el cambio climático en su territorio? ¿Qué acciones han impulsado o esperan impulsar en los próximos años?, ¿consideran acciones para reducir las brechas de género que produce la sequía?
- D. Aspectos legales e institucionales**
22. ¿Cuáles han sido los principales cambios que han experimentado con la implementación de la Ley 20.998 que regula los Servicios Sanitarios Rurales (2017) en la gestión del SSR, antiguamente APR?
 23. ¿Su SSR cuenta con derechos de agua?

24. ¿Su SSR está en condiciones de obtener o renovar la licencia exigida por la Ley?
 25. ¿La institución ha recibido apoyo técnico o financiero desde el Estado, desde la promulgación de la Ley SSR año 2017?, ¿en qué ha consistido este apoyo?

26a. Si la respuesta anterior es afirmativa: Además del subsidio estatal, ¿Qué otras fuentes de financiamiento han logrado gestionar?
 26b. Si la respuesta es negativa: ¿cuentan con apoyo financiero de otras instituciones? ¿Cómo se ha gestado ese apoyo?

E. Redes de Apoyo

27. ¿Su SSR participa de organizaciones de usuarios de agua (Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Canalistas o Comunidades de Aguas y Comunidades de agua subterráneas)?
 28. ¿Participan o han participado en proyectos, colaboraciones con universidades u otras instituciones?
 29. ¿En su comunidad, existen organizaciones comunitarias activas (Juntas de vecinos, comités de agua, agrupaciones ambientales) interesadas en temas de agua y medio ambiente?
 30. ¿Qué tipo de alianzas (con municipios, ONG, servicios públicos) creen que podrían apoyar posibles soluciones basadas en la naturaleza?¹¹

¹¹ *Son formas de enfrentar problemas (como la falta de agua o el cambio climático) usando la misma naturaleza, por ejemplo: protegiendo humedales, plantando árboles o recuperando nacientes de agua.*

F. Capacidad organizacional

31. ¿Cómo está conformada su organización? ¿Cuáles son los roles dentro de su organización?, ¿hay una representatividad equitativa entre hombres y mujeres en las tomas de decisión de la organización?
 32. ¿Dentro de la directiva y/o los usuarios, sabe si existen personas que se reconozcan pertenecientes a pueblos indígenas?
 33. ¿Cada cuánto tiempo hay cambio de directiva? ¿Los socios participan activamente en el proceso de elección?
 34. ¿Se realizan reuniones o asambleas con los socios? ¿Cada cuánto tiempo? ¿Qué temas se abordan? ¿Cuáles son los temas relevantes para sus socios? ¿Cómo los aborda la directiva?
 35. En relación al sistema de pago del servicio, ¿a los socios se les envía una cuenta mensualmente por el consumo de agua potable?
 36. Pensando en el funcionamiento de su organización, ¿cuáles cree que son sus fortalezas (que funciona adecuadamente)? ¿Y sus debilidades o aspectos a mejorar?
 37. ¿Cuenta con personal capacitado o ha recibido capacitaciones recientemente?
 38. Respecto del fortalecimiento de capacidades del SSR, ¿en qué áreas considera que se requiere mayor capacitación?¹²

G. Soluciones basadas en la Naturaleza

39. ¿Conocen o han escuchado sobre prácticas comunitarias que ayuden a cuidar el agua usando la naturaleza (por ejemplo, reforestar, proteger humedales, conservar vegetación nativa)?
 40. ¿Qué acciones naturales o tradicionales se han practicado en su comunidad para cuidar los nacimientos de agua o mantener la calidad y disponibilidad de agua?
 41. ¿Cree que la comunidad estaría dispuesta a participar en iniciativas de restauración o protección de cuencas? ¿Qué condiciones facilitarían esa participación?
 42. ¿Qué rol cumplen actualmente los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) en la protección de fuentes de agua?
 43. ¿Qué tipo de apoyo o conocimientos necesitarían para implementar medidas de protección del agua basadas en la naturaleza?
 44. ¿Qué tipo de soluciones les gustaría explorar o implementar para asegurar agua en el futuro (captación de lluvia, reforestación, cuidado de humedales, otras)?
 45. ¿Hay lugares específicos dentro de la comunidad que identifiquen como críticos para proteger (nacimientos, esteros, humedales)?
 46. ¿Les gustaría recibir formación o talleres prácticos sobre soluciones naturales para proteger el agua? ¿De qué tipo?

Al finalizar la entrevista preguntar:

¿Desea realizar algún comentario adicional respecto de la problemática de escasez hídrica en su comunidad? ¿A quién cree usted que es relevante que se le envíe una encuesta para levantar el escenario global de SSR en Chiloé? (solicitar Contactos)

PAUTAS PARA RECORRIDO GUIADO (walk alongs)

Realizar recorridos en terreno con referentes de la comunidad para identificar y valorar el ecosistema vinculado a los SSR, funcionamiento, observación de infraestructura y organización en el territorio (con enfoque etnográfico).

Observar e indagar información respecto a:

- Tipo de infraestructura en general
- Infraestructura de saneamiento
- Pozo o Bocatoma (según corresponda)
- Estabilidad eléctrica: ¿cómo es el suministro eléctrico? ¿Es constante?
- Sacar fotografías de las placas de los equipos, la caseta donde se encuentran los equipos, la salida del caudal para la distribución del agua potable.

A partir de la información cualitativa levantada mediante este instrumento se identificaron variables asociadas a la dependencia de las fuentes hídricas, la vulnerabilidad operativa del sistema, la variabilidad de la demanda, la capacidad institucional y organizacional de los comités, las redes de apoyo existentes y las oportunidades de implementación de soluciones basadas en la naturaleza. Estas variables fueron posteriormente traducidas en indicadores sistematizables utilizados en el análisis de vulnerabilidad climática de los SSR (tabla 46).

Tabla 46. Vinculación entre dimensiones de vulnerabilidad, variables e indicadores derivados de la pauta de entrevistas

Dimensión	Variable analizada	Indicador	Ámbito de la pauta de entrevistas
Sensibilidad (S)	Dependencia de la fuente hídrica	Frecuencia de cortes por escasez	Disponibilidad de agua
Sensibilidad (S)	Dependencia de abastecimiento externo	Uso de camiones aljibe	Disponibilidad de agua
Sensibilidad (S)	Tipo de fuente de agua	Fuente de abastecimiento superficial o subterránea	Disponibilidad de agua
Sensibilidad (S)	Vulnerabilidad operativa del sistema	Existencia de fallas técnicas recurrentes	Continuidad del suministro
Sensibilidad (S)	Infraestructura del sistema	Existencia de infraestructura de respaldo	Continuidad del suministro
Sensibilidad (S)	Nivel de tecnificación del sistema	Existencia de infraestructura de potabilización y monitoreo	Calidad del agua
Sensibilidad (S)	Exposición a eventos extremos	Afectación del servicio por eventos climáticos extremos	Continuidad del suministro
Sensibilidad (S)	Demanda hídrica territorial	Aumento estacional de la demanda por población flotante	Disponibilidad de agua
Capacidad Adaptativa (CA)	Capacidad institucional	Regularización legal del sistema	Aspectos legales e institucionales

Capacidad Adaptativa (CA)	Seguridad jurídica del agua	Existencia de derechos de agua	Aspectos legales e institucionales
Capacidad Adaptativa (CA)	Apoyo institucional	Acceso a apoyo técnico o financiero del Estado	Aspectos legales e institucionales
Capacidad Adaptativa (CA)	Capacidad organizacional	Frecuencia de realización de asambleas	Capacidad organizacional
Capacidad Adaptativa (CA)	Gobernanza interna	Nivel de participación de socios en la gestión	Capacidad organizacional
Capacidad Adaptativa (CA)	Renovación organizacional	Rotación de la directiva	Capacidad organizacional
Capacidad Adaptativa (CA)	Capacidades técnicas	Existencia de capacitación para la gestión del sistema	Capacidad organizacional
Capacidad Adaptativa (CA)	Redes de apoyo	Participación en organizaciones de usuarios de agua	Redes de apoyo
Capacidad Adaptativa (CA)	Articulación interinstitucional	Colaboración con universidades u otras instituciones	Redes de apoyo
Capacidad Adaptativa (CA)	Protección ecosistémica	Existencia de acciones de protección de fuentes de agua	Soluciones basadas en la naturaleza
Capacidad Adaptativa (CA)	Conocimiento de SbN	Nivel de conocimiento sobre soluciones basadas en la naturaleza	Soluciones basadas en la naturaleza
Capacidad Adaptativa (CA)	Disposición comunitaria	Participación potencial en iniciativas de restauración	Soluciones basadas en la naturaleza
Capacidad Adaptativa (CA)	Gestión territorial del agua	Identificación de zonas críticas para la regulación hídrica	Soluciones basadas en la naturaleza

La tabla anterior, sintetiza la relación entre los ámbitos temáticos abordados en la pauta de entrevistas, las variables analizadas y los indicadores utilizados en el análisis de vulnerabilidad climática de los Servicios Sanitarios Rurales, asegurando la trazabilidad metodológica entre el levantamiento cualitativo de información y la construcción de indicadores utilizados en la investigación.

La pauta de entrevistas no solo permitió levantar información diagnóstica sobre el funcionamiento de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR), sino que también cumplió un rol estratégico en la construcción del análisis de vulnerabilidad desarrollado en esta investigación. En particular, facilitó la incorporación de conocimiento local en la identificación y selección de indicadores, integró la percepción comunitaria respecto de la escasez hídrica y el cambio climático, permitió reconocer dimensiones relevantes vinculadas a género y gobernanza en la gestión del agua, y contribuyó a identificar oportunidades para la implementación de soluciones basadas en la naturaleza orientadas a la protección de las fuentes hídricas. En el contexto de la Isla Grande de Chiloé, donde los SSR presentan una alta heterogeneidad en términos de tamaño, infraestructura y capacidad organizativa, este instrumento permitió capturar elementos estructurales, sociales y territoriales que complementaron y enriquecieron el análisis cuantitativo de riesgo hidroclimático desarrollado en la tesis.