



**Universidad de Concepción
Facultad de Ciencias Ambientales
Ingeniería Ambiental**

***Factores de riesgo en salud para comunidades atendidas por el
Servicio Sanitario Rural de Huallerehue, en el contexto de la
Crisis Climática.***

Habilitación presentada para optar al título de

Ingeniera Ambiental

Javiera Ignacia Gaete Rojas

Profesor Guía:

Dra. Ana Baeza Freer

Dra. Patricia González Sánchez

CONCEPCIÓN (Chile), 2025.

***Factores de riesgo en salud para comunidades atendidas por el
Servicio Sanitario Rural de Huallerehue, en el contexto de la
Crisis Climática.***

Habilitación presentada para optar al título de

Ingeniera Ambiental

Alumna: Javiera Ignacia Gaete Rojas

Profesor guía: Dra. Ana Baeza Freer
Dra. Patricia González Sánchez

Profesor(a) comisión: Dr. Alfred Rossner Campos
Dra. Marcela Salgado Vargas

CONCEPCIÓN (Chile), 2025

“FACTORES DE RIESGO EN SALUD PARA LAS COMUNIDADES ATENDIDAS POR EL SERVICIO SANITARIO RURAL HUALLERHUE, EN EL CONTEXTO DE LA CRISIS CLIMÁTICA”

Profesor Guía: Dra. Carolina Baeza Freer



Profesor Guía: Dra. Patricia González Sánchez



Profesor Comisión: Dra. Marcela Salgado Vargas



CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad : (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima (En Escala de 5,7 a 7,0)

Concepción, 03 noviembre 2025

Índice de contenido

AGRADECIMIENTOS	10
Resumen	11
1 Introducción	13
1.1 Problemática	13
1.2 Pregunta de investigación	15
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Objetivo general.....	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	15
2 Marco teórico.....	16
2.1 Crisis climática y salud pública	16
2.2 Gestión del riesgo en agua y salud	17
2.2.1 Factores de riesgo en salud	18
2.2.2 Planes de Seguridad del Agua	19
2.3 Servicios Sanitarios.....	21
2.3.1 Servicio sanitario en Chile	24
3 Metodología.....	26
3.1 Área de estudio	26
3.2 Metodología.....	27
3.2.1 Metodología para el logro del OE-1: Caracterizar social, ambiental y técnicamente el Servicio Sanitario Rural de Huallerehue.....	27
3.2.2 Metodología para el logro del OE-2: Determinar los principales factores de riesgos que enfrenta el SSR de Huallerehue en la Comuna de Santa Juana	32

3.2.3	Metodología para el logro del OE-3: Analizar los factores de riesgos en salud del Servicio Sanitario Rural de Huallerehue, frente a la crisis climática	34
4	Resultados y discusión	39
4.1	Caracterización del Servicio Sanitario Rural Huallerehue	39
4.1.1	Proceso de producción de agua potable del SSR Huallerehue	40
4.1.2	Cantidad y consumo de agua potable	42
4.1.3	Cuenca aportante al SSR.....	45
4.1.4	Condiciones hidroambientales de la localidad de Huallerehue	47
4.1.5	Calidad de agua en la localidad de Huallerehue	53
4.1.6	Encuesta a operarios de del SSR Huallerehue	62
4.1.7	Cartografía participativa en SSR Huallerehue	63
4.2	Factores de riesgo en salud pública	66
4.3	Análisis de factores de riesgo en salud presentes en el SSR Huallerehue, en el contexto del escenario climático	72
4.3.1	Escenario climático para la localidad de Huallerehue.....	72
4.3.2	Análisis institucional de los factores de riesgo.....	75
4.3.3	Análisis de factores de riesgo por nivel de preocupación	78
5	Conclusiones.....	84
6	Contribución a los ODS.....	86
7	Agradecimientos	87
8	Bibliografía	88
9	Anexo	95

Índice de tablas

Tabla 1: Efectos de la crisis climática en la salud y agua.	17
Tabla 2: Definiciones para factores de riesgo.	18
Tabla 3: Eventos peligrosos y peligros identificados en sistemas de agua potable según la metodología de los PSA.	21
Tabla 4: Resumen de la revisión bibliográfica sobre los impactos de la crisis climática en los SS del mundo.	23
Tabla 5: Características del Comité de Agua Potable Rural Huallerehue.	27
Tabla 6: Lista de chequeos de factores de riesgo para el SSR de Huallerehue.	34
Tabla 7: Amenazas proyectadas en función de indicadores ARClím para la localidad de Huallerehue.	35
Tabla 8: Nivel de preocupación de los factores de riesgo identificadas.	37
Tabla 9: Clasificación de pendiente para la localidad de Huallerehue según clasificación SAG, 2016.	48
Tabla 10: Resultados de parámetros fisicoquímicos in situ medidos en agua superficial sin tratamiento medida en terreno, realizado el 21 de enero 2025.	58
Tabla 11: Resultados parámetros fisicoquímicos en agua superficial sin tratamiento medidas en terreno, realizado el 21 de enero 2025.	59
Tabla 12: Resultados de otros parámetros críticos en agua superficial sin tratamiento medidas en terreno, realizado el 21 de enero 2025.	59
Tabla 13: Medición en red de cloro residual y turbidez, realizado el 21 de enero 2025.	62
Tabla 14: Distribución de los factores de riesgo en salud identificados en el SSR Huallerehue según componente del sistema, con respecto a la lista de chequeos aplicada.	67

Tabla 15: Comentarios de operarios sobre factores de riesgo en salud, organizados por dimensión del sistema	71
Tabla 16: Identificación de las amenazas climáticas para la localidad de Huallerehue	73
Tabla 17: Amenazas proyectadas para la localidad de Huallerehue.....	74
Tabla 18: Distribución de factores por nivel de preocupación, por institución	78
Tabla 19: Ejemplos de factores de riesgo con mayor preocupación para las 3 instituciones	80
Tabla 20: Nivel de preocupación asignado por el SSR a los 15 factores de riesgo priorizados, por componente	82
Tabla 21: Contribución de la investigación a los ODS	86

Índice de figuras

Figura 1: Área de estudio de la localidad de Huallerehue.....	26
Figura 2: Mapa base utilizado como apoyo para la aplicación de la cartografía participativa en la localidad de Huallerehue.	31
Figura 3: Matriz de evaluación participativa para la priorización de factores de riesgo en salud frente a amenazas climáticas en el SSR Huallerehue.....	35
Figura 4: Distribución etaria de la población de Huallerehue según Censo 2017.....	39
Figura 5: Diagrama de proceso del sistema, elaborado a partir de información proporcionada por el comité del SSR Huallerehue, según la metodología de PSA.....	41
Figura 6: Consumo mensual de agua potable (m ³ /mes) del año 2008 a 2021.	42
Figura 7: Porcentaje de agua no contabilizada mensual entre 2008 a 2022.	45
Figura 8: Cuenca aportante a partir de punto de captación del SSR Huallerehue.....	46
Figura 9: Clasificación de la pendiente del terreno en Huallerehue	47
Figura 10: Subuso de suelo en la localidad de Huallerehue.	49
Figura 11: Cobertura vegetal (NDVI) de Huallerehue en (a)marzo de 2017, (b) marzo de 2021, (c) marzo de 2023 y (d) marzo de 2024.	52
Figura 12: Nivel de turbidez histórica en Huallerehue.....	54
Figura 13: Puntos de toma de muestras de verano de cloro residual y turbidez en red, realizado el 21 de enero 2025.	61
Figura 14: Cartografía participativa de la localidad de Huallerehue, realizada el 4 de junio de 2025.....	64
Figura 15: Clasificación de los factores de riesgo identificados en el SSR Huallerehue según su ocurrencia percibida	68

Figura 16: Distribución de los factores de riesgo identificados en el SSR Huallerehue según el tipo de peligro	70
Figura 17: Factores de riesgo asociados a amenazas climáticas por componentes según SEREMI de Salud de la Región del Biobío	75
Figura 18: Factores de riesgo asociados a amenazas climática por componente según DIRPLAN, SEREMI MOP de la Región del Biobío	76
Figura 19: Factores de riesgo asociados a amenazas climática por componente según DOH, SEREMI MOP de la Región del Biobío	77

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi pareja y amistades, por acompañarme, sostenerme y brindarme su apoyo incondicional durante este proceso. Sus consejos, paciencia y cariño hicieron más ameno y llevadero el camino de escribir esta tesis, dándome siempre la motivación necesaria para continuar.

A mis padres, por darme la oportunidad de creer en mí, por su apoyo incondicional y por entregarme el espacio para desenvolverme libremente. Gracias a su confianza y amor he podido alcanzar cada etapa de mi vida académica y personal con seguridad y convicción.

Al Comité de Agua Potable Rural de Huallerehue, por abrirme sus puertas y colaborar en cada instancia de este trabajo. Sin su disposición y compromiso, nada de esta investigación habría sido posible.

A los funcionarios y docentes de la Facultad de Ciencias Ambientales, quienes contribuyeron a mi proceso académico con orientación, disposición y compromiso, enriqueciendo mi aprendizaje y entregándome las herramientas necesarias para desarrollarme como Ingeniera Ambiental.

Finalmente, a la profesora Carolina y a Natalia, por acompañarme en cada etapa de esta investigación. Gracias por confiar en mí, por aconsejarme y por brindarme la oportunidad de trabajar junto a ustedes. Su apoyo académico y humano fue clave para concretar este proyecto y para seguir creyendo en el valor de aportar a las comunidades rurales.

Resumen

El presente estudio analizó los factores de riesgo en salud de la comunidad atendida por el Servicio Sanitario Rural (SSR) de Huallerehue, en la comuna de Santa Juana, en el contexto de la crisis climática. El enfoque metodológico se basó en la caracterización social, ambiental y técnica del sistema, la identificación de peligros y eventos peligrosos según la metodología de los Planes de Seguridad del Agua (PSA) y la evaluación participativa de riesgos junto a actores institucionales y locales.

La caracterización evidenció limitaciones estructurales y operativas en el SSR, asociadas a la calidad de la fuente superficial de abastecimiento, la vulnerabilidad a fenómenos extremos y la insuficiencia de infraestructura de almacenamiento y tratamiento. El análisis histórico de consumo y calidad del agua mostró variaciones significativas en la suficiencia y continuidad del servicio, acentuadas en periodos de mayor demanda estival. Asimismo, los resultados del muestreo y de la fiscalización sanitaria confirmaron riesgos vinculados a turbidez, coliformes y metales, que podrían comprometer la seguridad del suministro.

En paralelo, la identificación de factores de riesgo permitió sistematizar amenazas relacionadas con la cuenca, la captación, la operación y la gestión del servicio. Estas fueron evaluadas bajo un escenario climático local definido a partir de indicadores del Atlas de Riesgo Climático (ARClím), que proyecta un aumento en la frecuencia e intensidad de sequías, olas de calor e incendios forestales. Dichas amenazas se vincularon con la afectación de la continuidad del suministro, la exposición de la población a contaminantes y el incremento de la carga operativa del sistema.

El proceso de evaluación participativa con instituciones (SEREMI, DOH, DIRPLAN) y con el comité de agua permitió priorizar 15 factores de riesgo prioritarios con el SSR, destacando aquellos asociados a fallas de desinfección, deficiencias en la infraestructura, contaminación microbiológica y presión sobre la fuente de captación. El consenso alcanzado mostró que la crisis climática intensifica la vulnerabilidad del SSR y aumenta el nivel de preocupación frente a riesgos que afectan directamente la salud pública.

Se concluye que la integración de la gestión comunitaria con herramientas técnicas como los Planes de Seguridad del Agua resulta clave para fortalecer la resiliencia de los sistemas rurales. Este trabajo constituye un aporte metodológico replicable en otros SSR, al combinar información

territorial, análisis técnico y conocimiento local para la evaluación de riesgos sanitarios en escenarios climáticos adversos.

1 Introducción

1.1 Problemática

Las zonas rurales en Chile son especialmente vulnerables a la escasez hídrica, intensificada por sequías prolongadas y por la priorización del agua hacia actividades agrícolas y forestales. Esta situación limita el acceso de las comunidades al agua potable, con consecuencias directas sobre la salud y el bienestar (WHO, 2017a). Un estudio de Amulén (2019) revela que el 22 % de las interrupciones en el suministro de agua potable en Chile se atribuyen a la sequía. El sector sanitario rural enfrenta, además, desafíos estructurales asociados a baja cobertura, problemas de calidad del agua y dificultades de gestión por factores geográficos, demográficos y económicos. A ello se suma el dilema financiero de equilibrar la asequibilidad de las tarifas con la necesidad de cubrir los costos operacionales (SISS, 2018).

En la Región del Biobío estas problemáticas se expresan con particular intensidad. Aunque existen 185 SSR registrados, persisten limitaciones de cobertura y una dependencia significativa de sistemas informales o provisionales, especialmente en comunas con alta dispersión territorial como Santa Juana (SISS, 2022). La región ha enfrentado fenómenos climáticos extremos que han intensificado la escasez hídrica, tales como sequías prolongadas, disminución de precipitaciones y sobreexplotación de fuentes subterráneas (Infraestructura Pública, 2024). A ello se agrega la dependencia de soluciones de emergencia como el abastecimiento mediante camiones aljibe, estrategia que no garantiza la continuidad ni la calidad del recurso en el largo plazo (Amulén, 2019).

En la comuna de Santa Juana estas condiciones se han visto agravadas tras los incendios forestales de 2023. Según la Dirección de Desarrollo Comunitario, más de 1.600 personas reciben agua mediante camiones aljibe a través del Programa de Déficit Hídrico, cifra que aumentó considerablemente luego de estos eventos, los cuales no solo devastaron ecosistemas y viviendas, sino que también dañaron infraestructura sanitaria, ocasionando la pérdida de estanques, captaciones y redes de distribución. Tal como señaló Ariel Ríos, director de Desarrollo Comunitario en Santa Juana, “son personas que antes del incendio no tenían problemas de abastecimiento de agua, pero que producto del incendio perdieron todos sus sistemas y herramientas de abastecimiento y han tenido que depender de los camiones. Hoy el doble de personas está viviendo esta problemática” (Romero, 2023). A esto se suman episodios de contaminación registrados en la zona, como la detección de niveles elevados de arsénico en 2021 en un sistema de abastecimiento que atendía a 29 familias, lo que obligó a suspender

temporalmente el consumo humano (Cooperativa, 2021). Estos hechos evidencian las limitaciones técnicas en la operación de los SSR locales y la insuficiencia de mecanismos de control para prevenir la exposición de la población a contaminantes químicos, como el arsénico.

Como consecuencia, un número considerable de familias que previamente disponían de abastecimiento regular de agua ya sea a través de SSR u otras formas comunitarias, ha debido incorporarse al sistema de emergencia, incrementando sustancialmente la demanda sobre un esquema logístico ya limitado. Según Ariel Ríos, director de Desarrollo Comunitario, “son personas que antes del incendio no tenían problemas de abastecimiento de agua, pero que producto del incendio perdieron todos sus sistemas y herramientas de abastecimiento y han tenido que depender de los camiones. Hoy el doble de personas está viviendo esta problemática” (Romero, 2023)

Santa Juana es una comuna rural ubicada a 50 km de Concepción, con una superficie de 73.100 ha, de las cuales el 98,5 % corresponde a zonas rurales. Su población asciende a 13.749 habitantes, de los cuales un 30,2 % vive en sectores rurales, cifra muy superior al promedio nacional de ruralidad de 12,2 % (INE, 2017). En este contexto, la localidad de Huallerehue constituye un caso paradigmático para analizar los factores de riesgo asociados al acceso al agua potable rural en el marco de la crisis climática. La combinación de vulnerabilidad estructural, exposición a eventos extremos y déficit de gestión operacional refuerza la necesidad de aplicar enfoques integrales de evaluación y prevención, como los Planes de Seguridad del Agua (PSA).

1.2 Pregunta de investigación

En este contexto, surge la pregunta de investigación de ¿Qué factores de riesgo asociados a salud pública del Servicio Sanitario Rural de Huallerehue son de mayor preocupación en el contexto de la crisis climática?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar los factores de riesgo en la salud de la comunidad atendida por el Servicio Sanitario Rural Huallerehue, en el contexto de la crisis climática en la comuna de Santa Juana.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar social, ambiental y técnicamente el Servicio Sanitario Rural de Huallerehue de acuerdo con el Plan de seguridad del agua.
- Determinar los principales factores de riesgo que enfrenta el Servicio Sanitario Rural de Huallerehue.
- Determinar los factores de riesgos en salud del Servicio Sanitario Rural de Huallerehue, frente a la crisis climática.

2 Marco teórico

2.1 Crisis climática y salud pública

La crisis climática se entiende como una situación de emergencia global asociada a las alteraciones sostenidas del clima y sus impactos en sistemas naturales y sociales, lo que genera riesgos en la salud, la seguridad hídrica y la estabilidad de las comunidades (PNUD, 2023).

La Organización Mundial de la Salud (2023a) distingue dos categorías de manifestaciones de la crisis climática. La primera corresponde a los eventos extremos o climate shocks, que incluye a las olas de calor, inundaciones, tormentas e incendios forestales. La segunda corresponde a los cambios graduales o climate stress, como el aumento sostenido de la temperatura media, la disminución de la disponibilidad hídrica y el ascenso del nivel del mar. Ambos fenómenos impactan de manera directa e indirecta en la salud de las personas, ya sea a través de la exposición a contaminantes, el deterioro de la calidad del agua, la propagación de enfermedades o la afectación de infraestructuras sanitarias. La *Tabla 1* resume cómo las manifestaciones de la crisis climática, en interacción con distintos factores de vulnerabilidad, se traducen en impactos tanto en el agua como en la salud.

En América Latina, la OPS ha advertido que las comunidades rurales presentan mayor vulnerabilidad frente a la crisis climática, dado que dependen de manera directa de los recursos naturales y disponen de menor acceso a servicios básicos, incluyendo el agua potable y el saneamiento. Lo que refuerza la necesidad de considerar a estas comunidades como grupos prioritarios en la evaluación de impactos y en las estrategias de adaptación (OPS, 2021a).

Tabla 1: Efectos de la crisis climática en la salud y agua.

Manifestación climática	Factor de vulnerabilidad	Impacto en recurso hídrico	Impactos en salud pública
Eventos climáticos extremos	Demográfico	<ul style="list-style-type: none"> Menor disponibilidad de agua 	<ul style="list-style-type: none"> Enfermedades relacionadas al calor
	Geográfico		
	Sociopolítico	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de patógenos Aumento en la formación de floraciones de cianobacterias Daño en la infraestructura Intrusión salina en acuíferos de agua dulce 	<ul style="list-style-type: none"> Enfermedades respiratorias Enfermedades transmitidas por el agua Enfermedades mentales Inseguridad alimentaria Exacerbación de enfermedades crónicas
	Infraestructura		
	Amenazas ambientales		

Fuente: IPCC (2022), WHO (2021).

2.2 Gestión del riesgo en agua y salud

La gestión del riesgo en el ámbito del agua y la salud constituye un eje fundamental para anticipar, reducir y controlar las amenazas que pueden afectar la seguridad hídrica de la población. Desde la perspectiva de la salud pública, el riesgo se entiende como la probabilidad de ocurrencia de efectos adversos asociados a la exposición de un peligro, considerando tanto su magnitud como las condiciones de vulnerabilidad existentes (WHO, 2017b).

El concepto de gestión del riesgo ha sido trabajado en distintos campos de investigación, como la ingeniería, las ciencias ambientales y la economía, pero en el ámbito del agua y la salud ha alcanzado un desarrollo particular a partir de los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS). En sus Guidelines for Drinking-water Quality se establecen principios orientados a la identificación de peligros, la evaluación de riesgos y la implementación de medidas de control a lo largo de toda la cadena de abastecimiento, desde la fuente de captación hasta el consumo humano (WHO, 2017b).

La gestión del riesgo en agua potable se centra en prevenir la contaminación de las fuentes, asegurar la eficacia de los procesos de tratamiento y resguardar la calidad durante la distribución. Al integrar la evaluación de riesgos como eje metodológico, este enfoque permite anticipar escenarios de amenaza y fortalecer la seguridad del suministro en beneficio de la salud pública (WHO, 2023c).

En este contexto, la gestión del riesgo aplicada al constituye la base para avanzar desde una visión general de las amenazas hacia la identificación de los factores específicos que pueden comprometer la seguridad hídrica y sanitaria de una comunidad.

2.2.1 Factores de riesgo en salud

Los factores de riesgo en salud permiten comprender las condiciones que incrementan la probabilidad de aparición de enfermedades o de deterioro en la calidad de vida. Sin embargo, adquieren especial importancia en comunidades rurales, donde la limitada infraestructura de abastecimiento, la escasez de sistemas de monitoreo y la alta exposición a amenazas naturales o antrópicas aumentan la vulnerabilidad de la población. Estas características hacen que los riesgos vinculados al agua se expresen con mayor intensidad y frecuencia en dichos territorios (OPS, 2021a; Solís & Serebrisky, 2023).

Diversos organismos internacionales han definido los factores de riesgo desde distintas perspectivas, coincidiendo en que corresponden a condiciones que contribuyen o se asocian a la aparición de problemas de salud. La *Tabla 2* reúne tres definiciones representativas que permiten observar estas diferencias conceptuales.

Tabla 2: Definiciones para factores de riesgo.

Fuente	Definición
Organización Mundial de la Salud. (WHO, 1998)	Condiciones sociales, económicas o biológicas, conductas o ambientes que están asociados con o causan un incremento de la susceptibilidad para una enfermedad específica, una salud deficiente o lesiones.
National Institutes of Health. (NIH, 2023)	Definen un riesgo para la salud como “la posibilidad o probabilidad de que algo dañe o afecte de alguna manera su salud”. Además, incluyen que “varias características, llamadas factores de riesgo, afectan el hecho de que su riesgo de desarrollar problemas de salud sea alto o bajo”.
Organización Mundial de la Salud. (WHO, 2023c)	Factores de riesgo se entienden como la combinación de peligros (agentes biológicos, químicos, físicos o radiológicos) y eventos peligrosos (situaciones o condiciones que podrían introducir dichos peligros en el sistema), los cuales, de acuerdo con la metodología de los Planes de Seguridad del Agua (OMS, 2023), tienen el potencial de afectar adversamente la calidad, la continuidad o la disponibilidad del suministro, y con ello, generar impactos negativos en la salud pública de la población abastecida.

Estas definiciones muestran cómo el concepto ha transitado desde una visión centrada en factores individuales o ambientales hacia enfoques más integrados, que consideran no solo la exposición a agentes peligrosos, sino también las condiciones estructurales, operativas e institucionales de los sistemas de agua. Particularmente, la definición de la OMS (2023) vincula directamente los factores de riesgo con el suministro de agua potable, al destacar que estos no dependen únicamente de la presencia de agentes biológicos, químicos o físicos, sino también de los procesos y condiciones que permiten su ingreso o persistencia dentro del sistema.

En esta investigación, los factores de riesgo serán entendidos como condiciones o eventos de origen técnica, ambiental, operativa o social que tienen el potencial de afectar negativamente la calidad, continuidad o disponibilidad del agua potable, y con ello, la salud de la comunidad que hace uso de esta. Esta definición responde a un enfoque integrador que incorpora tanto determinantes estructurales como procesos territoriales y climáticos que aumentan la exposición y la vulnerabilidad de los sistemas rurales frente a eventos extremos o al deterioro progresivo de las fuentes de agua. La identificación de estos factores constituye la base metodológica para la aplicación de los Planes de Seguridad del Agua (PSA), herramienta que se aborda en el siguiente apartado como marco de gestión para reducir riesgos y proteger la salud.

2.2.2 Planes de Seguridad del Agua

Los Planes de Seguridad del Agua (PSA) son el principal enfoque internacional para garantizar agua segura de consumo humano. Tienen un carácter integral y preventivo, pues consideran todas las etapas del sistema desde la captación hasta el consumo. Desde 2004 se han consolidado como la referencia central para proteger la salud pública, incluidos los sistemas rurales (WHO, 2017b; WHO, 2023c).

El enfoque de los PSA se estructura en torno a un ciclo de mejora continua que comprende las siguientes etapas: (1) conformación de un equipo multidisciplinario, (2) descripción del sistema de agua, (3) identificación de peligros y evaluación de riesgos, (4) determinación y validación de medidas de control, (5) vigilancia operacional, (6) planes de acción correctiva, (7) verificación, y (8) revisión y documentación. Este modelo permite identificar vulnerabilidades específicas en cada etapa del sistema (captación, tratamiento, almacenamiento y distribución), evaluando tanto riesgos microbiológicos como químicos, físicos y estructurales (Bartram et al., 2009).

La identificación de peligros y eventos peligrosos constituye uno de los pasos fundamentales para asegurar la inocuidad y continuidad del suministro de agua potable en la implementación

de PSA. Este proceso corresponde a la primera etapa del análisis de riesgos, y tiene por objetivo detectar y describir todos aquellos elementos, condiciones o circunstancias que puedan comprometer la calidad del agua o interrumpir su suministro (WHO, 2004; Bartram et al., 2009).

De acuerdo con la OMS, un peligro corresponde a cualquier agente biológico, químico, físico o radiológico con potencial de causar efectos adversos en la salud humana cuando está presente en el agua. En tanto, un evento peligroso se entiende como una situación, actividad o condición que facilita la introducción, persistencia o propagación de un peligro en el sistema de abastecimiento (WHO, 2017b; WHO, 2023c).

La adecuada identificación de estos elementos requiere una comprensión integral del sistema, considerando tanto los factores técnicos e infraestructurales como los aspectos ambientales, climáticos y sociales del entorno. Este proceso se apoya generalmente en herramientas como visitas a terreno, entrevistas, revisión documental y uso de listas de verificación, muchas veces adaptadas a contextos locales. La identificación debe ser sistemática y no dejar espacios sin evaluar, ya que una omisión puede representar un riesgo no controlado para la salud pública (Howard *et al.*, 2006).

En este contexto, la *Tabla 3* presenta una recopilación de casos documentados en estudios, en los que se ha realizado la identificación de peligros y eventos peligrosos asociados a sistemas de agua potable en contextos tanto rurales como urbanos. Se incluyen ejemplos correspondientes a distintas etapas del sistema, como captación, tratamiento y distribución, lo cual permite visualizar la variedad de amenazas potenciales y los peligros asociados a cada una de ellas. La selección de los casos se realizó en función de su relevancia técnica y geográfica, priorizando estudios en América Latina que aplican la lógica del enfoque preventivo de los PSA.

Esta metodología ha demostrado ser herramientas eficaces en la adaptación al cambio climático. Según la OMS, estos planes no solo mejoran la calidad del agua en condiciones normales, sino que también fortalecen la capacidad de respuesta ante eventos extremos, al establecer medidas preventivas, planes de contingencia y estrategias de monitoreo continuo (WHO, 2023c). Esto es especialmente relevante en comunidades rurales, donde los efectos de la crisis climática se manifiestan en forma de escasez hídrica, pérdida de fuentes confiables, aumento de contaminantes y proliferación de vectores asociados a agua estancada o redes ineficientes, fenómenos ya descritos en la literatura sobre salud y clima en áreas rurales (Dewi et al., 2024).

Tabla 3: *Eventos peligrosos y peligros identificados en sistemas de agua potable según la metodología de los PSA*

Tipo de sistema	Ubicación	Etapas del sistema	Evento peligroso	Peligro	Referencia
Urbano	Salta, Argentina	Tratamiento	Falla en el proceso de coagulación-floculación	Turbidez elevada en el agua tratada	Gatto et al. (2012)
Urbano	Cali, Colombia	Distribución	Crecimiento de biopelícula en las paredes de los tanques	Contaminación biológica	Amézquita et al. (2014)
Rural	Pehuén, Chile	Captación	Ingreso de animales al área de captación	Contaminación microbiológica (E. coli)	Aguilera (2023)
Rural	Pehuén, Chile	Cuenca	Microbasurales	Contaminación del agua y suelo (Infiltración)	Aguilera (2023)

En síntesis, los PSA constituyen una estrategia técnica fundamental para fortalecer la resiliencia de los sistemas de agua potable ante riesgos sanitarios y climáticos. Su implementación requiere no solo apoyo institucional, sino también fortalecimiento de capacidades locales, asistencia técnica continua y financiamiento sostenido (String & Lantagne, 2016).

2.3 Servicios Sanitarios

Los servicios sanitarios (SS), que comprenden el acceso a agua potable segura y a un saneamiento adecuado, constituyen un componente esencial para la protección de la salud pública y el bienestar de las comunidades. No obstante, la crisis climática ha puesto en riesgo los avances alcanzados en esta materia, ya que fenómenos como sequías, inundaciones, incendios forestales y variaciones en el régimen de lluvias han generado presiones adicionales sobre la infraestructura sanitaria, comprometiendo tanto la calidad como la continuidad del suministro (WHO, 2017b; WHO, 2023c).

A nivel internacional, diversos estudios han documentado que la vulnerabilidad de los servicios sanitarios frente a amenazas climáticas varía según el contexto territorial y el tipo de sistema (urbano o rural). La *Tabla 4* sintetiza casos representativos de Europa, América, África y Oceanía,

en los que se identifican impactos asociados al aumento de temperatura y a la variabilidad en los patrones de precipitación, que se traducen en fallas de componentes operativos, disminución en la calidad del agua y mayores restricciones de acceso para la población. Estos hallazgos permiten dimensionar la magnitud del desafío y evidencian que los sistemas rurales suelen ser los más expuestos, debido a su mayor dependencia de fuentes naturales y su limitada capacidad de respuesta frente a emergencias.

Tabla 4: Resumen de la revisión bibliográfica sobre los impactos de la crisis climática en los SS del mundo.

Área de estudio	Tipo de SS	Metodología	Variables climáticas	Impacto(os) identificado(s)	Referencia
EE. UU	Urbano	Modelación y simulación de datos en el periodo de 2020-2050	Aumento de temperatura	<p>Aumento de fallas de componentes del sistema:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unidad de bombeo: 72% • Electricidad: 76% <p>Aumento de interrupciones por fallas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corte agua por ruptura de bombeo: 10% • Incumplir la calidad de agua: 17% 	Bondank <i>et al.</i> , 2018
Alemania	Urbano	Recopilación de datos de 2013-2019 y análisis de muestras.	Aumento de temperatura en suelo y agua.	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución en la calidad del agua por un aumento en la abundancia de invertebrado, nematodos y rotíferos 	Gunkel <i>et al.</i> , 2022
África	Rural	Análisis de casos bibliográficos y proyecciones	Aumento de temperatura y cambio en el patrón de lluvias	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación de agua subterránea por aumento de sedimentos 	Bonsor <i>et al.</i> , 2011
África	Rural	Recolección de datos (entrevistas) y análisis de estos.	Aumento de temperatura y cambio en el patrón de lluvias	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción 30% del nivel del Río y 50% de pozo perforado • Restricción de uso de agua 	Rankoana, 2020
Islas Salomón	Rural	Modelo de sistema a escala y análisis de escenarios.	Cambio en el patrón de lluvias	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la disponibilidad de agua a 2050 de un 10% a 20% • Aparición de vectores por uso de estanque de agua 	Chan <i>et al.</i> , 2020

En este contexto, el suministro de agua potable en áreas rurales requiere una atención especial, dada la dispersión territorial, las limitaciones geográficas, el bajo nivel socioeconómico de las comunidades y la escasa capacidad técnica, administrativa y financiera de los operadores locales (Carrasco, 2011). Estas condiciones explican la brecha persistente entre la cobertura de los servicios urbanos y rurales, y refuerzan la necesidad de marcos de gestión que consideren la particularidad de estos sistemas.

2.3.1 Servicio sanitario en Chile

En Chile, la prestación de servicios sanitarios se organiza en dos categorías principales: urbana y rural. Al año 2022 en la zona urbana, el 96,3 % de los servicios sanitarios son gestionados por empresas privadas bajo régimen de concesión, supervisadas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). La extracción de agua se sustenta en diversas fuentes, con un 56,4 % proveniente de aguas subterráneas, un 42,1 % de fuentes superficiales y un 1,5 % de agua de mar, lo que ha permitido alcanzar una cobertura de agua potable del 99,9 % en todas las áreas urbanas concesionadas (SISS, 2022).

En contraste, el abastecimiento en zonas rurales comenzó con el programa de Agua Potable Rural (APR), establecido en 1964, el cual fue gestionado directamente por las comunidades a través de comités o cooperativas. Dependiendo de la concentración de la población, estos sistemas se clasificaban en concentrados, semiconcentrados o dispersos. Las localidades concentradas se definen como aquellas con una población entre 100 o 150 y 3.000 habitantes y una concentración mínima de 15 viviendas por kilómetro de red de agua potable. Por otro lado, las semiconcentradas se definen como aquellas con un mínimo de 80 habitantes y con al menos ocho viviendas por kilómetro de red proyectada, mientras que las dispersas corresponden a sectores más aislados y de menor densidad (Amulén, 2019).

En 2017 se promulgó la Ley N.° 20.998, que regula los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) y reemplaza la denominación anterior de Agua Potable Rural (APR) e integra la gestión de agua potable y saneamiento en zonas rurales. Esta ley establece que la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) es el organismo encargado de fiscalizar y determinar las tarifas, además de supervisar la calidad y continuidad de los Servicios Sanitarios Rurales (Chile, 2017). A su vez, crea en la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales, unidad responsable de coordinar la ejecución, operación y

fortalecimiento de los sistemas en todo el territorio nacional, asegurando la implementación efectiva del nuevo marco normativo. Posteriormente, el Decreto Supremo N.° 66/2020 del Ministerio de Obras Públicas aprobó el reglamento de la ley, precisando las atribuciones de la SISS y de la DOH en materias de supervisión técnica, administrativa y financiera.

De manera complementaria, la Secretaría Regional Ministerial (SEREMI) de Salud ejerce un rol de fiscalización sanitaria en los SSR, al realizar controles de calidad del agua potable, especialmente en lo relativo a parámetros microbiológicos, fisicoquímicos y de desinfección. Su función es verificar que el recurso entregado a los usuarios cumpla con lo establecido en la normativa vigente (D.S. N.° 735/2010), resguardando así la calidad del agua distribuida.

Hasta el año 2022, se registraron un total de 2.368 sistemas que benefician a más de dos millones de personas en áreas rurales, con 185 de estos sistemas ubicados en la región del Biobío. Sin embargo, a pesar de estos avances, el 47,2% de la población rural aún carece de un abastecimiento formal de agua potable. Esta falta de acceso se concentra principalmente en la macrozona sur, siendo las regiones de la Araucanía (71%) y Biobío (68%) las más afectadas en términos de proporción de población rural sin acceso formal. Por lo que se abastecen a través de fuentes como agua superficial (ríos, vertientes, esteros o lagos), agua subterránea (pozos) y camiones aljibes, en casos donde no hay fuentes superficiales o subterráneas disponibles. (Amulen, 2019).

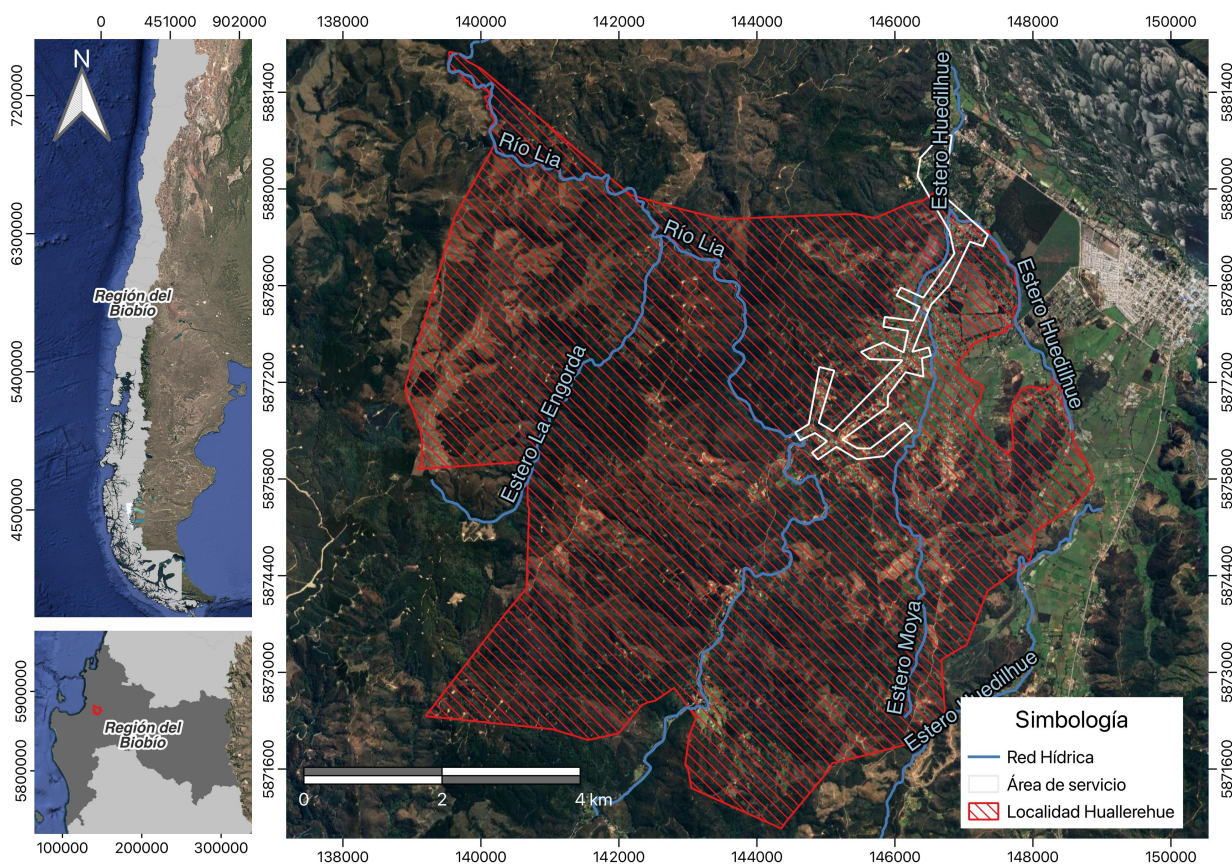
La persistencia de estas brechas en cobertura, calidad y continuidad del abastecimiento demuestra que una parte importante de la población rural sigue expuesta a riesgos sanitarios. Esta situación refuerza la relevancia de avanzar hacia estrategias de gestión del riesgo que integren enfoques preventivos y herramientas técnicas como los Planes de Seguridad del Agua, orientadas a reducir vulnerabilidades y fortalecer la resiliencia de los sistemas rurales frente a la crisis climática.

3 Metodología

3.1 Área de estudio

El área de estudio (ver Figura 1) correspondió al Comité de Agua Potable Rural Huallerehue, emplazado en la comuna de Santa Juana, Región del Biobío, zona precordillerana del centro-sur de Chile. Este sistema fue seleccionado como caso de estudio por presentar características representativas de los desafíos que enfrentan los sistemas rurales frente a la crisis climática, tales como una fuente de captación superficial expuesta a eventos extremos, una comunidad de tamaño reducido y una estructura operativa limitada.

Figura 1: Área de estudio de la localidad de Huallerehue.



Fuente: BCN (2025), IDE (2025) y DOH (2024).

Por su parte, la *Tabla 5* resume la descripción del servicio, incluyendo su año de inicio, número de arranques y tipo de captación. El número estimado de beneficiarios/as fue calculado en base a una proyección de 3,1 personas por arranque, según metodología utilizada por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH, 2021).

Tabla 5: Características del Comité de Agua Potable Rural Huallerehue.

Año de puesta en marcha	1998
N° de Arranques (año 2021)	117
Beneficiarios/as (año 2021)	362.7
Tipo	Concentrado
Captación	Superficial del Río Lia

Fuente: DOH (2021).

3.2 Metodología

3.2.1 Metodología para el logro del OE-1: Caracterizar social, ambiental y técnicamente el Servicio Sanitario Rural de Huallerehue

Para dar cumplimiento a este objetivo, se realizó una caracterización del Servicio Sanitario Rural (SSR) de Huallerehue, con el propósito de comprender tanto el funcionamiento del sistema como las condiciones de la cuenca que lo abastece. Esta caracterización buscó establecer una línea base sobre aspectos sociales, ambientales y operativos, que permitiera contextualizar el análisis posterior de factores de riesgo en salud. Para ello, se emplearon fuentes de información primaria y secundaria, obtenidas mediante revisión documental, análisis espacial y actividades en terreno, desarrolladas entre septiembre de 2024 y junio de 2025.

3.2.1.1 Información documental

La información secundaria se recopiló principalmente desde:

- **Instituto Nacional de Estadísticas (INE):** se analizaron microdatos del Censo 2017 segmentados por entidad rural, con el fin de caracterizar la cantidad de habitantes, viviendas, rangos de edad y fuentes de abastecimiento de agua en el área de cobertura del SSR. Esta información se empleó en la caracterización social, al contextualizar la demanda potencial del servicio, la distribución etaria de la población y las condiciones de acceso de la comunidad al agua potable.
- **Portal de Transparencia de la Seremi de Salud del Biobío:** a inicios de junio de 2025 se solicitó información oficial sobre el SSR de Huallerehue, la cual fue recepcionada a finales del mismo mes. Los antecedentes entregados correspondieron a los informes de fiscalización de calidad de agua realizados al servicio entre 2011 y 2025, e incluyeron resultados de parámetros esenciales, no esenciales, organolépticos, físicos, inorgánicos y microbiológicos. Esta información

aportó insumos para la caracterización operacional, al permitir observar la evolución histórica de la calidad del agua y su grado de cumplimiento con la normativa sanitaria vigente.

- **Biblioteca del Congreso Nacional:** se consultaron antecedentes normativos y demográficos que complementaron la contextualización del sistema en el marco regulatorio chileno, considerando normativas como la Ley N.° 20.998 sobre Servicios Sanitarios Rurales y el D.S. N.° 735/69 del Ministerio de Salud, que establece las normas de calidad del agua potable. Asimismo, se extrajeron mapas vectoriales, incluyendo la división político-administrativa y la red hidrográfica de la Región del Biobío, utilizados como insumo cartográfico base para el análisis espacial.
- **Infraestructura de Datos Espaciales (IDE-Chile):** se extrajo un modelo digital de elevación (MDE) correspondiente a la Región del Biobío, recortado específicamente para el área de estudio. A partir de este insumo se generaron capas de pendiente, red hídrica y delimitación de la cuenca aportante. Además, se aplicó un análisis morfométrico de la pendiente, reclasificando el MDE en tres rangos: baja (0–5%), media (5–30%) y alta ($\geq 30\%$), según los criterios del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG, 2016). Este análisis permitió evaluar cómo la pendiente influye en la escorrentía y en la ocurrencia de deslizamientos, así como su efecto directo sobre la turbidez del agua captada por el SSR, aportando a la caracterización ambiental y operacional del sistema.
- **CONAF (2016):** se utilizaron datos del Catastro de Uso de Suelo y Vegetación para la elaboración de cartografías de cobertura, lo que contribuyó a la caracterización ambiental del territorio.
- **Google Earth Engine:** entre abril y mayo de 2025 se analizaron imágenes satelitales correspondientes a los meses de marzo de 2017, 2021, 2023 (post-incendio) y 2024 mediante la plataforma Google Earth Engine (GEE), un entorno en línea que permite acceder a colecciones de datos satelitales y procesarlos mediante códigos. En este caso, se utilizó un script sencillo en la interfaz de GEE para seleccionar escenas Sentinel-2 y calcular el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés).

El NDVI es un indicador espectral ampliamente utilizado para evaluar la densidad y el estado de la vegetación. Este se calcula a partir de la reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) y el rojo visible (Red), tal como se muestra en la ecuación (1).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

Los valores obtenidos permiten diferenciar áreas con vegetación densa y saludable (valores cercanos a 1) de suelos desnudos o áreas degradadas (valores cercanos a 0 o negativos).

Posteriormente, las escenas procesadas en GEE fueron exportadas y trabajadas en QGIS, donde se organizaron las bandas y se elaboraron las cartografías comparativas entre los periodos pre y post incendio. Este procedimiento permitió generar una representación espacial clara de los cambios en la cobertura vegetal y aportó evidencia para la caracterización ambiental del territorio.

3.2.1.2 Información obtenida en terreno

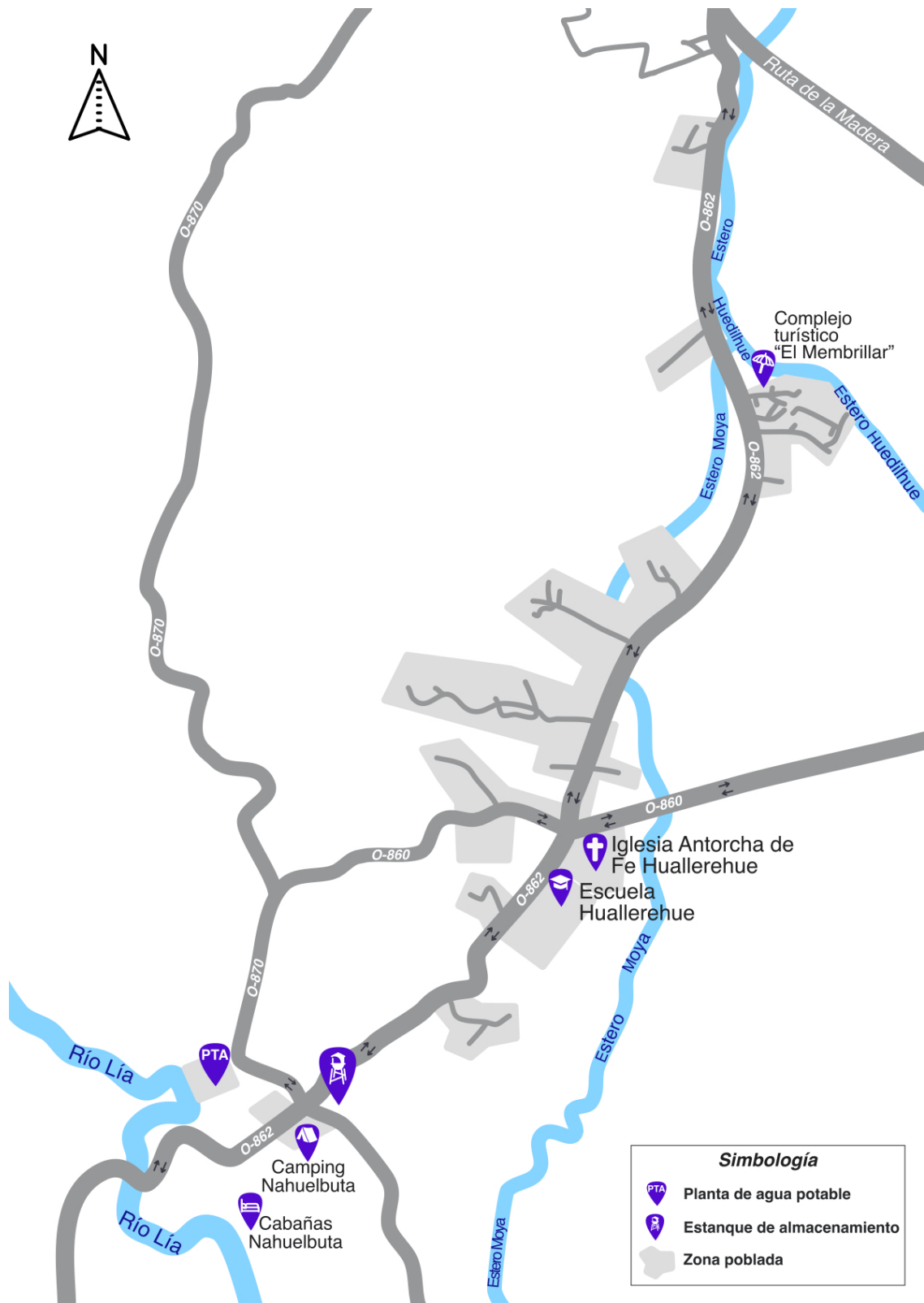
La información primaria se recopiló mediante actividades directas en la localidad:

- **Encuesta a operarios:** el 27 de septiembre de 2024 se aplicó una encuesta a dos operarios del sistema, elaborado por el Proyecto Fondo de Investigación y Desarrollo en Salud (FONIS) SA23I0127 (2023). El levantamiento se orientó a explorar las percepciones sobre la crisis climática, su vínculo con la salud y las medidas adoptadas por el comité, contribuyendo a la caracterización social y operacional del servicio. El consentimiento informado utilizado para la aplicación de la encuesta se encuentra en el *Anexo S*.
- **Visita guiada al SSR:** el 11 de noviembre de 2024 se efectuó un recorrido completo por los diferentes componentes del sistema, acompañado por un operario. Se obtuvo un registro fotográfico (*ver Anexo A*) con el cual se elaboró un diagrama de procesos del servicio. En la misma visita se accedió a los antecedentes históricos disponibles en la oficina del comité, correspondientes al período 2008–2021, que incluyeron datos de producción, consumo de agua del servicio (*ver Anexo B*). Asimismo, se revisaron los informes generados por la empresa BIODIVERSA entre 2014 y 2020, vinculados a muestras de agua cruda y potable. Estos antecedentes

se incorporaron a la caracterización operacional del sistema y complementaron la información documental obtenida.

- **Cartografía participativa:** el 4 de junio de 2025 se realizó una actividad grupal con cinco actores del servicio (un funcionario administrativo, dos operarios y dos representantes de la directiva). Mediante un mapa base (*ver Figura 2*) impreso se identificaron infraestructuras clave, puntos críticos de la red y eventos relevantes de operación, que fueron posteriormente digitalizados. Esta información complementó tanto la caracterización ambiental, operacional como social, al incorporar conocimiento local en la identificación de amenazas.
- **Muestras de agua en captación y red de distribución:** el 21 de enero de 2025 se recolectaron muestras en época estival, tras un episodio de ola de calor. En la captación se midieron parámetros in situ como pH, temperatura, turbidez, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto (*ver Anexo C*). Posteriormente, las muestras recolectadas fueron analizadas en el laboratorio del Centro EULA-UdeC, donde se midió la concentración de metales como hierro y manganeso totales, amonio y nitratos, además de coliformes totales y fecales (Standard Methods 9221-TC). En la red se determinó cloro residual libre y turbidez. Los puntos de muestreo fueron planificados de manera que abarcaran toda la longitud del sistema de distribución, considerando desde los sectores más cercanos hasta los más alejados de la planta. Estos resultados se integraron en la caracterización operacional y ambiental, con el fin de verificar la efectividad del proceso de desinfección y las condiciones del agua entregada a la comunidad.

Figura 2: Mapa base utilizado como apoyo para la aplicación de la cartografía participativa en la localidad de Huallerehue.



3.2.2 Metodología para el logro del OE-2: Determinar los principales factores de riesgos que enfrenta el SSR de Huallerehue en la Comuna de Santa Juana

La identificación de factores de riesgo y eventos peligrosos asociados al sistema de agua potable rural se llevó a cabo mediante la construcción de una tabla preliminar de factores (ver Anexo D). Esta se elaboró a partir de la revisión de 16 documentos, poniendo especial atención en los capítulos relacionados con peligros, eventos peligrosos, inspecciones sanitarias, gestión del riesgo e impactos de crisis climática a servicios sanitarios.

Los documentos revisados fueron los siguientes:

- WHO (2004). *Managing water in the home: Accelerated health gains from improved water supply.*
- WHO (2009). *Guidelines for drinking-water quality: Incorporating first addendum. Volume 1: Recommendations (3rd ed.).*
- Bartram et al., (2009). *Water Safety Plan Manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers.*
- Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad (España). (2016). *Cambio climático y salud.*
- WHO (2016a). *Planificación de la seguridad del saneamiento: manual para el uso y la disposición segura de aguas residuales, aguas grises y excretas.*
- WHO (2016b). *Protecting surface water for health. Identifying, assessing and managing drinking-water quality risks in surface-water catchments.*
- WHO (2017a). *Climate-resilient water safety plans: managing health risks associated with climate variability and change.*
- WHO (2017b). *Guías para la calidad del agua potable. Cuarta edición que incorpora la primera adenda.*
- GWP & UNICEF (2017a). *Desarrollo resiliente al clima de los servicios de agua, saneamiento e higiene. Marco Estratégico.*
- GWP & UNICEF (2017b). *Risk assessments for WASH: A guidance note for climate-resilient WASH systems.*
- WHO (2023a). *Addressing climate change: supplement to the WHO water, sanitation and hygiene strategy 2018–2025.*
- WHO (2023b). *Aquatown Water Safety Plan: worked example.*

- WHO (2023c). *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers (2nd ed.)*.
- Solís, B., & Serebrisky, T. (2023). Bajo presión: Efectos, impactos y adaptación al cambio climático en operadores de agua de América Latina y el Caribe.
- WHO (2024a). *Guidelines for drinking-water quality: Small water supplies*.
- WHO (2024b). *Sanitary inspection packages. A supporting tool for the Guidelines for drinking-water quality: small water supplies*.

La tabla preliminar de factores (*ver Anexo D*) se organizó en función de los componentes establecidos en los Planes de Seguridad del Agua (WHO, 2023b), los cuales fueron cuenca, captación-fuente de agua, redes de conducción y distribución, sistema de tratamiento, desinfección, operación y control, gestión y gobernanza, y salud de trabajadores y usuarios. Para cada factor se definió además su evento peligroso, el tipo de peligro, una justificación sanitaria y climática, y una pregunta orientadora. A esta tabla se integró también la información levantada en el OE-1, lo que permitió ajustar y complementar los factores bibliográficos con las condiciones reales observadas en el SSR.

A partir de esta sistematización se conformó una lista de chequeos disponible en el *Anexo E*, que contiene el conjunto completo de factores recopilados. La *Tabla 6* resume lo que corresponde a cada una de las columnas incluidas en dicha lista de chequeos.

En primer lugar, se presenta el componente del sistema, que permitió ubicar cada factor dentro de la estructura del SSR. Luego se encuentra el factor de riesgo junto a una pregunta orientadora, que sirvió de guía para la aplicación realizada el 26 de junio de 2025 a un operario y un directivo del comité.

En la siguiente columna se registró la presencia o ausencia del factor en el sistema según la experiencia del comité. Por otra parte, el evento peligroso asociado ayudó a comprender cómo se introduce el factor en la operación. Posteriormente, se indicó la ocurrencia de dicho evento y el nivel de preocupación, estimados en función del relato de los participantes al responder la pregunta orientadora.

Finalmente, en la columna de observaciones se incluyeron comentarios adicionales, ya sea para detallar aspectos mencionados por los actores o para señalar aquellos factores que, aunque no fueron identificados dentro del sistema, se consideró pertinente mantener para el análisis posterior.

Tabla 6: Lista de chequeos de factores de riesgo para el SSR de Huallerehue

	Factor de riesgo	¿Identificado en el sistema?	Evento peligroso	¿Ocurre o podría ocurrir?	Nivel de preocupación	Observaciones
Componente	Factor				Muy preocupante /	
	-- Pregunta	Sí / No	Evento	Sí / No / No sé	Preocupa / Poca preocupación / Sin preocupación	

En síntesis, la aplicación de la lista de chequeos permitió consolidar una tabla final de factores de riesgo en salud asociados al SSR de Huallerehue (*ver Anexo F*). Para su elaboración, se corrigió y ajustó la redacción de los factores y de los eventos peligrosos, con el fin de alinearlos a la terminología y criterios establecidos en los PSA (Bartram *et al.*, 2009; WHO, 2023c). Esta tabla integra tanto los factores identificados en la literatura como aquellos complementados a partir de la experiencia local, y constituye la base para el análisis desarrollado en el Objetivo Específico 3.

3.2.3 Metodología para el logro del OE-3: Analizar los factores de riesgos en salud del Servicio Sanitario Rural de Huallerehue, frente a la crisis climática

Para abordar este objetivo, se desarrolló un proceso de evaluación orientado a analizar los factores de riesgo identificados previamente, considerando su vinculación con amenazas climáticas relevantes para la localidad. Este proceso se estructuró en dos etapas, la determinación de un escenario climático para Huallerehue y el análisis participativo de los factores de riesgo, en conjunto con actores clave.

3.2.3.1 Escenario climático para la localidad de Huallerehue

Se identificaron cinco amenazas climáticas prioritarias para la localidad las cuales corresponden a sequía, olas de calor, olas de frío, precipitaciones intensas e incendios forestales. Estas amenazas fueron seleccionadas con base en la información provista por el informe “Recursos naturales comuna de Santa Juana” (SitRural, 2021) y los mapas comunales de riesgo disponibles en el Atlas de Riesgos Climáticos ARClím (MMA, 2020).

Posteriormente, para cada una de estas amenazas se consultó el Explorador de Amenazas Climáticas de ARClím (MMA, 2020), desde donde se extrajeron indicadores climáticos específicos, los cuales fueron sistematizados en una tabla resumen (*ver Tabla 7*). Esta tabla incluyó valores históricos correspondientes al periodo 1980–2010 y valores futuros proyectados para 2035–2065, bajo un escenario de altas emisiones (RCP 8.5). De este modo, la comparación entre ambos periodos permite estimar tendencias esperadas en el comportamiento de las amenazas Cabe señalar que estos resultados corresponden a proyecciones de la crisis climática (no predicciones puntuales), útiles para orientar el análisis de riesgos en la operación del SSR.

Tabla 7: Amenazas proyectadas en función de indicadores ARClím para la localidad de Huallerehue.

Amenaza climática	Indicador ARClím	Valor		Proyección
		Histórico	Futuro	

Fuente: ARClím, (2020).

La justificación técnica y sanitaria de cada indicador, junto con la definición y vínculo con la salud y la operación del sistema, se presenta de manera detallada en el *Anexo M*.

3.2.3.2 Análisis institucional de los factores de riesgo

Con el fin de analizar los factores de riesgo en salud según su relevancia frente a las amenazas climáticas proyectadas, se elaboró una matriz de evaluación participativa (*ver Figura 3*). Esta matriz integró la ocurrencia de los factores en el SSR, su asociación con amenazas climáticas identificadas en ARClím, la pertinencia evaluada por cada actor institucional y un nivel de preocupación cualitativo.

Figura 3: Matriz de evaluación participativa para la priorización de factores de riesgo en salud frente a amenazas climáticas en el SSR Huallerehue.

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClím (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+ / +/-	+ / +/-	+ / +/-	+ / +/-	+ / +/-		

El proceso de evaluación se implementó de forma independiente con tres actores institucionales: Secretaría regional Ministerial (SEREMI) de salud, la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) y Dirección de Planeamiento (DIRPLAN) de la SEREMI del Ministerio de Obras Públicas (MOP) de la Región del Biobío. A cada actor se le entregó la matriz (*ver Anexo N*) junto con las indicaciones metodológicas (*ver Anexo F*) para guiar la priorización de factores en el contexto climático proyectado.

- **DIRPLAN y DOH Seremi MOP Biobío:** la aplicación se realizó de forma presencial el 25 de julio de 2025, mediante una mesa de trabajo junto al Director de SSR y un analista territorial. En la instancia se entregaron las matrices de evaluación, las cuales fueron completadas por los participantes y posteriormente retiradas para su análisis.
- **SEREMI de Salud del Biobío:** la aplicación se realizó de forma remota. El 1 de agosto de 2025 se enviaron por correo electrónico las matrices e indicaciones metodológicas a tres funcionarios, de la Unidad de Epidemiología(s), del Departamento de Salud Pública y del Departamento de Planificación Sanitaria. Los participantes respondieron la matriz de manera conjunta, generando un único documento consensuado que fue devuelto por la misma vía.

Para orientar la evaluación se utilizó la matriz de riesgo del Aqatown Water Safety Plan (WHO, 2023b) como referencia metodológica, a partir de la cual se generó una escala cualitativa de nivel de preocupación con cuatro categorías: baja, media, alta y severa (*ver Tabla 8*). Esta adaptación permitió a cada actor valorar los factores de riesgo considerando su impacto potencial en la salud de la comunidad, la operación del SSR y la seguridad del servicio, estableciendo así su grado de preocupación frente a las amenazas climáticas identificadas.

Tabla 8: Nivel de preocupación de los factores de riesgo identificadas.

Nivel	Preocupación	Criterios técnicos y sanitarios integrados
4	Severa	El evento puede: (a) provocar enfermedades graves o brotes sanitarios o afectar a grupos vulnerables y/o (b) afectar gravemente la infraestructura, la continuidad del servicio o los tiempos de respuesta. y/o (c) puede generar alarma pública, pérdida de confianza y requiere intervención urgente.
3	Alta	El evento puede: (a) afectar a usuarios sin generar riesgos sanitarios relevantes (enfermedades no graves) y/o (b) provocar interrupciones temporales o sobrecarga operativa del sistema, y/o (c) afecta la percepción de seguridad o genera quejas de usuarios. Puede requerir acciones correctivas a corto plazo.
2	Media	El evento no representa riesgo inmediato para la salud de los usuarios, pero puede: (a) reducir la aceptabilidad del agua (olor, color, sabor) y/o (b) implicar mantenciones o ajustes operativos frecuentes. y/o (c) no interrumpe el servicio, pero requiere monitoreo y seguimiento.
1	Baja	(a) No genera impactos directos en salud ni en operación, pero debe registrarse. y/o (b) puede ser un signo de vulnerabilidad futura o afectar la eficiencia del sistema si se acumula. y/o (c) no requiere acción inmediata, pero sí monitoreo o preparación.

Fuente: WHO, (2023b).

3.2.3.3 Nivel de preocupación del SSR Huallerehue

A partir de las respuestas obtenidas de los actores institucionales, se seleccionaron 15 factores de riesgo en salud, los cuales fueron considerados más relevantes para el análisis. La selección se realizó considerando, por un lado, los factores frente a los cuales el directivo y el operario del SSR manifestaron mayor preocupación durante la aplicación de la lista de chequeos en el OE-2, y por otro, el nivel de preocupación cualitativo asignado por las instituciones en el presente objetivo. Posteriormente los factores fueron sistematizados en un material de apoyo (*ver Anexo R*), que incluía además un breve contexto y los resultados preliminares.

Con este insumo se realizó, el 20 de agosto de 2025, una mesa de trabajo participativa con dos administrativos y dos operarios del comité del SSR Huallerehue, con el propósito de contrastar los resultados institucionales obtenidos con la visión operativa del servicio. Durante la sesión, cada factor fue discutido y se le asignó un nivel de prioridad e importancia

utilizando una escala tipo “semáforo” adaptada para esta actividad participativa, con categorías de rojo (alto), amarillo (medio), verde (bajo) y blanco (sin claridad o información insuficiente). La asignación de cada nivel se realizó de manera consensuada entre los participantes, reflejando un acuerdo colectivo respecto al grado de preocupación generado por cada factor.

La dinámica permitió identificar el grado de preocupación del comité frente a los factores seleccionados y aportar matices cualitativos respecto a su impacto en la operación y en la salud de la comunidad. Este ejercicio metodológico constituyó un paso clave para contrastar e integrar los resultados y experiencias institucionales con la experiencia y la perspectiva local de quienes gestionan y operan el servicio, estableciendo un marco común de análisis para comprender qué factores de riesgo en salud resultan prioritarios en el contexto de la crisis climática.

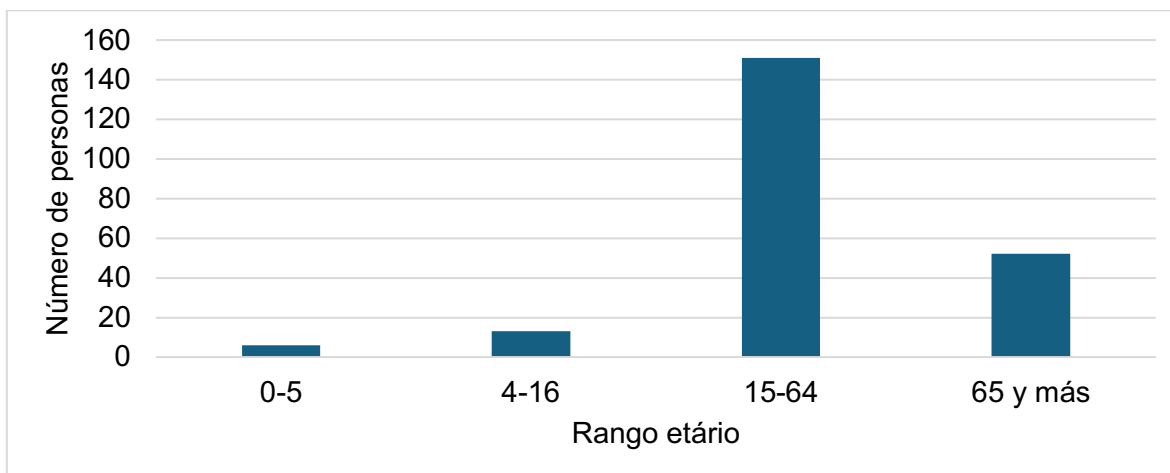
4 Resultados y discusión

4.1 Caracterización del Servicio Sanitario Rural Huallerehue

Según los microdatos del Censo 2017 publicados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2018), la localidad de Huallerehue cuenta con un total de 366 personas, distribuidas en 284 viviendas. Esta configuración corresponde a una comunidad rural, de acuerdo con los criterios definidos por el INE (2017), que clasifican como rurales a los asentamientos con hasta 1000 habitantes, o entre 1001 y 2000 habitantes cuando más de la mitad de la población económicamente activa se dedica a actividades primarias.

En cuanto a la distribución etaria (ver *Figura 4*), la mayor parte de la población se concentra en el grupo de 15 a 64 años, correspondiente a la población en edad laboral. No obstante, resalta la presencia de 52 personas mayores de 65 años, lo que representa un grupo significativo dentro de la comunidad. Este segmento resulta especialmente relevante en relación con la continuidad y calidad del servicio de agua potable, dada su mayor vulnerabilidad frente a riesgos sanitarios y climáticos.

Figura 4: Distribución etaria de la población de Huallerehue según Censo 2017.



Fuente: INE, (2018).

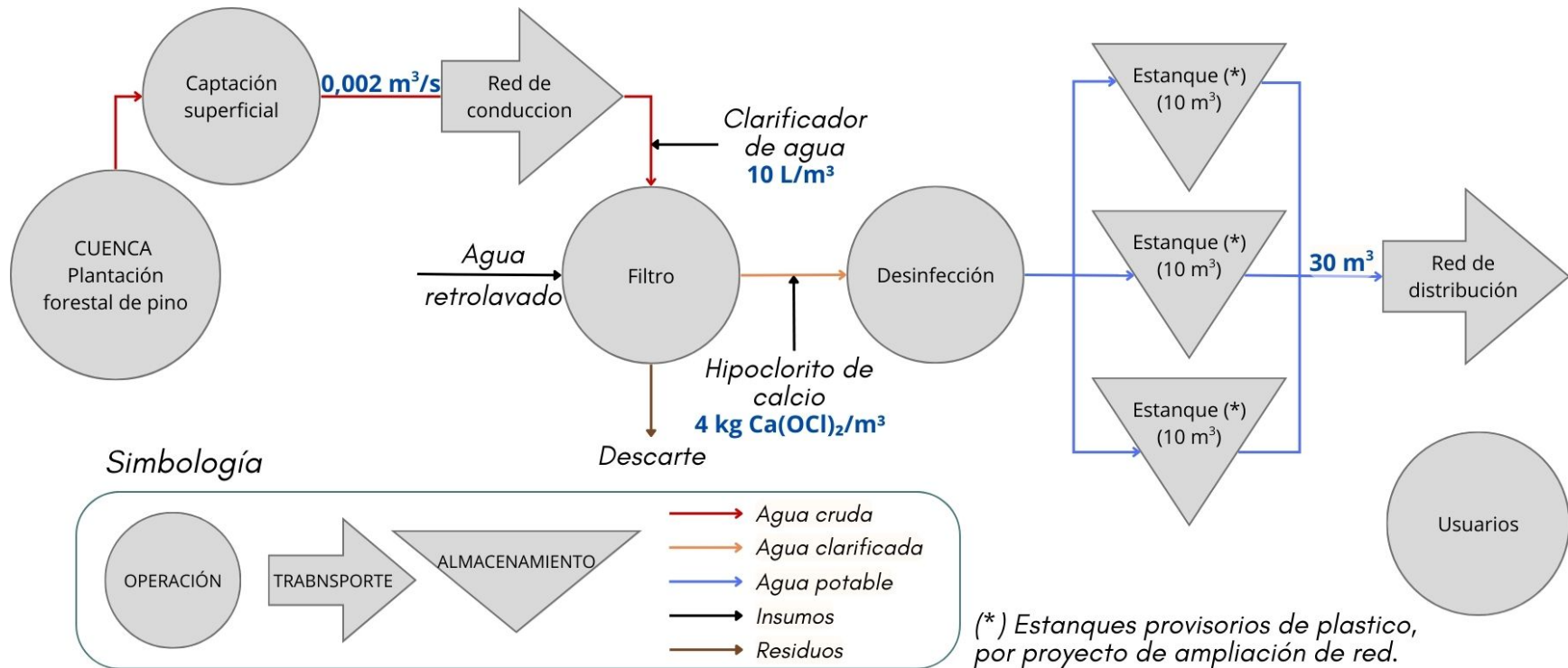
Respecto al abastecimiento de agua, solo 41 viviendas se encuentran conectadas a una red pública, mientras que 10 acceden al recurso mediante pozos o norias. Además, 94 viviendas se abastecen directamente de fuentes naturales como ríos, vertientes, esteros o canales, lo que representa una proporción significativa del total habitacional y evidencia una fuerte dependencia de fuentes no reguladas para el consumo humano.

Además, de la caracterización demográfica y habitacional, es necesario describir el proceso operacional del SSR que abastece de agua potable a la comunidad de Huallerehue.

4.1.1 Proceso de producción de agua potable del SSR Huallerehue

El proceso operativo actual del sistema sanitario (*ver Figura 5*) comienza con la captación superficial del agua desde la cuenca del Río Lía, con un caudal de diseño establecido $0,002 \text{ m}^3/\text{s}$. Posteriormente, el agua cruda es dirigida hacia un sistema de filtración encargado de remover los sólidos suspendidos presentes, para luego someterse a un proceso de desinfección mediante hipoclorito de calcio en una dosis de $4 \text{ kg}/\text{m}^3$. Finalmente, el agua tratada se almacena en tres estanques con capacidad de 10 m^3 cada uno, alcanzando así un volumen total de reserva de 30 m^3 . Cabe destacar que este proceso estará vigente hasta la finalización del proyecto de extensión de red iniciado en noviembre de 2024, el cual contempla principalmente modificaciones en el sistema de tratamiento.

Figura 5: Diagrama de proceso del sistema, elaborado a partir de información proporcionada por el comité del SSR Huallerehue, según la metodología de PSA.



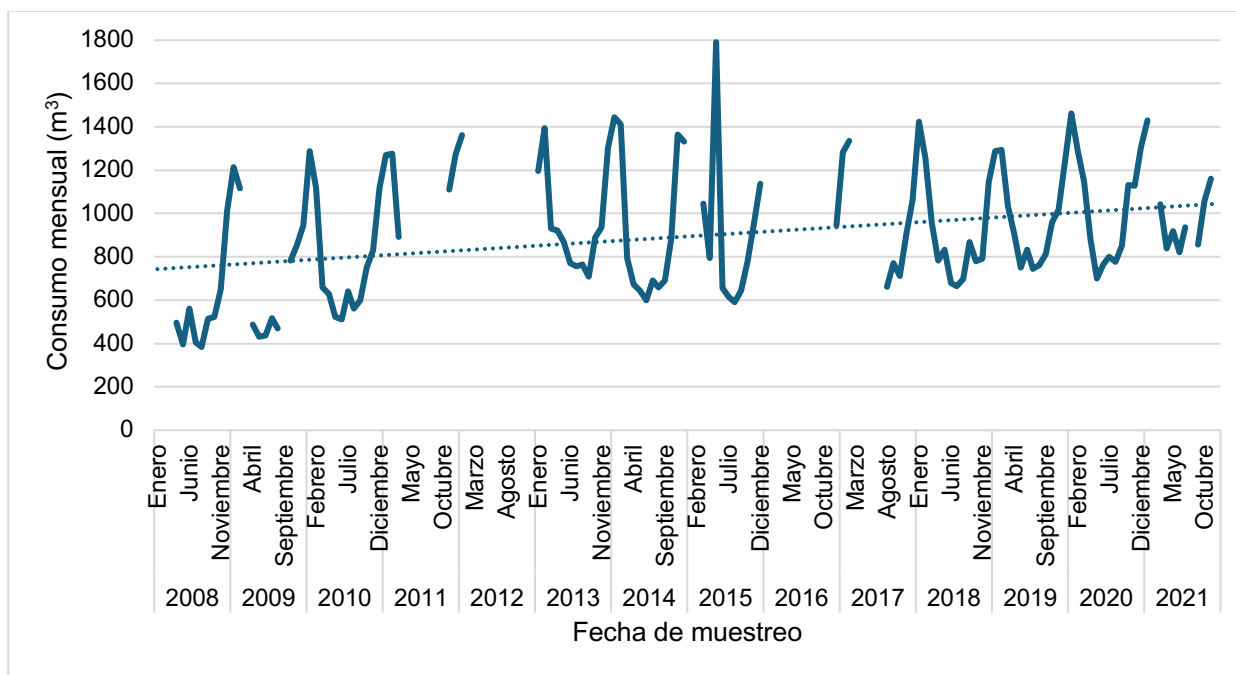
Fuente: WHO, (2016b).

4.1.2 Cantidad y consumo de agua potable

Las Naciones Unidas (2012) establecen que, para garantizar condiciones básicas de salud, higiene y bienestar, una persona debe contar con una dotación diaria de entre 50 y 100 litros de agua potable. Este rango considera el uso destinado al consumo directo, la preparación de alimentos, la higiene personal y la limpieza del hogar (WHO, 2024a). Este volumen equivale a un rango de 1,5 a 3 m³ por persona al mes, lo que, para una población aproximada de 360 personas, corresponde a un consumo mensual estimado mínimo de 540 m³ y un consumo mensual estimado máximo de 1.080 m³. Estos valores se utilizaron como referencia para analizar la suficiencia del abastecimiento en el SSR de Huallerehue, distinguiendo entre un nivel básico aceptable y un nivel óptimo deseable en el contexto rural.

El análisis consumo mensual entre 2008–2021 (*ver Figura 6*) evidenció una tendencia al alza en el volumen distribuido. La línea de tendencia reflejó un incremento desde aproximadamente 700 m³/mes en los primeros años hasta cerca de 1.000 m³/mes al final del periodo, lo cual representó un aumento promedio anual de alrededor de 15 m³. Este crecimiento sostenido se asoció con posibles cambios demográficos, ampliación de la cobertura del servicio y variaciones en los hábitos de consumo.

Figura 6: Consumo mensual de agua potable (m³/mes) del año 2008 a 2021.



Fuente: Comité de Agua Potable Rural Huallerehue (2024).

Durante los meses cálidos (diciembre–febrero), el consumo de agua aumentó considerablemente, superando de forma constante el consumo estimado máximo de 1080 m³ y alcanzando un máximo cercano a 1.780 m³ en enero de 2015, es decir, un 65 % por sobre lo recomendado. En cambio, durante los meses fríos (abril–agosto), varios registros estuvieron por debajo del mínimo de 540 m³, llegando incluso a los 350 m³.

Durante el periodo analizado, se identificaron meses en que el volumen distribuido superó de forma sostenida el consumo estimado máximo, lo que no necesariamente reflejó un aumento real en el consumo doméstico. Este comportamiento podría deberse a una combinación de factores, como pérdidas no detectadas en la red (por fugas), extracciones no registradas oficialmente, y la presencia de población flotante durante el verano. En particular, se identificaron al menos dos campings dentro del área de servicio, y según lo reportado por el comité operativo, uno de ellos utilizó agua del sistema para el llenado de piscinas. Esta situación sugiere un uso intensivo del recurso en ciertos periodos, lo que permite considerar esta demanda adicional como un factor relevante al interpretar los picos de consumo estival. Aunque no se dispone de datos específicos sobre la cantidad de visitantes ni sobre su efecto en la dotación por persona, la situación mencionada permite considerar esta demanda adicional como un factor relevante al interpretar los picos de consumo estival.

En otros meses, el volumen distribuido se mantuvo por debajo del umbral mínimo, lo que sugiere que el sistema no estaba entregando siquiera la cantidad necesaria para cubrir las necesidades básicas de higiene y consumo de la comunidad. Además, se identificaron periodos sin datos registrados, los cuales podrían atribuirse a las siguientes causas (Comunicación personal, SSR Huallerehue, marzo de 2025):

- Abastecimiento mediante camiones aljibe durante eventos climáticos extremos o cortes de energía.
- Fallas temporales en la planta de tratamiento que interrumpieron la medición de caudales.
- Pérdida de registros en los cuadernos de anotación, ya que el servicio no cuenta con sistema digital de respaldo.

El sistema cuenta con un estanque de almacenamiento cuya capacidad total es de 30 m³. Considerando una dotación mínima de 50 litros por habitante por día, recomendada por la OMS (WHO, 2018) en condiciones normales de consumo continuo y abastecimiento garantizado, el requerimiento diario estimado para una población de 360 personas corresponde a 18m³. En

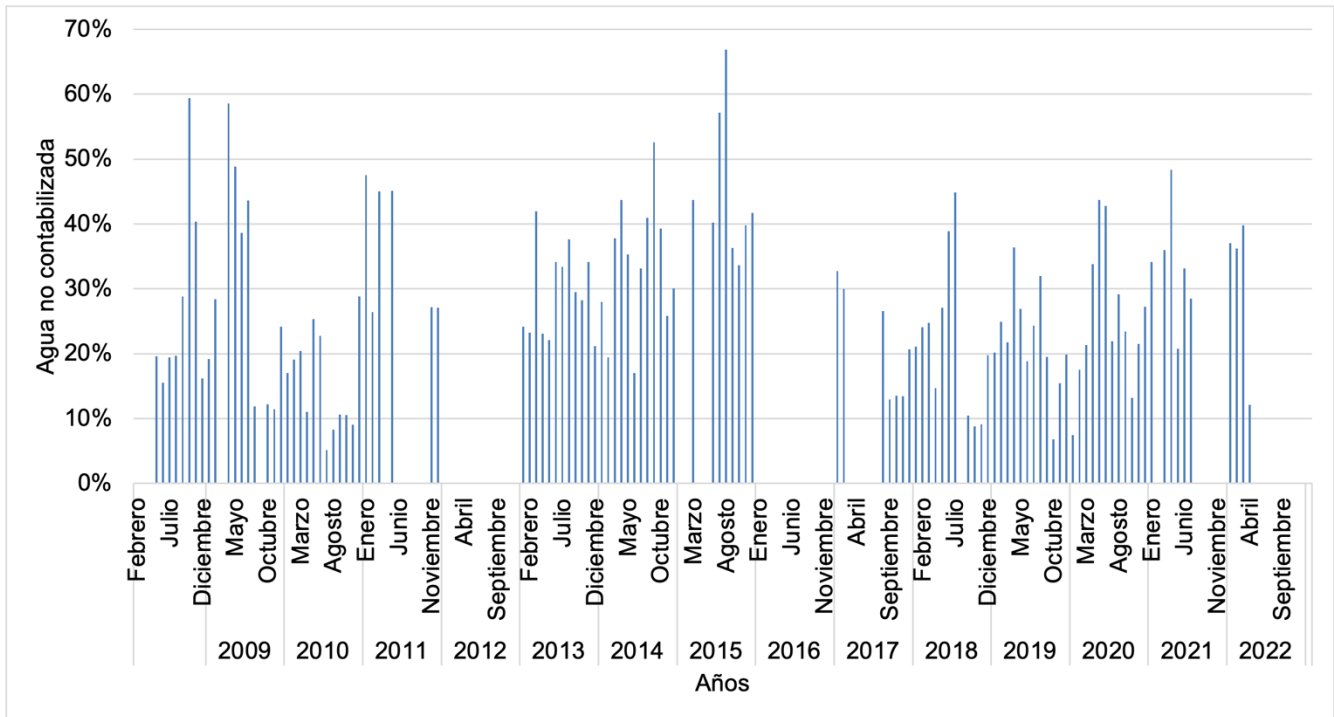
consecuencia, el volumen almacenado permite una autonomía aproximada de 1,6 días de consumo estimado sin reposición.

En situaciones de emergencia, la WHO (2025) establece un requerimiento mínimo de 15 litros por persona por día para cubrir necesidades básicas. Con este parámetro, la capacidad de almacenamiento del estanque permitiría extender la cobertura a un periodo algo mayor, aunque igualmente limitado, lo que evidencia la fragilidad del sistema ante interrupciones en el suministro. El Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (Alvarez-Garreton *et al.*, 2023) advierte que muchos sistemas rurales en Chile operan sin respaldo ni fuentes alternativas, lo que incrementa su exposición a contingencias.

En el caso del SSR de Huallerehue, la limitada capacidad de almacenamiento ha obligado en varias ocasiones a depender del abastecimiento mediante camiones aljibe, que vierten directamente el agua al estanque para su distribución diaria. Según lo señalado por el comité, el servicio asume que el agua transportada ya viene potabilizada, por lo que no realiza verificación de los niveles reales de cloro residual al momento de la descarga. Esta situación representa una brecha sanitaria, ya que el Decreto N.º 41 del Ministerio de Salud (2016) establece que todo camión aljibe destinado a abastecimiento de agua potable debe contar con un equipo analizador de cloro libre residual y garantizar concentraciones entre 0,5 y 2,0 mg/L en el llenado.

Para complementar este análisis, se consideró la información sobre pérdidas de agua en la red, expresadas como porcentaje de agua no contabilizada (*ver Figura 7*), calculadas como la diferencia porcentual entre el volumen producido y el volumen contabilizado como consumo. En este aspecto, los datos mostraron variaciones entre años, con valores críticos entre 2013 y 2015, alcanzando un máximo del 45 % de pérdida en 2015. Este nivel de ineficiencia sugiere la presencia de fugas significativas, conexiones clandestinas o deficiencias en la medición.

Figura 7: Porcentaje de agua no contabilizada mensual entre 2008 a 2022.



Fuente: Comité de Agua Potable Rural Huallerehue (2024).

La relación entre los años con mayor pérdida y aquellos en los que se observaron picos inusuales de distribución (como en 2015) permite inferir que parte del volumen excedente registrado no se tradujo necesariamente en consumo real, sino que probablemente correspondió a agua no contabilizada o perdida dentro del sistema. Así, la interpretación de volúmenes sobre el umbral óptimo debe ser abordada con cautela, considerando la eficiencia hidráulica del sistema.

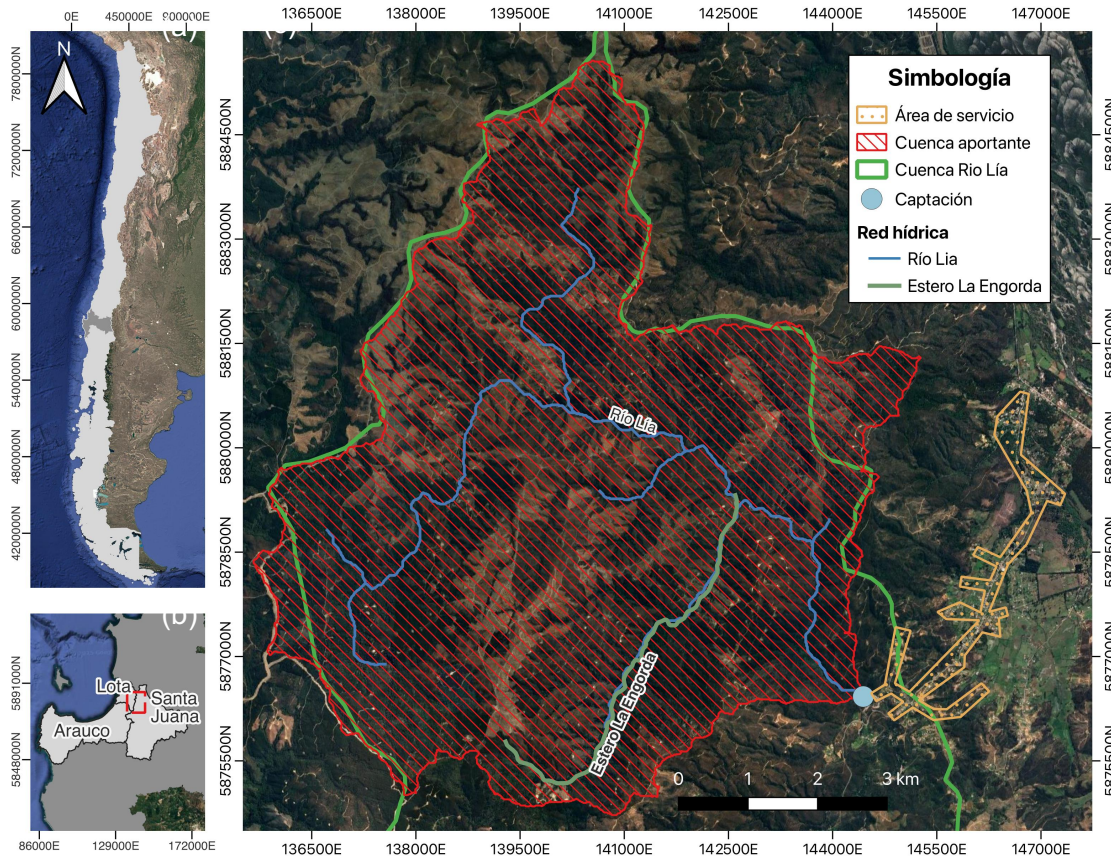
Por otro lado, si bien a partir de 2017 las pérdidas parecen estabilizarse en torno al 20–25 %, este valor sigue siendo superior al 15 % recomendado como referencia técnica para sistemas rurales (WHO, 2017b), lo cual representa un riesgo operativo persistente que podría afectar la sostenibilidad del sistema y la disponibilidad efectiva del recurso, especialmente durante épocas de sequía o crisis climática.

4.1.3 Cuenca aportante al SSR

Entendiendo la importancia de la cuenca dentro del sistema, esta se delimitó a partir del punto de captación de agua del SSR (ver Figura 8). Dicha cuenca abarca principalmente a la comuna de Santa Juana (58), en menor medida la comuna de Lota (40%) y una pequeña parte a la

comuna de Arauco (2%). Esta pertenece a la subcuenca del Río Lía y tiene una red hídrica abarca tanto el río Lía como el Estero La Engorda.

Figura 8: Cuenca aportante a partir de punto de captación del SSR Huallerehue.



Fuente: DOH (2025).

El río Lía representa a una de las principales fuentes de abastecimiento de agua superficial de la localidad de Huallerehue. Este curso de agua nace en la cordillera de Nahuelbuta y desemboca en el río Carampangue. El caudal del río Lía presenta una variabilidad importante, con un mínimo estimado de 1 m³/s y un máximo de hasta 35 m³/s, lo que le otorga una disponibilidad considerable en términos cuantitativos (SIT Rural, 2024). A pesar de su relevancia hídrica, el río Lía no se encuentra entre las microcuencas priorizadas para el desarrollo productivo comunal, lo cual podría incidir en la menor atención institucional respecto a su protección y gestión sostenida (SIT Rural, 2024).

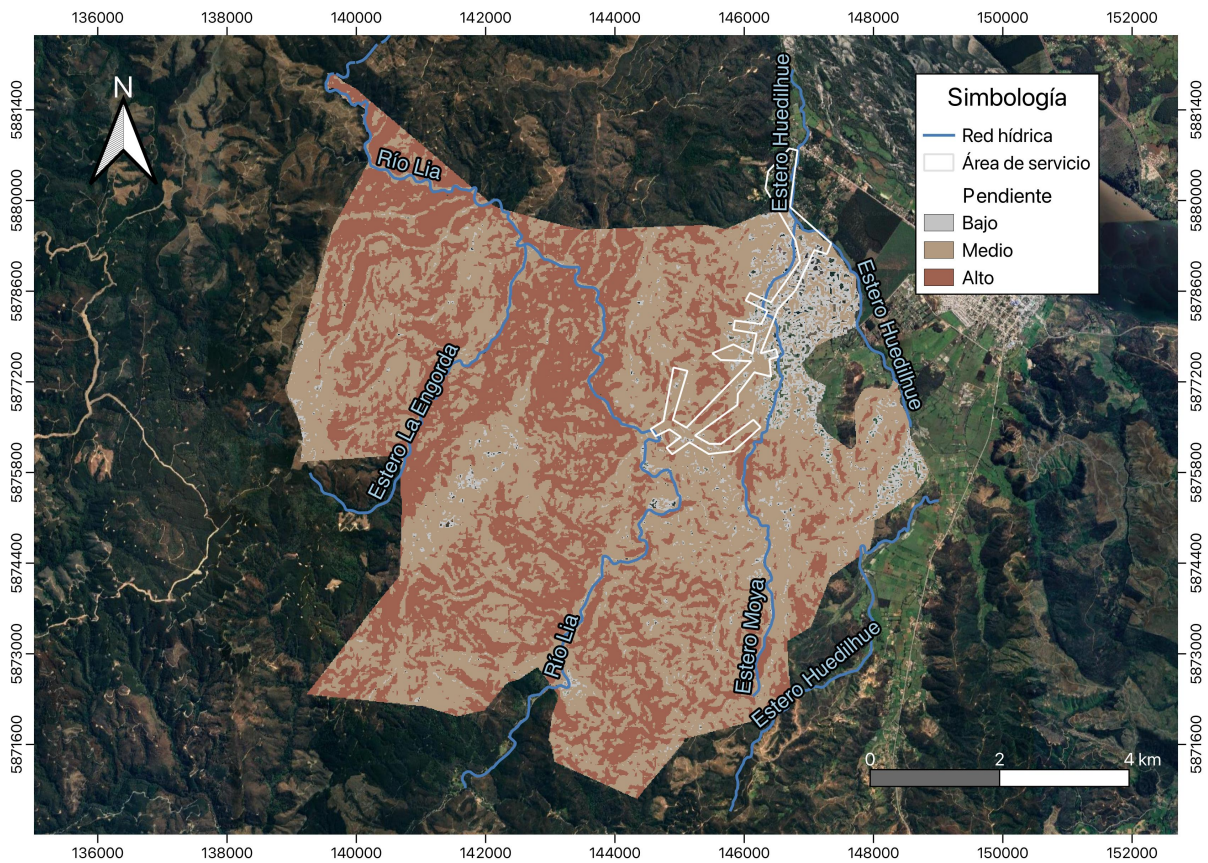
4.1.4 Condiciones hidroambientales de la localidad de Huallerehue

El análisis hidroambiental comprendió tres componentes clave: pendiente, uso de suelo y cobertura vegetal (NDVI), con el fin de evaluar sus implicancias en el sistema sanitario rural y en la salud pública de la comunidad.

4.1.4.1 Pendiente

El análisis de la pendiente (ver Figura 9) evidencia una predominancia de sectores con pendiente media, especialmente en el sur y suroeste del territorio. Estas áreas presentan escorrentías moderadas que pueden incrementar la turbidez del agua captada. Por su parte, los sectores con pendiente alta se localizaron en el oeste y noreste, donde los mayores gradientes favorecen procesos erosivos y deslizamientos más severos, elevando la carga de sólidos suspendidos en el recurso hídrico. Estas áreas presentan escorrentías intensas, esta condición compromete la calidad del agua tratada. (WHO, 2017a; IPCC, 2021)

Figura 9: Clasificación de la pendiente del terreno en Huallerehue



Fuente: SAG, (2016).

Tabla 9: Clasificación de pendiente para la localidad de Huallerehue según clasificación SAG, 2016.

Clasificación de pendiente	Rango (%)	Superficie (ha)	% del área total
Pendiente baja	0 – 5	436,98	6,85 %
Pendiente media	5 – 30	3.571,26	55,95 %
Pendiente alta	≥ 30	2.374,33	37,20 %

En contraste, las áreas con baja pendiente se localizan en la parte este del territorio, próximas a los esteros Huedilhue, Moya y la zona urbana de Santa Juana. Estas zonas corresponden a espacios de valle y terrazas fluviales, que presentan condiciones más favorables la infraestructura comunitaria, al ofrecer mayor accesibilidad, menor exposición a riesgos geomorfológicos; sin embargo, requieren barreras de control de escorrentías para prevenir contaminación. (FAO, 2004)

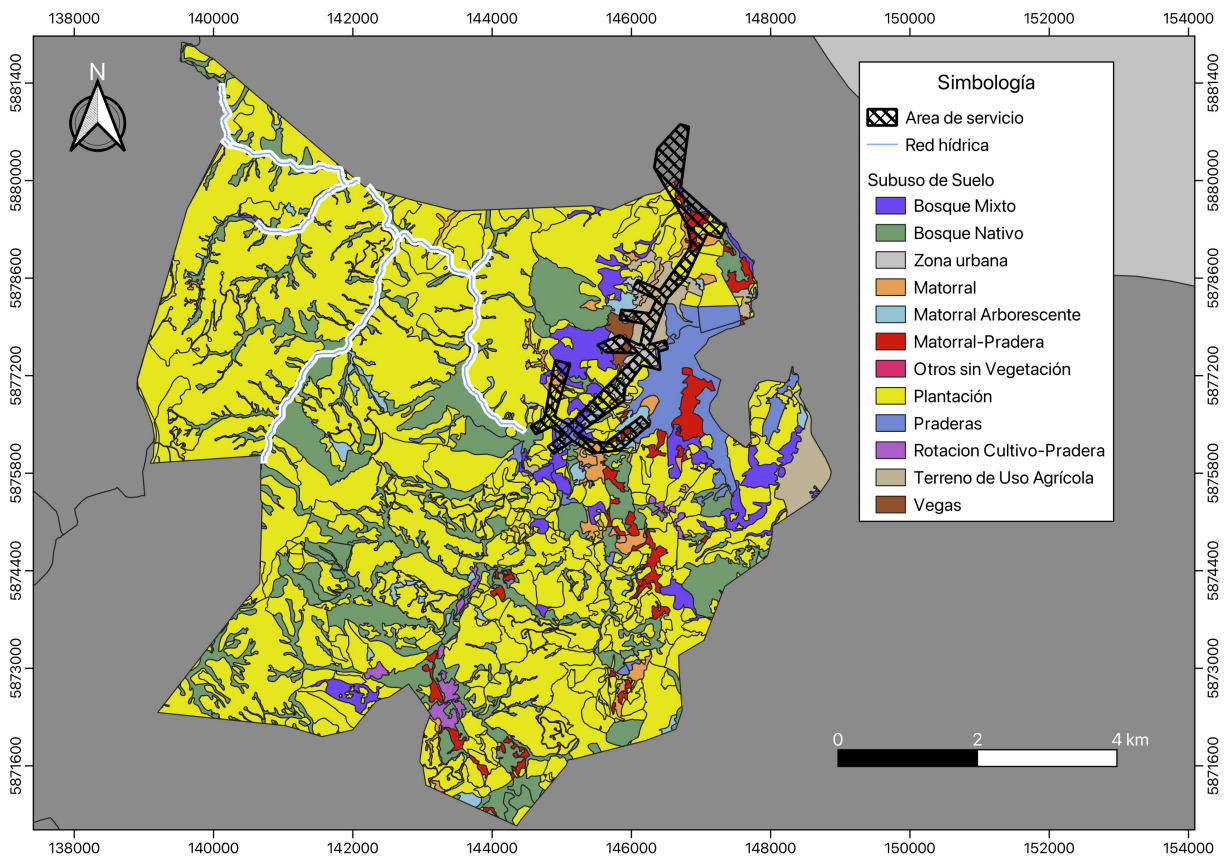
Como se observó en la *Tabla 9*, más del 80% del territorio presenta pendientes medias o altas, lo que implica desafíos tanto de diseño y operación, especialmente ante eventos extremos de la crisis climática, como lluvias intensas e incendios forestales. Estas condiciones favorecen procesos de erosión y escorrentía superficial que incrementan principalmente la turbiedad y la presencia de coliformes, parámetros críticos para asegurar la potabilidad del agua (IPCC, 2021; Amanda *et al.*, 2019).

4.1.4.2 Uso de suelo

El análisis de uso de suelo (*ver Figura 10*) muestra que las plantaciones forestales constituyen al subuso predominante en Huallerehue, distribuyéndose extensamente en zonas de media y alta pendiente, así como en terrenos de transición. Esta cobertura sugiere una configuración productiva intensiva orientada a la explotación forestal, con implicancias ambientales: reducción de biodiversidad, alteración del ciclo hidrológico, aumento de escorrentía superficial y mayor vulnerabilidad a incendios (Mataix-Solera y Cerdà, 2009; Peña-Fernández & Valenzuela-Palma, 2002). Además, en la cuenca aportante se identificaron sectores con talas y rotaciones de plantaciones, observados mediante análisis multitemporal en Google Earth Engine y verificados por interpretación visual de imágenes en Google Earth Pro, complementado con observación directa en terreno durante 2024 y 2025.

Estos procesos incrementan la erosión del suelo y la sedimentación del cauce, lo que podría elevar la turbidez del agua captada por el SSR. Sanhueza et al. (2024) documentaron un aumento de hasta 3,6 veces en la carga de sedimentos suspendidos en cuencas degradadas por operaciones forestales, lo cual es directamente proporcional al incremento esperable en turbidez. Asimismo, e identificó que esta actividad estuvo asociada a variaciones en el pH del agua superficial, tal como se documentó en cuencas tropicales por Marryanna *et al.* (2007).

Figura 10: Subuso de suelo en la localidad de Huallerehue.



Fuente: CONAF, (2016).

En segundo lugar, destacaron las áreas de bosque nativo y bosque mixto, ubicadas en sectores perimetrales y de difícil acceso. Estas coberturas aportan servicios ecosistémicos como regulación hídrica y protección de suelos, aunque su distribución fragmentada revela una presión creciente por los usos productivos predominantes.

También se identificaron áreas de praderas naturales, rotación cultivo-pradera y terreno de uso agrícola, distribuidas de forma dispersa en sectores de menor pendiente y mayor accesibilidad.

Estas áreas sostienen actividades agropecuarias de pequeña escala y concentran parte de la infraestructura operativa del SSR, lo que las convierte en zonas estratégicas frente a condiciones de estrés hídrico.

Las zonas urbanas y áreas sin cobertura vegetal se concentraron en el noreste, próximas a la localidad de Santa Juana, ejerciendo presión sobre ecosistemas circundantes. La proliferación de zonas descubiertas de vegetación favorece la escorrentía superficial, lo que favorece el arrastre de sedimentos y contaminantes hacia los cuerpos de agua captados por el SSR, comprometiendo la calidad del recurso. Además, la expansión de viviendas o parcelaciones incrementa la demanda de agua potable y exige mayores medidas de control frente a contaminantes físicos y biológicos (IPCC, 2021; Solís & Serebrisky, 2023).

Finalmente, matorrales, vegas y matorrales-pradera complementaron el mosaico territorial, aportando diversidad estructural y funcional, y representando áreas de transición o recuperación ecológica.

En conjunto, el análisis de subuso de suelo en Huallerehue evidenció un territorio fuertemente intervenido por actividades forestales y productivas, con presencia fragmentada de vegetación nativa y usos agrícolas tradicionales en condiciones de creciente vulnerabilidad hídrica.

4.1.4.3 Cobertura vegetal (NDVI)

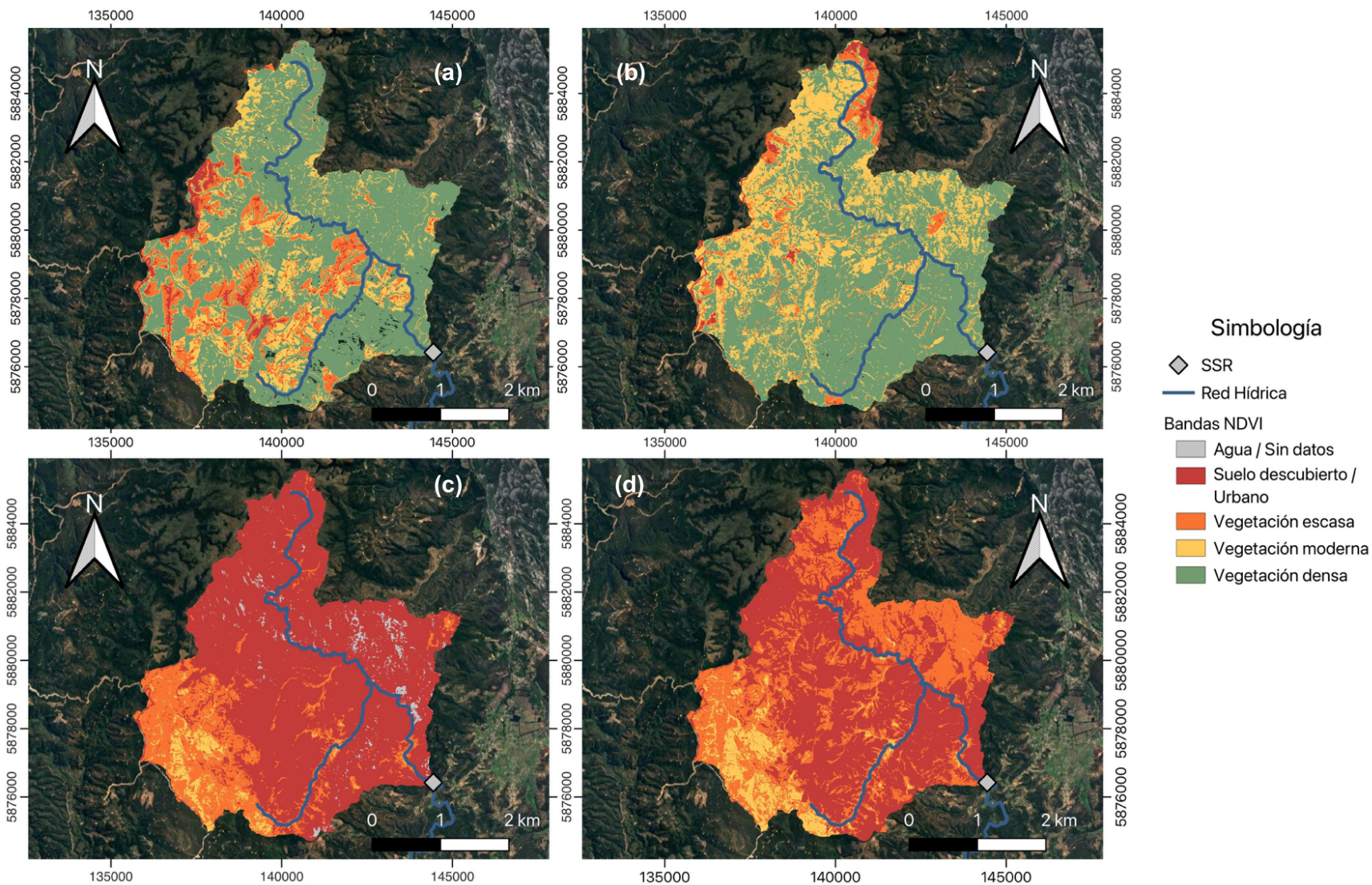
Para evaluar la evolución de la cobertura vegetal y sus implicancias en la calidad del agua y la salud pública, se generaron cartografías de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) para los años 2017, 2021, 2023 y 2024 (ver *Figura 11*), abarcando solo la cuenca aportante al SSR. A continuación, se describieron los cambios observados y su relación con la dinámica hidrológica del SSR:

- En la cartografía de NDVI para 2017 (ver *Figura 11a*) mostró una predominancia de vegetación densa en zonas periféricas y de mayor altitud, evidenciando estabilidad ecológica y alta capacidad de retención de suelo y agua. En sectores de pendiente media, la vegetación moderada y escasa se presentó de forma fragmentada, sugiriendo posibles focos de susceptibilidad a la erosión.
- En la cartografía de NDVI de 2021 se registró una ligera disminución de la cobertura densa y un incremento de áreas con vegetación moderada o escasa, especialmente en el suroeste del territorio (ver *Figura 11b*). Este patrón se asoció a cambios en el uso de suelo, expansión de plantaciones forestales y condiciones climáticas adversas, como

déficit hídrico. A pesar de ello, el paisaje mantuvo cierta resiliencia estructural, sugiriendo que el SSR continuó captando agua con niveles de turbidez dentro de los rangos operativos.

- En la cartografía de NDVI de 2023 (*ver Figura 11c*) reflejó una drástica caída de vegetación densa y una expansión casi total de clases con vegetación escasa o suelos descubiertos, atribuida al incendio forestal reportado en ese año. Esta pérdida masiva de cobertura genera una inestabilidad del suelo, lo que sugiere una elevada carga de sedimentos en el río.
- En la cartografía de 2024 (*ver Figura 11d*). se observan signos iniciales de regeneración, con aumento de vegetación moderada y reaparición parcial de vegetación densa, principalmente en cuadrantes sur y sureste. Sin embargo, amplias superficies continuaron mostrando vegetación escasa, lo que denotó una recuperación parcial y heterogénea, condicionada por la pendiente y el tipo de uso previo.

Figura 11: Cobertura vegetal (NDVI) de Huallerehue en (a) marzo de 2017, (b) marzo de 2021, (c) marzo de 2023 y (d) marzo de 2024.



Fuente: GEE, (2025).

Al superponer los mapas de pendiente y de uso de suelo, se constató que las áreas afectadas por el incendio se correspondieron fundamentalmente con pendientes medias y altas sometidas a explotación forestal intensiva. Estas condiciones topográficas y de cobertura favorecieron una propagación más rápida y una mayor severidad del fuego. Asimismo, la pérdida de vegetación en dichos sectores supone una intensificación de los procesos de escorrentía y erosión, comprometiendo la calidad del agua captada por el SSR y la estabilidad del terreno aledaño.

4.1.5 Calidad de agua en la localidad de Huallerehue

En Chile, los servicios de agua potable destinados a zonas rurales deben cumplir con las exigencias sanitarias establecidas por la autoridad. Por la Ley N.º 20.998 y su reglamento aprobado por el Decreto Supremo del MOP N.º 50 de 2019, artículos 16 y 40, se remitió al Decreto Supremo del MINSAL N.º 735 de 1969 como marco exigible para la calidad del agua en los SSR. El Decreto Supremo N.º 735 del Ministerio de Salud (1969/2010) y la norma NCh 409/1 definen los requisitos físicos, químicos y bacteriológicos que debe satisfacer el agua destinada al consumo humano, así como los procedimientos de inspección y muestreo para verificar su conformidad.

A continuación, se presentan los resultados de calidad del agua cruda en captación y de agua tratada, organizados por parámetro. Cada parámetro se definió según los lineamientos de la OMS y las disposiciones nacionales vigentes.

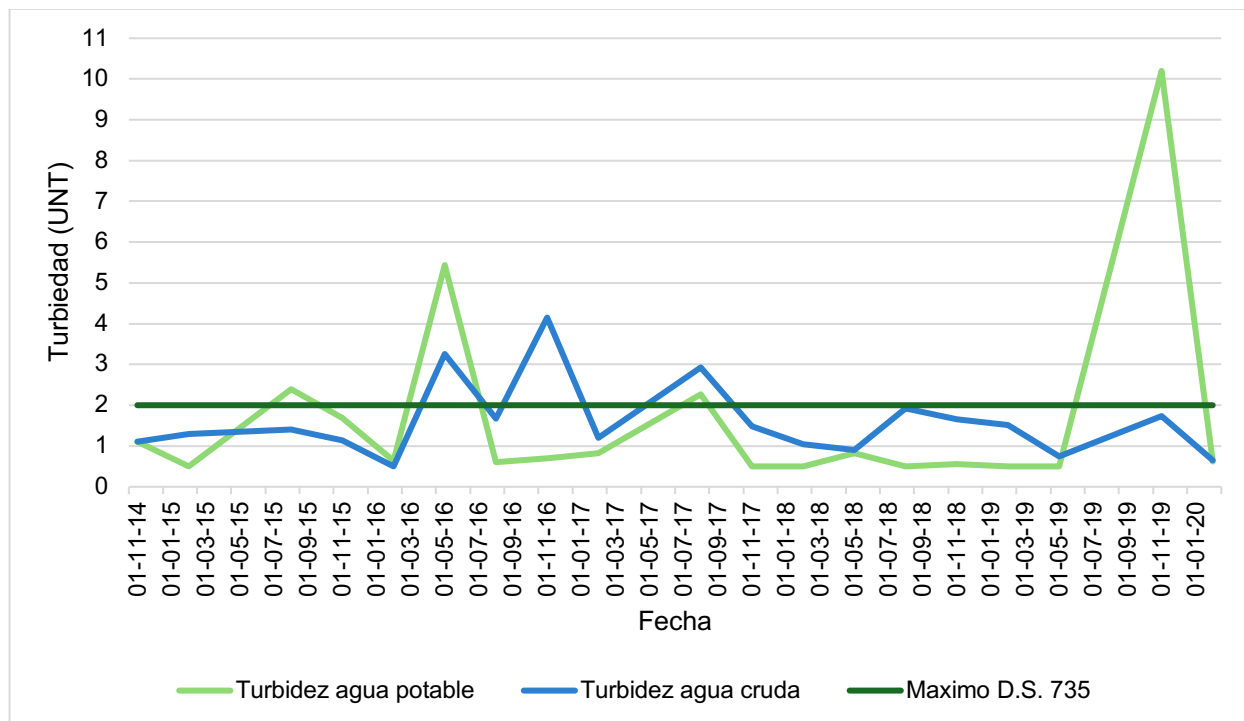
4.1.5.1 Turbidez

La turbidez se refiere a la propiedad del agua relacionada con la presencia de partículas suspendidas que dispersan la luz, tales como arcillas, materia orgánica, microorganismos, entre otros sólidos finos. La OMS no establece un límite máximo específico para aguas crudas, pero señala que niveles bajos de turbidez son deseables en agua tratada (WHO, 2022). En el contexto chileno, el D.S N° 735 del Ministerio de Salud, junto con la norma NCh 409/1 Of.2005, establece que la turbidez del agua distribuida por sistemas rurales debe ser igual o inferior a 2 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT).

Los registros históricos de turbiedad (*ver Figura 12*) mostraron un comportamiento fluctuante tanto en el agua cruda como en la potable. En general, la turbidez del agua cruda se mantuvo entre 1 y 4 UNT, mientras que la turbidez del agua potable presentó variaciones más pronunciadas, destacando dos eventos críticos: uno en 2016 (aproximadamente 5,5 UNT) y otro

aún más severo en 2019 (alrededor de 10,5 UNT). Ambos casos representaron una superación significativa del valor máximo permitido.

Figura 12: Nivel de turbidez histórica en Huallerehue.



Fuente: Biodiversa (2024).

En los primeros años del periodo analizado, entre 2014 y 2015, se observó una baja diferencia entre la turbidez del agua cruda y la potable, lo que podría reflejar un desempeño aceptable del tratamiento. Sin embargo, desde 2016 en adelante comenzaron a manifestarse desviaciones importantes, donde la turbidez del agua tratada superó en varios momentos a la del agua cruda, lo cual resulta técnicamente anómalo.

Esta situación podría explicarse por diversas causas. Por un lado, podría tratarse de fallas operativas en el sistema de tratamiento, particularmente en las etapas de clarificación y filtración, que no habrían sido capaces de manejar adecuadamente los aumentos de carga de sedimentos. Por otro lado, también es posible que eventos de turbiedad en la red de distribución hayan influido en las mediciones, debido al arrastre de sedimentos acumulados o al desprendimiento de biofilm (WHO, 2022b; WHO, 2017b).

Cabe destacar que el evento de 2019 corresponde al más crítico del periodo analizado. A pesar de que la turbidez del agua cruda se mantuvo en torno a las 2 UNT, la turbidez del agua potable se elevó abruptamente, lo que sugiere una falla grave en el sistema de tratamiento.

Desde la perspectiva de salud pública, la turbidez elevada representa un riesgo indirecto al disminuir la eficacia del cloro como desinfectante, ya que las partículas en suspensión pueden proteger a los microorganismos patógenos, permitiendo su supervivencia en el agua tratada (WHO, 2017b).

Con el fin de complementar el análisis, se incorporaron los resultados de fiscalizaciones realizadas por la SEREMI de Salud del Biobío entre los años 2011 y 2024. A diferencia de los datos históricos analizados por BIODIVERSA y disponibles solo hasta el año 2020, los registros de la SEREMI permitieron extender la revisión hasta el año 2024, ofreciendo una perspectiva más reciente del desempeño del sistema. La tabla completa de resultados se presenta en el *Anexo G*

Considerando únicamente las muestras de agua potable, se observó que la mayoría de los valores reportados estuvieron por debajo del límite normativo, incluyendo varias fiscalizaciones donde se registraron valores inferiores al umbral de detección (<1 UNT). Sin embargo, se identificaron eventos que se acercaron a dicho límite, como en 2018 (1,4 UNT), 2019 (1,1 UNT), y 2022 (1,7 UNT), y un caso de incumplimiento normativo en octubre de 2024, con una turbidez de 4,4 UNT.

El análisis entre los registros de BIODIVERSA y los de la autoridad sanitaria permitió identificar ciertas variaciones, principalmente por la presencia de picos de turbidez en las muestras reportadas por BIODIVERSA que no se reflejaron en los registros de la SEREMI. Estas diferencias podrían atribuirse a la variabilidad en los puntos de muestreo, el momento del día, la metodología analítica empleada o las condiciones hidráulicas del sistema al momento de la fiscalización. Aun así, la fiscalización externa representó una capa adicional de vigilancia sanitaria, fundamental para detectar eventos críticos que podrían no quedar registrados en los monitoreos operacionales, lo que cobra especial relevancia ante el aumento de amenazas asociadas a la crisis climática.

4.1.5.2 *Parámetros inorgánicos y elementos esenciales*

Dentro de otros parámetros relevantes para el análisis de la calidad del agua se incluyeron los parámetros inorgánicos y elementos esenciales, cuyos datos provienen de los registros históricos de muestreo realizados por la SEREMI de Salud del Biobío entre 2011 y 2024 (*ver Anexo H e I*).

El pH es un parámetro clave en la calidad del agua potable, ya que influye en la eficacia de la desinfección y en la estabilidad de las redes de distribución. De acuerdo con la normativa chilena (D.S. N.º 735/2020), el valor permitido debe encontrarse entre 6,5 y 8,5. Los registros de la SEREMI de Salud del Biobío entre 2011 y 2024 mostraron que la mayoría de las muestras se mantuvieron dentro de este rango. Sin embargo, se identificaron tres casos con valores inferiores a 6,5 (muestras del 27-05-2019, 15-11-2021 y 22-04-2024), de los cuales solo el de 2019 corresponde a agua cruda. Valores bajos de pH son relevantes porque pueden favorecer la corrosión de tuberías y la liberación de metales en la red, así como disminuir la eficacia de la cloración.

Respecto al hierro (Fe), este elemento no representa un riesgo directo a bajas concentraciones, pero concentraciones superiores al valor máximo de 0,3 mg/L pueden causar coloración, sabor metálico y problemas operacionales en la distribución. Los resultados mostraron que todas las muestras se mantuvieron bajo el límite normativo. No obstante, se observaron concentraciones más altas en agua potable en los últimos años, alcanzando 0,18 mg/L en 2024. Las muestras de agua cruda (2012 y 2023) se mantuvieron por debajo de 0,1 mg/L, incrustaciones en la red de distribución, las cuales, ante cambios en parámetros físicos del agua, podrían desprenderse y afectar su calidad (Liu *et al.*, 2017).

En general, ambos parámetros se encontraron dentro de la norma, aunque los episodios de pH bajo y los niveles de hierro cercanos al límite permitido destacan la necesidad de mantener el control y la vigilancia de estos parámetros para evitar impactos en la distribución y la aceptabilidad del agua.

4.1.5.3 *Coliformes totales y fecales*

Los coliformes totales constituyen un grupo de bacterias utilizado como indicador microbiológico de la calidad del agua. Su presencia en agua potable evidencia deficiencias en el tratamiento o contaminación en el sistema de distribución, mientras que los coliformes fecales o termotolerantes, y particularmente *Escherichia coli*, indican contaminación fecal reciente y un riesgo sanitario directo. La normativa vigente, en concordancia con las recomendaciones de la

OMS, establece la ausencia de coliformes totales y *E. coli* en 100 mL de muestra (D.S. N.º 735/2020; WHO, 2022).

El análisis de los registros históricos de la SEREMI de Salud del Biobío (*ver Anexo J*), que abarcan el periodo 2011–2025, evidenció que la calidad microbiológica del agua potable en el sistema SSR Huallerehue se mantuvo dentro de la norma, ya que los resultados reportados como “<1 UFC/100 mL” se consideran ausencia según el criterio de los laboratorios. No obstante, en el año 2025 se presentaron dos eventos críticos de detección de coliformes en agua potable. El primero ocurrió el 14 de mayo de 2025, cuando se reportó la presencia de 2 UFC/100 mL de coliformes totales, sin detección de *E. coli*. Este valor supera el límite permitido para sistemas rurales con menos de 10 análisis mensuales y requiere medidas correctivas inmediatas. El segundo evento se registró y uno de los más críticos es del 9 de mayo de 2025, con una concentración de 1.414 UFC/100 mL de coliformes totales y 1 UFC/100 mL de *E. coli*. Este evento representó un incumplimiento grave de la normativa y un riesgo sanitario directo. No obstante, de acuerdo con información entregada por el comité del SSR Huallerehue, el resultado habría sido erróneo y se realizó un remuestreo que no confirmó el hallazgo. Sin embargo, dicho remuestreo no fue incluido en los informes oficiales proporcionados por la SEREMI de Salud, a pesar de que el D.S. N.º 735 establece la obligación de realizar y documentar un nuevo muestreo cuando se detecta la presencia. Por este motivo, y en ausencia del respaldo documental correspondiente, el evento fue igualmente considerado en esta caracterización.

Los dos eventos confirmados ocurrieron en el mes de mayo, correspondiente al periodo de transición otoño-invierno. La coincidencia temporal con una época de mayor pluviosidad podría indicar que la estación lluviosa constituye un periodo de mayor vulnerabilidad para el sistema, por el aumento del arrastre de sedimentos y contaminantes hacia la captación. Aunque no se cuenta con antecedentes de recurrencia anual de contaminación en esta estación, esta asociación sugiere la necesidad de reforzar los mecanismos preventivos y las medidas de control en dicho periodo.

Respecto de los registros de agua cruda analizados por BIODIVERSA (*ver Anexo K*), se observaron concentraciones muy elevadas de coliformes totales y fecales, en algunos casos superiores a 2.419,2 UFC/100 mL, con un comportamiento fuertemente estacional y con picos en primavera y verano. Este patrón es característico de fuentes superficiales contaminadas y, si bien no está sujeto a normativa, incrementa la carga microbiológica a la que se enfrenta el sistema de potabilización.

En conjunto, los resultados mostraron que, a excepción de los eventos de mayo de 2025, la calidad microbiológica del agua potable en el SSR Huallerehue ha permanecido estable y dentro de la norma. Sin embargo, los episodios críticos detectados pusieron en evidencia la necesidad de reforzar los procedimientos de control y vigilancia, así como de mejorar la trazabilidad de los resultados cuando se identifican posibles errores en el análisis.

4.1.5.4 Resultados de muestreo estival en la captación (enero 2025)

Con el fin de complementar los antecedentes históricos de calidad de agua, se realizó un muestreo puntual en la captación del SSR Huallerehue durante enero de 2025. El periodo estival fue seleccionado porque representa un escenario crítico desde el punto de vista ambiental, dado que las altas temperaturas y la disminución de caudales superficiales favorecen la contaminación microbiológica y la variabilidad en parámetros fisicoquímicos del recurso.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos medidos en terreno (*ver Tabla 10*), se observó que el pH del agua fue de 6,8, manteniéndose dentro del rango aceptable (6,5–8,5) establecido por el D.S. N° 735/2010 del Ministerio de Salud (MINSAL, 2010). La conductividad eléctrica resultó baja (0,03 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo que sugiere una mínima mineralización del agua cruda, característica típica de nacientes o cuerpos superficiales alimentados principalmente por escorrentía pluvial (APHA, AWWA & WEF, 2017). La temperatura in situ fue de 18 °C, valor coherente con las condiciones estacionales de la zona, mientras que el oxígeno disuelto se mantuvo entre 89,7 % y 90,4 % de saturación, lo que demuestra una buena aireación del sistema y adecuados procesos de intercambio con la atmósfera (WHO, 2017b).

Tabla 10: Resultados de parámetros fisicoquímicos in situ medidos en agua superficial sin tratamiento medida en terreno, realizado el 21 de enero 2025.

pH	Conductividad [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Temperatura [°C]	Oxígeno disuelto [% saturación – mg/L]
6.8	0,03	18	[89,7-90,4] - [8,12-8,11]

En cuanto a la detección de coliformes fecales y totales en el agua cruda captada (*ver Tabla 11*), esta evidenció contaminación microbiológica. Aunque la concentración de coliformes fecales se mantuvo por debajo de 500 NMP por 100 mL, umbral de calidad “excelente” en aguas recreativas según la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2003a), el recuento de coliformes totales

superó 1.000 NMP por 100 mL. Este hallazgo confirma un riesgo microbiológico significativo previo a cualquier etapa de tratamiento y subraya la necesidad de fortalecer el proceso de desinfección dentro del sistema.

Tabla 11: Resultados parámetros fisicoquímicos en agua superficial sin tratamiento medidas en terreno, realizado el 21 de enero 2025.

Parámetros microbiológicos	Resultado
Coliformes Fecales (E. coli)	14 [NMP/100mL]
Coliformes Totales	1300 [NMP/100mL]

Respecto a los parámetros inorgánicos y esenciales (ver Tabla 12), se destaca el valor de hierro total que, a pesar de encontrarse dentro del rango máximo permitido, su proximidad al valor de referencia señala un potencial riesgo futuro, dado que concentraciones cercanas a ese límite pueden favorecer la formación de incrustaciones, alterar la coloración y el sabor del agua, e incrementar la corrosión en las redes de distribución (EPA, 2023; WHO, 2017b).

Tabla 12: Resultados de otros parámetros críticos en agua superficial sin tratamiento medidas en terreno, realizado el 21 de enero 2025.

Tipo de parámetro	Parámetro [mg/L]	Captación	Referencia*
Esenciales	Hierro Total	0,297	0,3
	Manganeso Total	0,009	0,1
No esenciales	Nitrato	0,085	50
Inorgánicos	Amonio	< 0,02	-

* Art. 10 y Art. 15 bis, Título II De la calidad del agua

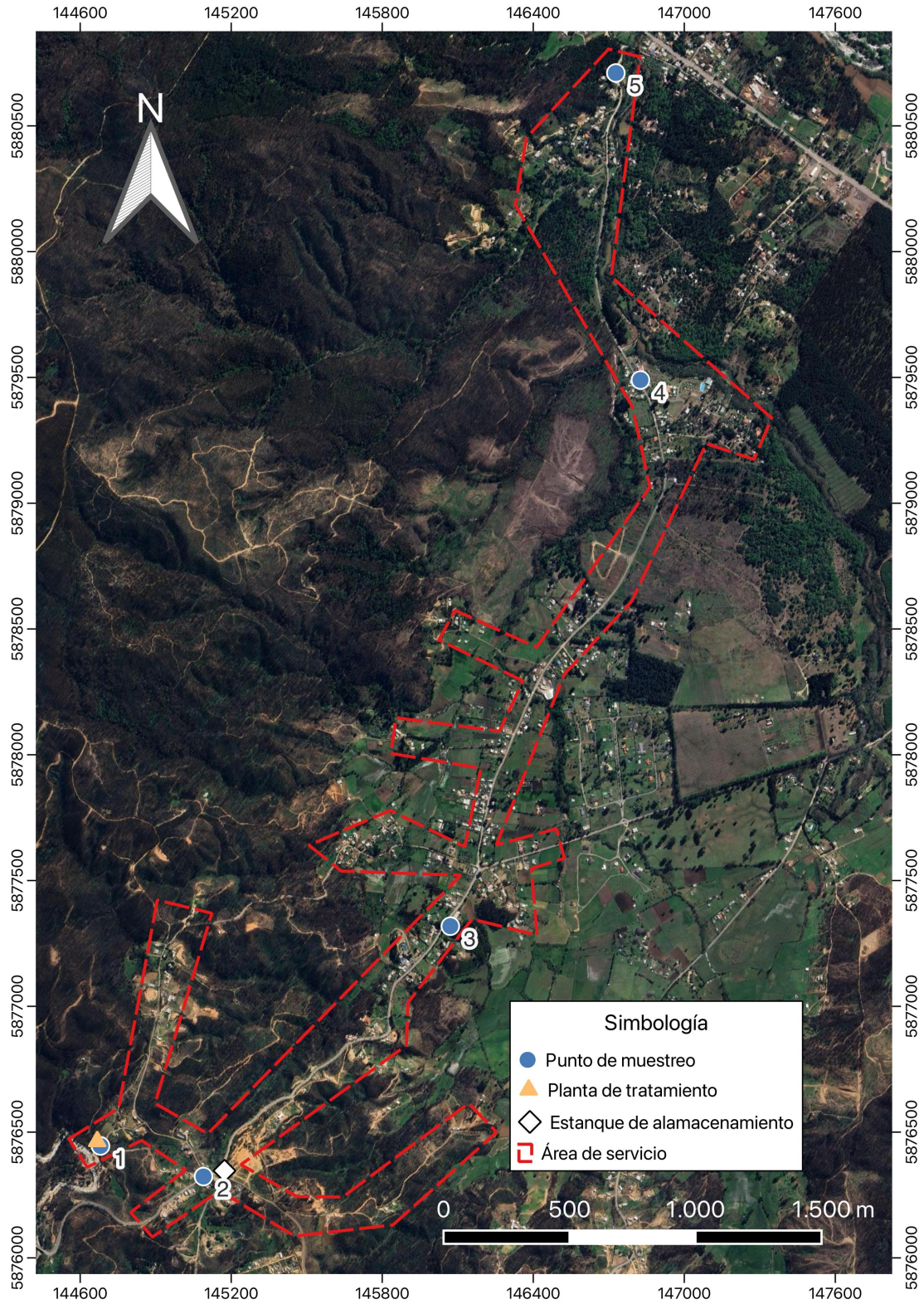
DS N°735/10 (MINSAL) REGLAMENTO DE LOS SERVICIOS DE AGUA DESTINADOS AL CONSUMO HUMANO

4.1.5.5 Resultados de muestreo estival en la red de distribución (enero 2025)

Con el fin de caracterizar la red de distribución, se realizó el 21 de enero de 2025 un muestreo de cloro libre residual y turbidez. El recorrido incluyó puntos medios y extremos, tanto cercanos como alejados del estanque de distribución, con el fin de captar posibles gradientes espaciales de desinfección y calidad (ver Figura 13). En condiciones estivales, las altas temperaturas y la mayor demanda aceleran la pérdida de cloro en la red y reducen su eficacia como desinfectante, aumentando la exposición del sistema a riesgos de recontaminación (WHO, 2017b).

En este contexto, el cloro libre residual constituye un parámetro clave, pues corresponde a la fracción de cloro disponible en el agua después del proceso de desinfección. De acuerdo con la OMS, sus niveles deben mantenerse entre 0,2 y 0,5 mg/L (WHO, 2022). A nivel nacional, el D.S. N.º 735/2020 establece un mínimo de 0,20 mg/L en cualquier punto de la red, permitiendo hasta un 5 % de muestras bajo este valor, aunque ninguna con resultado igual a cero.

Figura 13: Puntos de toma de muestras de verano de cloro residual y turbidez en red, realizado el 21 de enero 2025.



Con base en las mediciones de cloro libre residual en red (*ver Tabla 13*), se identifican dos hechos principales. Primero, el residual clorado decayó de forma continua desde la toma más cercana a la planta de tratamiento hasta la más alejada, ubicándose en este último punto por debajo del umbral mínimo recomendado para garantizar la desinfección. Segundo, en el punto intermedio se registró un pico de recarga de cloro, lo cual se atribuyó a que la muestra se tomó de una llave interior en el domicilio, donde las temperaturas fueron posiblemente menores y se redujo la velocidad de dispersión del cloro en comparación con las llaves exteriores expuestas a las altas temperaturas de verano o a mezclas hidráulicas. De manera paralela, la turbidez aumentó a lo largo de la red, evidenciando la influencia de los sólidos en suspensión en el consumo de desinfectante anteriormente mencionado.

Tabla 13: *Medición en red de cloro residual y turbidez, realizado el 21 de enero 2025.*

Punto (N°)	Cloro libre residual	Turbidez
1 (captación)	1,03	0,66
2	0,5	0,59-0,61
3	1,11	0,8
4	0,56	1,91-1,88
5	0,06	4,68-4,06

4.1.6 Encuesta a operarios de del SSR Huallerehue

Con el propósito de complementar la caracterización del SSR de Huallerehue, se aplicó una encuesta a dos operarios del sistema. Ambos declararon residir en la localidad desde hace más de diez años y contar con una experiencia laboral en el SSR de entre cinco y diez años. Sus respuestas permitieron identificar percepciones relevantes en torno a los cambios ambientales, los impactos operacionales y las estrategias de respuesta implementadas por el servicio.

En relación con las transformaciones climáticas, ambos operarios señalaron haber percibido cambios en los últimos años, atribuyéndolos principalmente a causas naturales. No obstante, se observó una diferencia en el acceso a información sobre la crisis climática: uno de los operarios indicó haber recibido abundante información, mientras que el otro declaró no haber recibido ninguna. A pesar de esta diferencia, ambos coincidieron en que la crisis climática estaba ocurriendo, que presentaba consecuencias en la región y que afectaba tanto a los SSR como a la salud de las personas usuarias.

Entre los principales impactos observados, se identificaron fenómenos como inundaciones, deslizamientos de tierra, disminución del caudal en los pozos particulares de las viviendas, turbidez del agua y efectos post incendios forestales, todos ellos con repercusiones directas en la operación del sistema. Además, ambos operarios mencionaron su preocupación por posible contaminación por pesticidas y la alteración de la calidad del agua como efectos presentes en su experiencia, junto con la interrupción constante del suministro eléctrico durante eventos extremos.

Respecto a las medidas de preparación, se señalaron diversas acciones implementadas de forma local, como los ajustes operacionales según la temporada, incorporación de equipamiento, monitoreo de pérdidas, control del ingreso de animales y mantenimiento del sistema. Sin embargo, ambos operarios afirmaron que el SSR no se encontraba preparado para enfrentar eventos climáticos extremos, lo que refleja una carencia de planificación estructural y apoyo externo.

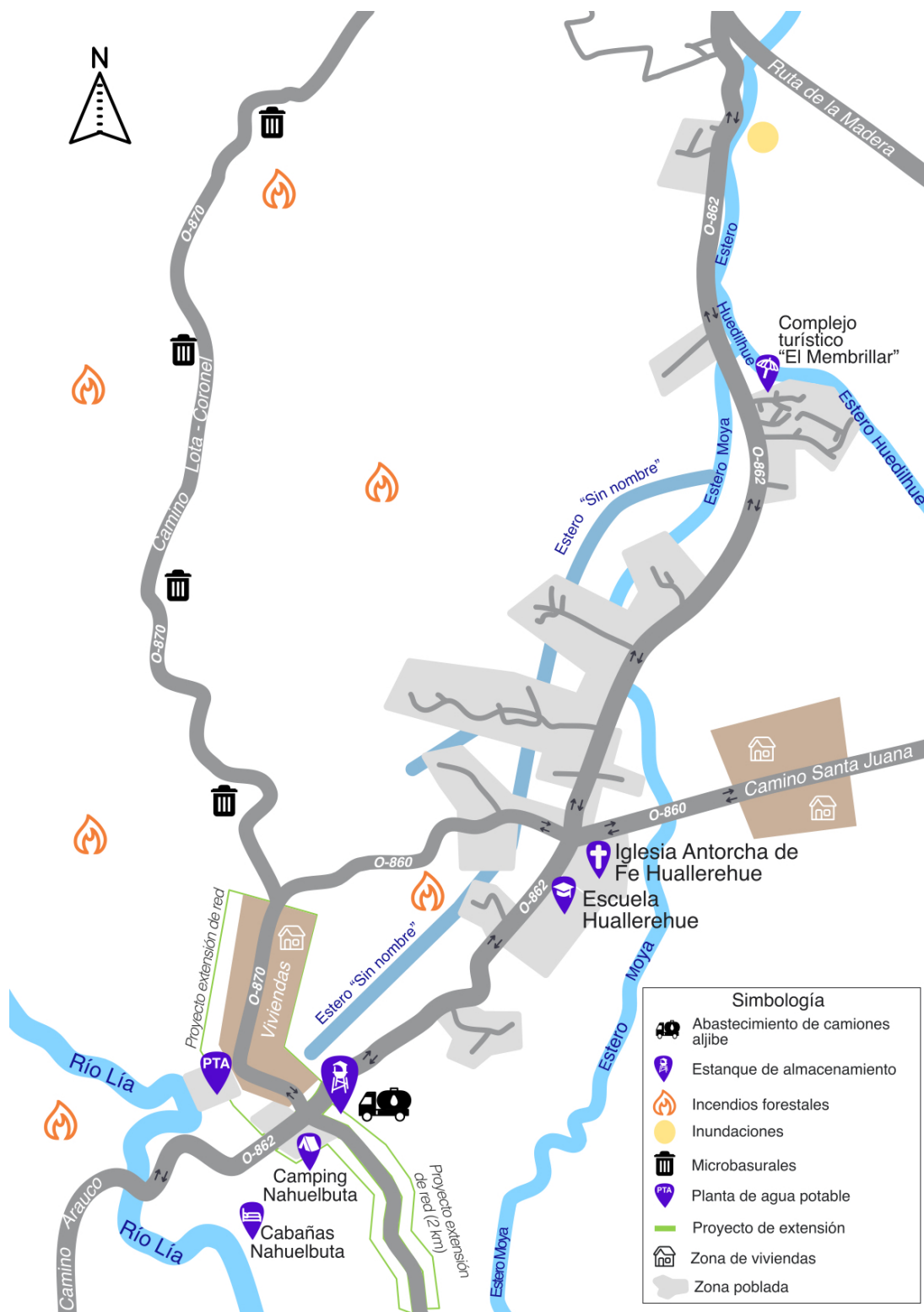
En cuanto a la gestión de riesgos, se expresó una mayor preocupación por la cantidad disponible de agua cruda en comparación con su calidad, destacando la sequía como la principal amenaza. Además, se manifestó la necesidad de establecer una coordinación directa con centros de salud del sector, a través de mecanismos de comunicación simples como llamadas telefónicas o correos electrónicos, para reportar posibles afecciones vinculadas al consumo de agua en contexto de crisis climática.

Finalmente, ninguno de los operarios había recibido asesoría, capacitación o inversión específica en materia climática. Ambos señalaron que dicho apoyo era necesario para enfrentar los desafíos actuales, especialmente en temas de mantención, reparación e implementación de estrategias preventivas.

4.1.7 Cartografía participativa en SSR Huallerehue

La aplicación de la cartografía participativa permitió identificar, desde la experiencia de los miembros del comité de APR y de los operarios del servicio, los elementos críticos del territorio, representando espacialmente los principales aspectos y preocupaciones vinculados al funcionamiento y las amenazas que pudieran afectar al SSR. La información recopilada se integró en la *Figura 14* la cual sistematizó los aportes de los cinco participantes en la actividad.

Figura 14: Cartografía participativa de la localidad de Huallerehue, realizada el 4 de junio de 2025.



Fuente: Comité de Agua Potable Rural Huallerehue (2025).

Entre los aspectos más relevantes, los participantes identificaron sectores de la zona de servicio que presentan riesgo de inundación durante eventos de crecida, principalmente asociados al estero Huedilhue, curso de agua que proviene del río Biobío y que afecta áreas cercanas a la infraestructura del sistema. De igual manera, se destacó la existencia de un curso de agua utilizado por la comunidad para consumo, por preferencia organoléptica, argumentando que “*el sabor es mejor*” que el del agua potabilizada, y riego domiciliario, el cual no se encuentra representado en las bases cartográficas digitales oficiales, lo que evidencia la relevancia del conocimiento local para complementar la información territorial disponible.

Por otra parte, permitió precisar la ubicación de puntos críticos de la red de distribución y captación, zonas expuestas a incendios, que se concentraron en las laderas noroeste del del área de servicio, coincidiendo espacialmente con sectores que, en los análisis de NDVI multitemporal, mostraron una drástica caída en el índice de vegetación entre los meses posteriores al siniestro y los datos preincendio. Esta pérdida de cobertura vegetal incrementó la susceptibilidad al arrastre de sedimentos y compuestos orgánicos hacia el sistema, comprometiendo la calidad del agua captada y elevando la carga de turbiedad en la planta.

También se observó que los microbasurales se ubicaron preferentemente a lo largo del camino Lota–Coronel, en la parte alta o lomas de mayor cota respecto a la cuenca aportante del sistema. Dicha proximidad sugiere un potencial aporte de contaminantes químicos, sólidos y patógenos hacia la fuente de captación, especialmente durante episodios de lluvia intensa. Su distribución lineal a lo largo de la vía principal evidenció la necesidad de reforzar las políticas de manejo de residuos sólidos y el control de vertidos para reducir la carga contaminante incidente sobre el agua cruda.

Además, se identificaron sectores en los que, frente a contingencias o emergencias operacionales, ha sido necesario recurrir al abastecimiento mediante camiones aljibe. Los participantes destacaron que el agua transportada por estos vehículos se destina exclusivamente a reponer el volumen del estanque de almacenamiento del sistema, sin distribución directa a los domicilios, de manera de mantener la potabilidad bajo los procedimientos habituales de cloración y control en la infraestructura del SSR.

En cuanto a la gestión del recurso, se documentó una situación de uso indebido por parte de un establecimiento turístico que había utilizado agua proveniente del sistema para llenar piscinas, hecho que fue regularizado por el comité a través de la suspensión temporal del servicio y el

retiro del medidor. Los asistentes advirtieron que situaciones similares podrían presentarse en otros recintos sin que exista aún un control efectivo.

Otro aspecto destacado fue la prioridad que la comunidad otorga a la calidad y continuidad del suministro de agua potable para grupos considerados más vulnerables, especialmente las personas adultas mayores y el estudiantado de la Escuela de Huallerehue, establecimiento con Programa de Integración Escolar (PIE). Los participantes enfatizaron que cualquier interrupción o deterioro en el servicio podría afectar gravemente la salud y bienestar de estos grupos, reforzando la necesidad de una gestión equitativa y responsable del recurso.

La síntesis de estos hallazgos reflejó cómo la información territorial aportada por los miembros del comité del APR y de los operarios del servicio complementó el análisis técnico del sistema, permitiendo identificar áreas críticas y priorizar medidas de gestión del SSR frente a escenarios de variabilidad y crisis climático.

4.2 Factores de riesgo en salud pública

La aplicación de la lista de chequeos de factores de riesgo, elaborada previamente (*ver Anexo N*) a partir de información bibliográfica y del levantamiento territorial (OE-1), permitió identificar los principales factores que afectan al SSR de Huallerehue. Este instrumento consideró un total de 82 factores de riesgo en salud y se aplicó en terreno con un operario y el presidente del comité, quienes aportaron su experiencia y conocimiento local para reconocer tanto factores ya ocurridos como aquellos que podrían presentarse dentro del sistema.

De los 82 factores incluidos en la lista de chequeos, se identificaron 59 factores presentes en el sistema, lo que corresponde a más de dos tercios del total y evidencia un nivel significativo de exposición a amenazas internas y externas. La *Tabla 14* muestra un resumen de la distribución de estos factores según los componentes del sistema evaluados. Los resultados completos de la identificación de factores se presentan en el *Anexo L*.

Tabla 14: Distribución de los factores de riesgo en salud identificados en el SSR Huallerehue según componente del sistema, con respecto a la lista de chequeos aplicada.

Componente del sistema	Factores de riesgo en salud de lista de chequeos diseñada	Factores de riesgo en salud identificados en el servicio
Cuenca	6	4
Captación	17	15
Redes de conducción y distribución	9	6
Tratamiento	8	8
Desinfección	4	3
Almacenamiento	6	4
Operación y control	8	5
Gestión y gobernanza	12	9
Salud de trabajadores y usuarios	12	5
Total	82	59

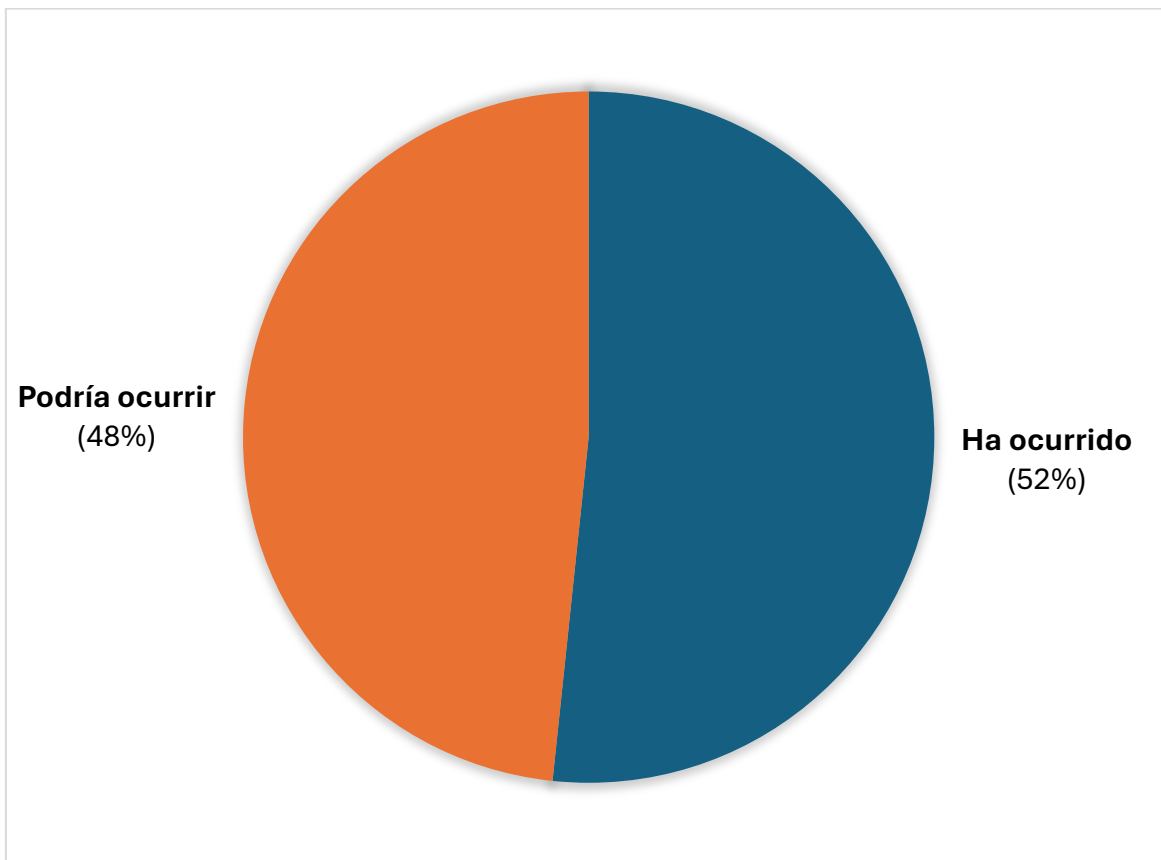
La mayor cantidad de factores de riesgo en salud se encontró en el componente de captación. Estos se relacionaron con la variabilidad en la cantidad y calidad del agua cruda, el deterioro de la infraestructura de captación y la falta de protección perimetral. Que 15 de los 59 factores se concentraran en esta etapa evidencia que la captación es un punto vulnerable donde inciden diversas amenazas externas que afectaban al resto del sistema.

En segundo lugar, se encuentra el componente de gestión y gobernanza. Esta categoría, agrupa aspectos administrativos y organizacionales como baja rotación de cargos, dependencia de una única fuente de financiamiento y la ausencia de redes de apoyo. La presencia de estos factores reflejó un riesgo sistémico: las limitaciones en la gobernanza pueden amplificar los efectos de amenazas técnicas o ambientales. En la práctica, una rotación baja y la dependencia de una sola fuente de recursos reducen la redundancia operativa y dificultan asegurar insumos, contar con respaldo de energía, mantener stock de coagulantes y renovar equipos, lo que retrasa la respuesta frente a crecidas, sequías o incendios. La falta de redes con otros SSR, autoridades o

actores comunitarios, debilita el intercambio de asistencia, repuestos y personal entre sistemas, por lo que se prolongan las interrupciones y aumenta la probabilidad de incumplimientos de calidad durante eventos extremos (WHO, 2017b; GWP & UNICEF, 2017; Solís & Serebrisky, 2023).

Respecto a la ocurrencia, los factores se clasificaron en dos categorías: aquellos asociados a eventos que ya se habían experimentado en el sistema y aquellos considerados probables a partir de la experiencia y percepción de los actores locales. Los resultados mostraron (ver Figura 15) que una parte importante de los factores correspondió a situaciones previamente ocurridas, tales como fallas en la infraestructura de captación, variaciones de caudal, filtraciones en la red de distribución y la interrupción del suministro eléctrico. Este hallazgo evidenció que los factores de riesgo no se limitaron a amenazas potenciales, sino que ya habían tenido efectos directos en la continuidad y seguridad del servicio.

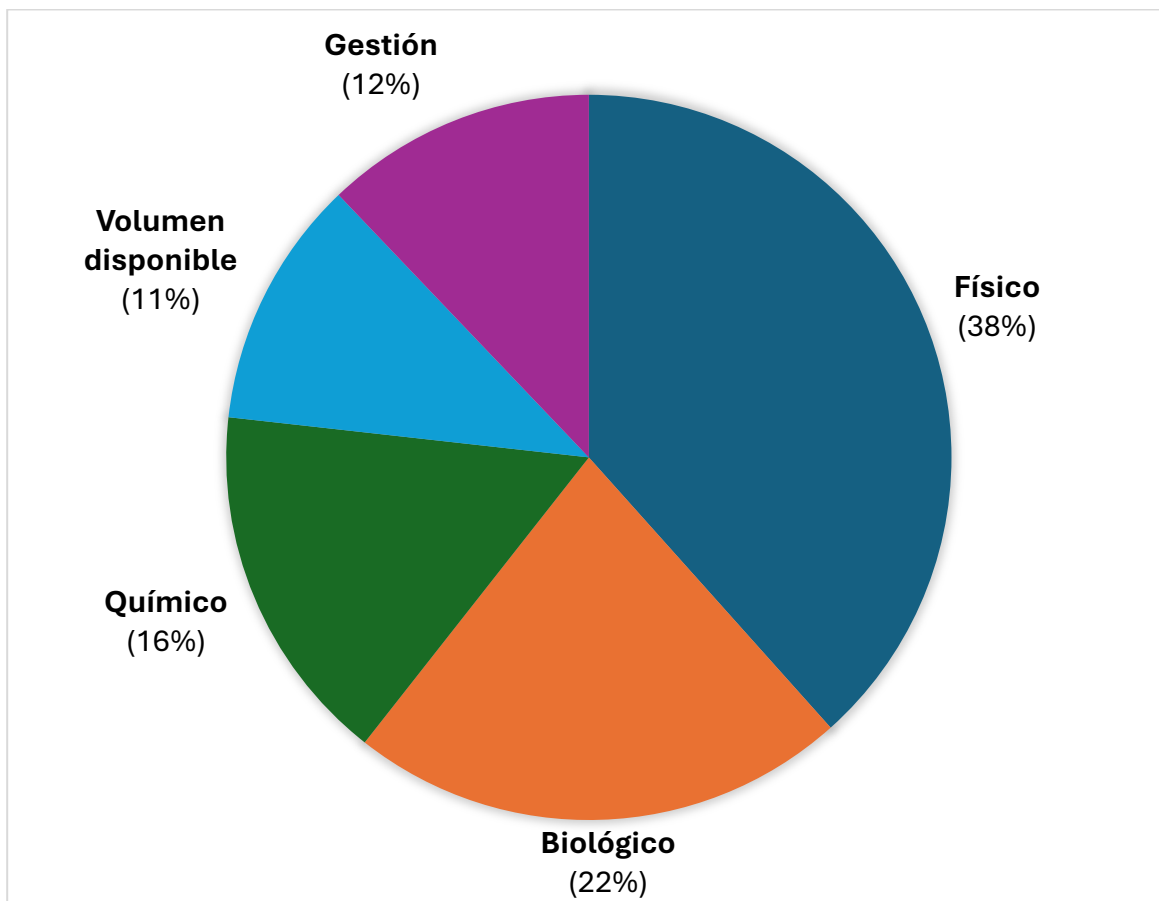
Figura 15: Clasificación de los factores de riesgo identificados en el SSR Huallerehue según su ocurrencia percibida



La categoría de factores que podrían ocurrir incluyó principalmente escenarios asociados a amenazas naturales extremas, efectos de la crisis climático y situaciones operativas que aún no se han materializado pero que representan una amenaza latente. La percepción de los operarios fue clave en esta clasificación, ya que aportó la memoria de eventos pasados y su interpretación sobre amenazas no resueltas.

El análisis por tipo de peligro (*ver Figura 16*) permitió agrupar los factores identificados de acuerdo con su naturaleza. Se observó que la categoría física concentró la mayor proporción de factores (38 %), principalmente asociados a fallas estructurales y vulnerabilidades en la infraestructura de captación, red, almacenamiento y tratamiento. En segundo lugar, los peligros biológicos representaron el 22 %, vinculados a la contaminación microbiológica derivada de actividades en la cuenca y la ausencia de barreras efectivas en la protección de la fuente. Los peligros químicos alcanzaron el 16 % y se relacionaron con la presencia potencial de contaminantes como nutrientes, plaguicidas y metales en el recurso hídrico. La categoría volumen disponible correspondió al 11 % e incluyó los factores derivados de la disminución o variabilidad de los caudales, los cuales comprometen la capacidad del sistema para mantener el suministro. Finalmente, los peligros asociados a la gestión representaron el 12 %, reflejando limitaciones organizacionales y operativas, tales como la falta de protocolos, capacitación o insumos críticos. Este patrón mostró que los factores más recurrentes se concentraron en problemas estructurales y de calidad del agua, seguidos por debilidades en la gestión interna del sistema.

Figura 16: Distribución de los factores de riesgo identificados en el SSR Huallerehue según el tipo de peligro



Los comentarios entregados por los operarios y la directiva del SSR de Huallerehue durante la aplicación de la lista de chequeo permitieron confirmar y complementar varios de los resultados obtenidos. Muchas de sus observaciones coincidieron con factores ya identificados, como el desvío del río en verano para mantener el abastecimiento, las detenciones del proceso por acumulación de sedimentos en días de alta turbiedad, o las dificultades de acceso a la planta en contextos de lluvia intensa. Estos relatos no solo validaron los factores previamente analizados, sino que también permitieron comprender con mayor claridad cómo estas situaciones afectan el funcionamiento cotidiano del sistema y a las personas que lo operan.

Durante la aplicación de la lista de chequeo se recopilaron comentarios de interés por parte del operario y directiva del servicio. La *Tabla 15* los presenta agrupados según dimensión, integrando estos aportes al análisis. El conocimiento local obtenido en terreno entregó una perspectiva práctica sobre los factores de riesgo, lo que fortaleció la evaluación y permitió visibilizar aspectos que no siempre se reflejan en documentos normativos o diagnósticos externos.

Tabla 15: Comentarios de operarios sobre factores de riesgo en salud, organizados por dimensión del sistema

Dimensión	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso asociado	Comentario de operario/directiva
Fuente y cuenca	Aporte de sedimentos al agua cruda desde escorrentía superficial o arrastre de suelos agrícolas y forestales.	Ingreso de sedimentos, fertilizantes y otros contaminantes; obstrucción de captación.	Han tenido que parar la planta por acumulación de arena en captación; mencionaron actividades agrícolas y forestales cerca.
Infraestructura del sistema	Estructura de captación con diseño o mantenimiento deficiente.	Inestabilidad estructural, mayor exposición a arrastre de sólidos.	Durante el verano, desvían el río para que el agua se acumule frente a la captación.
Operación y control	Falta de redundancia o respaldo energético en equipos críticos.	Interrupción del funcionamiento por cortes eléctricos.	Mencionaron fallas en equipos eléctricos debido a interrupciones de energía.
Gestión y gobernanza	Ausencia de redes de coordinación o apoyo técnico con otros sistemas de agua.	Limitaciones para recibir ayuda o compartir recursos en emergencias.	Destacaron no tener redes de contacto con otros SSR/APR.
Usuarios y salud ocupacional	Condiciones inseguras de acceso a la planta en condiciones climáticas adversas.	Riesgo de accidentes laborales durante trayectos a pie por caminos deteriorados.	Durante lluvias intensas deben caminar a la planta, lo cual consideran peligroso.

La aplicación de la lista de chequeos permitió identificar de forma estructurada los factores de riesgo en salud presentes en el SSR de Huallerehue. Sin embargo, evidenció aspectos susceptibles de mejora en futuras aplicaciones. En algunos casos, los factores requerían mayor especificidad para evitar ambigüedades, y varios de ellos se asociaban a más de un evento peligroso, lo que obligó a realizar ajustes posteriores para mantener la coherencia con los criterios de referencia. Aunque la lista se consolidó como una herramienta útil para guiar la reflexión, su aplicación demandó más tiempo del previsto, tanto por la extensión del material como por las dificultades de comunicación derivadas del uso de tecnicismos al abordar los factores. Esta situación exigió un mayor esfuerzo en la explicación y comprensión de los

términos, lo que constituye un desafío recurrente en contextos rurales donde operarios y directivos asumen múltiples responsabilidades, en concordancia con lo documentado para la implementación de PSA en pequeños sistemas de agua potable (Lockhart *et al.*, 2014; WHO, 2017b).

Finalmente, el diseño fue descriptivo y transversal. Este tipo de diseño observó exposición y resultado en un mismo momento, lo que no permitió establecer precedencia temporal ni, por tanto, inferencias causales entre amenazas, prácticas operativas y resultados del servicio. En consecuencia, los hallazgos se interpretaron como patrones y asociaciones que orientaron la discusión, pero no como relaciones de causa y efecto directas (Sedgwick, 2014).

A pesar de estas limitaciones, la experiencia permitió recoger observaciones valiosas, que podrían potenciarse si se incluye un espacio más claro para registrar comentarios abiertos, percepciones locales o ejemplos concretos. De esta forma, se fortalecería el enfoque participativo y se visibiliza el conocimiento práctico que poseen los actores locales, especialmente relevante en un contexto de amenazas crecientes por la crisis climática.

4.3 Análisis de factores de riesgo en salud presentes en el SSR Huallerehue, en el contexto del escenario climático

4.3.1 Escenario climático para la localidad de Huallerehue

Para elaborar las proyecciones climáticas fue necesario identificar las amenazas relevantes para el territorio. De un listado inicial de siete amenazas climáticas, solo cinco resultaron aplicables a la comuna de Santa Juana. La *Tabla 16* presenta estas amenazas identificadas, que constituyen la base del análisis desarrollado en este apartado.

Tabla 16: Identificación de las amenazas climáticas para la localidad de Huallerehue

Amenaza climática	Impacto en SSR	Fuente
Olas de calor	Las temperaturas extremas aumentan la evaporación del cloro en el sistema de desinfección, disminuyendo su eficacia. También elevan la demanda de agua potable y aceleran el deterioro de componentes expuestos al sol, como estanques, cañerías y válvulas.	SitRural (2021); MMA (2020); Solís, B., & Serebrisky, T. (2023)
Incendios forestales	Pueden dañar directamente la infraestructura del SSR (red de distribución, captación, estanques), interrumpir el acceso a la planta y contaminar las fuentes de agua con cenizas y sedimentos. También deterioran la cobertura vegetal protectora de la cuenca.	SitRural (2021); MMA (2020)
Sequía	La disminución de precipitaciones y aumento de días secos afecta la disponibilidad de caudal en la captación superficial, comprometiendo la continuidad del suministro. Además, puede concentrar contaminantes al reducir el volumen del recurso disponible.	MMA (2020); SitRural (2021); CR2 (2023)
Precipitaciones intensas	Episodios de lluvia extrema generan aumentos bruscos de turbidez en la fuente de agua, arrastre de sedimentos y materia orgánica, saturación de filtros y riesgo de rebalse en estanques. También dificultan el acceso y operación del sistema por corte de caminos.	MMA (2020); WHO (2022)
Olas de frío	Las bajas temperaturas afectan la operación del sistema al provocar congelamiento de tuberías superficiales, dificultar el acceso a la planta y reducir la eficacia de ciertos procesos de tratamiento. También puede ralentizar la respuesta operativa ante emergencias.	MMA (2020); WHO (2017b)

El análisis de las proyecciones climáticas determinó que olas de calor, incendios forestales y sequía aumentarían a futuro, mientras que precipitaciones intensas y olas de frío se mantienen, ya que la diferencia entre periodos fue mínima y es relevante continuar estudiando sus impactos dentro del territorio. Las proyecciones se basaron en la lectura conjunta de los indicadores. En olas de calor, el alza de la temperatura máxima diaria, la mayor cantidad de días sobre 28 °C y la prolongación de episodios cálidos apuntaron a un incremento de la amenaza. En incendios

forestales, el aumento de días cálidos y de la máxima estival, junto con la alta presencia de plantaciones, elevó la probabilidad de ocurrencia. En sequía, el aumento de días secos y el mayor porcentaje de eventos de sequía, combinadas con descensos de precipitaciones, indicaron intensificación. En contraste, para precipitaciones intensas la pluviosidad máxima diaria y los días con lluvias muy intensas mostraron variaciones acotadas, y para olas de frío se observó una reducción en la duración de episodios fríos junto con leves aumentos de la mínima invernal, por lo que ambas amenazas se mantuvieron. La síntesis de valores históricos y futuros por indicador, comparando 1980 a 2010 con 2035 a 2065 bajo un escenario de altas emisiones, y la clasificación de cada amenaza se encuentran en la *Tabla 17*.

Tabla 17: Amenazas proyectadas para la localidad de Huallerehue

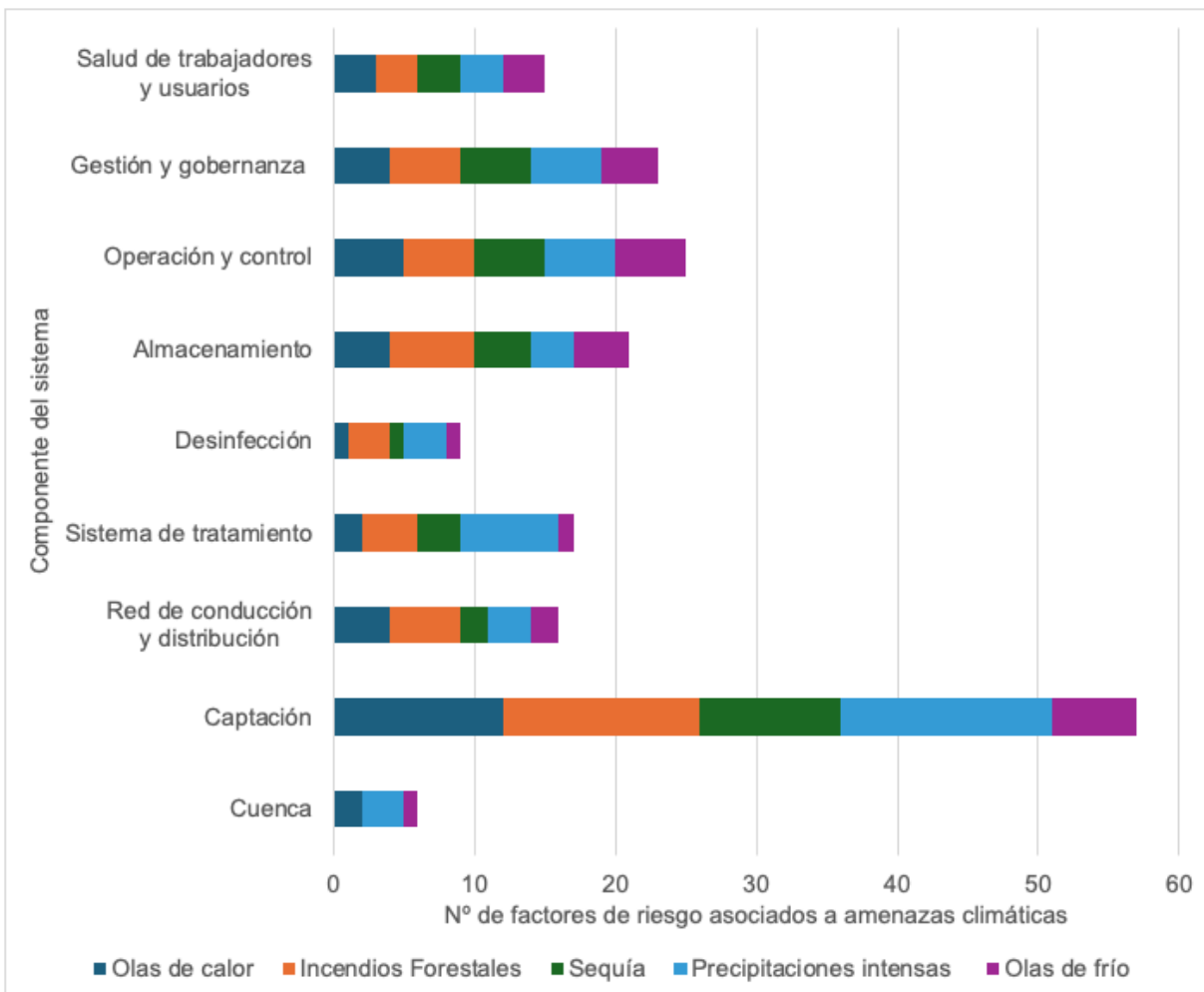
Amenaza climática	Indicador ARClím	Valor		Proyección
		Histórico	Futuro	
Olas de calor	- Promedio de temperatura máxima diaria anual (°C)	19,5	21,2	Aumento
	- Olas de calor > 28°C (días)	21	40	
	- Duración de episodios cálidos > 3 días (días)	7	31	
Incendios forestales	- Olas de calor > 28°C (días)	21	40	Aumento
	- Temperatura máxima diaria en verano (°C)	24,5	26,5	
	- Presencia de plantación forestal	Alta	Alta	
Sequía	- Índice simple de intensidad de precipitación (mm/día)	4,6	3,96	Aumento
	- Días secos consecutivos (días)	45	48	
	- Frecuencia de sequía (%)	13,30	26,60	
Precipitaciones intensas	- Precipitación máxima diaria (%)	91,92	90,76	Sin variación relevante
	- Precipitación muy intensa (días)	49	43	
Olas de frío	- Duración de episodios fríos <3 días (días)	6,0	1,5	Sin variación relevante
	- Promedio de temperatura mínima en invierno (°C)	6	7	

Fuente: ARClím, (2025).

4.3.2 Análisis institucional de los factores de riesgo

Del análisis y la sistematización de la evaluación participativa aplicada al SEREMI de Salud de la Región del Biobío (*ver Anexo O*) se obtuvo la *Figura 17*, que mostró para cada componente del sistema el número total de factores de riesgo vinculados a distintas amenazas climáticas. Cada barra apilada correspondió a un componente y su longitud reflejó la cantidad de factores asociados, mientras que los segmentos de color indicaron la distribución por tipo de amenaza. En estos resultados, multiamenaza significó que un mismo factor se vinculó con dos o más amenazas climáticas (precipitaciones intensas, sequía, incendios forestales, olas de calor u olas de frío); en la figura esto se evidenció como coexistencia de varios segmentos de color dentro de un mismo componente, lo que refleja concurrencia o encadenamiento de amenazas sobre esos factores y, por tanto, mayor preocupación sobre dicho componente.

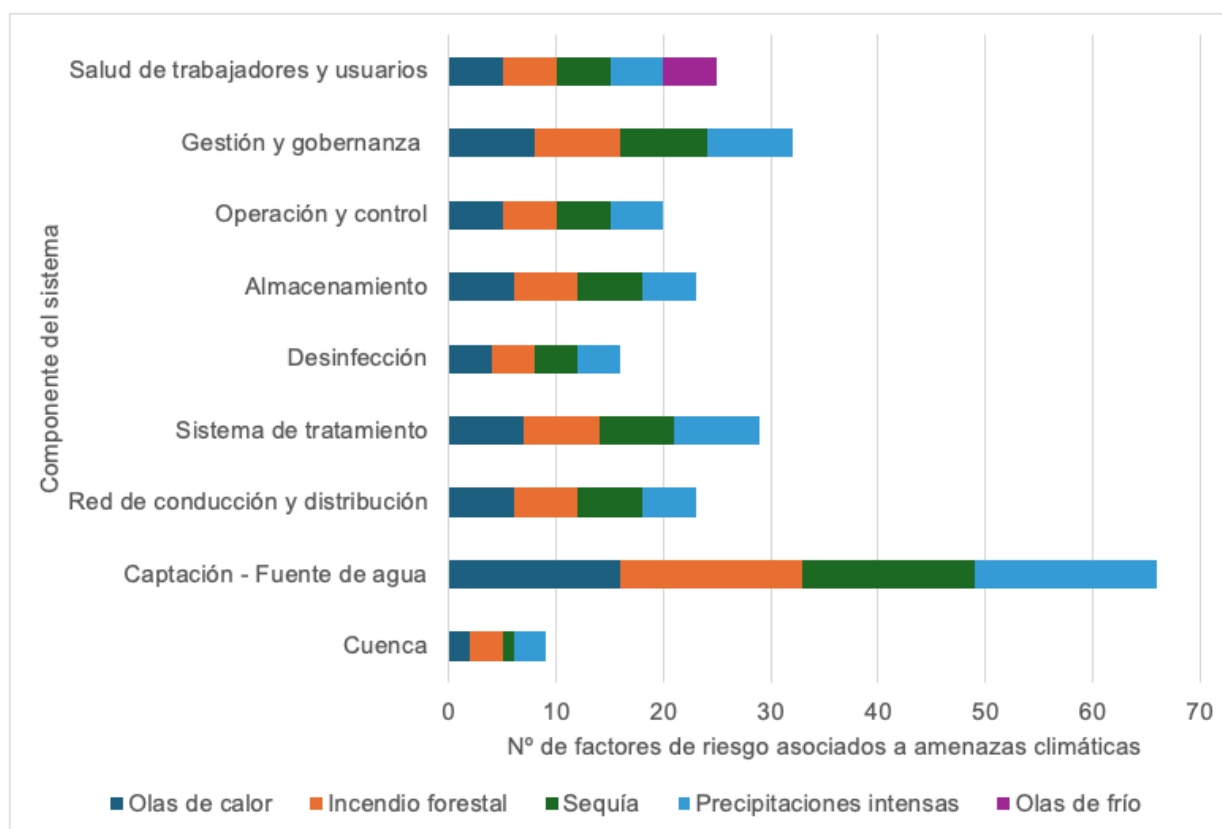
Figura 17: Factores de riesgo asociados a amenazas climáticas por componentes según SEREMI de Salud de la Región del Biobío



Se observa una concentración marcada en captación, que supera ampliamente los otros componentes, con amenazas relacionadas principalmente a precipitaciones intensas (15) e incendios forestales (14). En un segundo nivel se ubica operación y control, donde se atribuyó la misma cantidad de factores (5) a cada amenaza y gestión y gobernanza, donde destacaron relaciones con precipitaciones intensas (5) y, en menor medida, olas de calor (4) y sequía (4).

En cuanto a los resultados obtenidos de la revisión de la evaluación participativa aplicada a la DIRPLAN, MOP de la Región del Biobío (*ver Anexo P*), se obtuvo la *Figura 18* donde se observó al igual que en el SEREMI de Salud, una concentración en la captación con una distribución casi pareja entre precipitaciones intensas (17), incendios forestales (17) y sequía (16), sin registros para olas de frío. En un segundo lugar se encuentra el componente gestión y gobernanza y sistema de tratamiento. Con magnitudes intermedias se observa el almacenamiento y red de conducción y distribución.

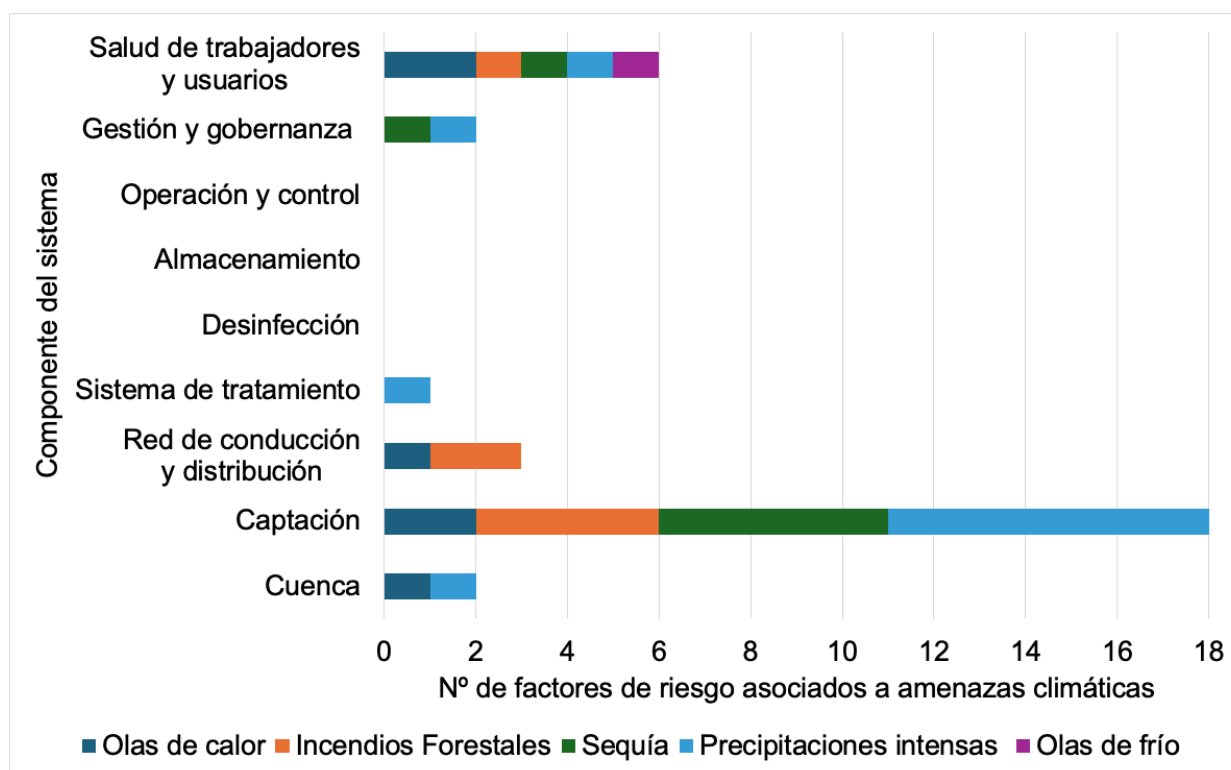
Figura 18: Factores de riesgo asociados a amenazas climática por componente según DIRPLAN, SEREMI MOP de la Región del Biobío



Por su parte, de los resultados obtenidos de la evaluación participativa aplicada a la DOH, MOP de la Región del Biobío (*ver Anexo Q*), se obtuvo la *Figura 19* donde se observó, al igual que en

las demás instituciones, una concentración marcada en el componente de captación, con un total de 18 factores distribuidos principalmente entre precipitaciones intensas (7), sequía (5) e incendios forestales (4). En un segundo nivel se situó la red de conducción y distribución con 3 factores vinculados a incendios forestales y, con magnitudes menores, los componentes gestión y gobernanza y cuenca, con 2 factores cada uno. Los componentes de desinfección, almacenamiento y operación y control no registraron asociación con amenazas climáticas, principalmente, por el proyecto de ampliación del SSR, que incorpora medidas que reducen la los riesgos climáticos en dichos componentes.

Figura 19: Factores de riesgo asociados a amenazas climática por componente según DOH, SEREMI MOP de la Región del Biobío



Se destacó que las olas de frío tuvieron presencia puntual tanto en las respuestas de la DOH como de DIRPLAN, concentrándose principalmente en el componente de Salud de trabajadores y usuarios. En contraste, la SEREMI de Salud las asoció, al menos, a un factor en todos los componentes.

Finalmente, un elemento distintivo en los resultados fue la alta presencia de respuestas “no sé” en el insumo entregado por la SEREMI de Salud, ausentes en las respuestas de DIRPLAN y de la DOH. Esta asimetría influyó en la amplitud y la certeza de la información recopilada, ya que,

en el caso de la SEREMI de Salud, parte de la incertidumbre se relacionó con decisiones operativas o de gestión que no forman parte de sus atribuciones directas. En contraste, DIRPLAN y la DOH, al estar más vinculados a la planificación territorial y a la ejecución de proyectos de infraestructura, proporcionaron respuestas más certeras. Estas diferencias se deben principalmente al rol institucional de cada entidad, mientras la SEREMI de Salud se centra en la protección de los usuarios a través de la calidad del agua, DIRPLAN prioriza la planificación y coordinación de proyectos, y la DOH es responsable de la materialización de obras y mejoras en infraestructura. En este sentido, el grado de claridad en las respuestas refleja no solo el conocimiento disponible, sino también las atribuciones de las organizacionales que enmarcan la toma de decisiones en cada institución. Tal como señalan Ferrero *et al.* (2019) y Herschan *et al.* (2020), la construcción de capacidades interinstitucionales y el fortalecimiento de equipos multisectoriales resultan esenciales para reducir estas brechas de incertidumbre y asegurar que las evaluaciones participativas sean útiles para guiar medidas concretas en el territorio.

4.3.3 Análisis de factores de riesgo por nivel de preocupación

Con el fin de profundizar en el análisis de los factores, se recopiló el nivel de preocupación asignado por las instituciones participantes en la evaluación participativa (*ver Tabla 18*). La clasificación se realizó con la escala cualitativa definida en la matriz, lo que permitió conocer qué factores generan mayor preocupación desde la perspectiva de los organismos encargados de la gestión, funcionamiento y fiscalización del SSR.

Tabla 18: Distribución de factores por nivel de preocupación, por institución

Nivel de preocupación	SEREMI de Salud	SEREMI MOP	
		DIRPLAN	DOH
Severa (4)	31	0	1
Alta (3)	17	41	20
Media (2)	8	16	23
Baja (1)	3	2	15

De la distribución de los factores por nivel de preocupación, la SEREMI de Salud registró 31 factores en nivel 4, 17 en nivel 3, 8 en nivel 2 y 3 en nivel 1; 45 fueron multiamenaza. Al focalizar el análisis en el nivel 4 (*ver Tabla 19*), los componentes mayormente preocupantes fueron

almacenamiento, desinfección y salud de trabajadores y usuarios, además de sistema de tratamiento por un factor crítico puntual. En almacenamiento preocuparon factores como la presencia de fisuras, grietas u otros daños visibles en la estructura del estanque y estanques sin protección contra la luz solar ni control de temperatura. En desinfección resaltaron el diseño o mantenimiento insuficiente del sistema y los cambios en la calidad del agua cruda que reducen su eficacia, por ejemplo aumentos de turbiedad o materia orgánica. En salud de trabajadores y usuarios se priorizó el trabajo prolongado en condiciones climáticas extremas sin protección adecuada y la mayor exposición de personas vulnerables. En sistema de tratamiento, el emplazamiento de la planta o equipos en zonas susceptibles a inundación se clasificó con nivel 4 por su riesgo operativo durante lluvias intensas. (Resultados completos en *Anexo O*)

Por otro lado, DIRPLAN no clasificó factores en nivel 4, concentrándose principalmente en el nivel 3 (41), seguido de 16 en nivel 2 y 2 en nivel 1; 56 fueron multiamenaza. Específicamente, DIRPLAN mantuvo la atención en captación y asignó nivel 3 de forma consistente a factores como ubicación de la captación en zonas expuestas, uso de fuentes alternativas sin evaluación previa y estancamiento en la fuente. También asignó 3 a sistema de tratamiento con factores como el emplazamiento en zonas susceptibles a inundaciones y dependencia de bombas o alimentación sin respaldo, y a desinfección, el diseño o mantenimiento insuficiente. En salud de trabajadores y usuarios la clasificación fue menor (nivel 2) en los factores como trabajo prolongado en condiciones extremas sin protección suficiente y mayor exposición de personas vulnerables. (Resultados completos en *Anexo P*)

En cuanto a la DOH, solo clasificó un factor en nivel 4, concentrando la mayoría de sus respuestas en el nivel 2 (23 factores), seguido por 20 en nivel 3 y 15 en nivel 1; en total, 23 fueron multiamenaza. Los factores más relevantes en nivel 2 se vincularon principalmente con la ubicación de la captación en zonas expuestas a amenazas naturales y con el estancamiento del agua en la fuente debido a una baja renovación natural. En almacenamiento, se señaló la presencia de fisuras, grietas u otros daños visibles en la estructura del estanque. También se identificó como preocupante la mayor exposición de personas usuarias en condiciones de salud vulnerables, particularmente niños y adultos mayores. (Resultados completos en *Anexo Q*)

Tabla 19: Ejemplos de factores de riesgo con mayor preocupación para las 3 instituciones

Componente	Factor de riesgo en salud	Preocupación		
		SEREMI de Salud	DIRPLAN, SEREMI MOP	DOH, SEREMI MOP
Captación	<i>Ubicación de la captación en zonas expuestas a amenazas naturales</i>	4	3	2
	<i>Estructura de captación con daños visibles o deterioro por falta de mantenimiento</i>	4	1	4
	<i>Estancamiento del agua en la fuente por baja renovación natural</i>	4	3	2
Red de conducción y distribución	<i>Presencia de conexiones no reguladas o mal ejecutadas en la red de distribución</i>	4	3	1
Sistema de tratamiento	<i>Emplazamiento de la planta o sus equipos en zonas susceptibles a inundaciones</i>	4	3	1
	<i>El sistema no alcanza a tratar toda el agua cuando llega muy contaminada</i>	4	3	3
Desinfección	<i>Diseño inadecuado o falta de mantenimiento del sistema de desinfección</i>	4	3	3
Almacenamiento	<i>Presencia de fisuras, grietas u otros daños visibles en la estructura del estanque</i>	4	3	2
Salud de trabajadores y usuarios	<i>Trabajo prolongado en condiciones climáticas extremas sin medidas de protección adecuadas</i>	4	2	2
	<i>Mayor exposición de personas usuarias con condiciones de salud vulnerables (niños, adultos mayores, etc.)</i>	4	2	2

Al comparar los resultados, se observa una diferencia significativa en la cantidad de factores clasificados en niveles altos de preocupación. La SEREMI de Salud asignó 31 factores al nivel severo (4), mientras que DIRPLAN no incluyó ninguno en esta categoría y la DOH solo clasificó un factor en dicho nivel. Esta diferencia refleja los distintos enfoques institucionales ya descritos en el punto 4.3.2. En conjunto, los resultados de la evaluación participativa reflejan percepciones complementarias que permiten comprender qué aspectos generan mayor preocupación para la gestión, el funcionamiento y la fiscalización del servicio.

Posterior al análisis de los ya mencionados, se realizó una mesa de trabajo con el SSR para determinar el nivel de preocupación los 15 más relevantes identificados por ambas instituciones siguiendo la metodología descrita en la sección 3.2.3.3 *“Nivel de preocupación del SSR Huallerehue”*, correspondiente a la metodología general del objetivo específico 3. El resumen de los resultados de esta mesa de trabajo se presenta en la *Tabla 20*.

Tabla 20: Nivel de preocupación asignado por el SSR a los 15 factores de riesgo priorizados, por componente

Componente	Factor de riesgo en salud	Preocupación asignada por SSR
Cuenca	Dificultad de acceso a la captación por condiciones climáticas o geográfica	Media
Captación - Fuente de agua	Aporte de sedimentos o nutrientes al agua desde la lluvia o arrastre de suelos	Alta
	Variación significativa del caudal de la fuente según la estación.	Alta
	Ausencia de una fuente alternativa de abastecimiento en caso de contingencia.	Alta
Redes de conducción y distribución	Existencia de uniones, conexiones o empalmes en mal estado o con pérdidas en la red	Media
Sistema de tratamiento	Ausencia de procedimientos estandarizados para el registro, revisión y análisis de fallas operativas en la planta de tratamiento	Alta
	Ausencia de protocolos que regulen el acceso y las condiciones de seguridad en la planta de tratamiento	Alta
	Capacidad insuficiente del sistema de tratamiento para procesar el volumen de agua captada durante eventos	Media
Desinfección	Cambios en la calidad del agua cruda que reducen la eficacia del proceso de desinfección	Media
Almacenamiento	Acumulación de sedimentos en el fondo del estanque de almacenamiento	Media
Almacenamiento	Capacidad de almacenamiento insuficiente frente a cortes prolongados o aumento de demanda	Alta
Operación y control	Carencia de insumos esenciales o repuestos críticos para la operación del sistema	Baja
	Dependencia del sistema de una única fuente de energía, sin respaldo de energía	Alta
Gestión y gobernanza	Falta de fondos reservados para emergencias o reparaciones urgentes	Alta
Salud de trabajadores y usuarios	Ausencia de servicios básicos (agua potable, baños, áreas de descanso) en las instalaciones del SSR	Baja

La preocupación del SSR reflejó una visión práctica basada en su experiencia diaria de operación y mantenimiento del sistema. Los factores de mayor preocupación se concentraron en los componentes de captación, tratamiento y almacenamiento, donde la variabilidad de caudales, el aumento de turbiedad y materia orgánica, la presión sobre la desinfección y la insuficiencia de almacenamiento se percibieron como las principales vías de afectación de la calidad y la continuidad del suministro, especialmente frente a amenazas climáticas como incendios forestales, precipitaciones intensas, olas de calor y sequía. Esta percepción coincidió con los resultados institucionales, lo que es esperable, dado que la literatura ha documentado consistentemente estos impactos y la necesidad de ajustes estacionales y refuerzos operativos ante escenarios de mayor variabilidad climática (WHO, 2017a).

El SSR clasificó con preocupación baja la carencia de insumos esenciales o repuestos críticos, pese a que la SEREMI de Salud le asignaron preocupación alta. La diferencia se explicó por la estrategia local, el servicio reportó mantener insumos disponibles para asegurar la continuidad diaria, aunque reconoció que algunos repuestos son costosos y no siempre están garantizados. A su vez, se manifestó baja preocupación por la ausencia de servicios básicos en la planta de tratamiento, señalando que la organización de turnos y horarios ha evitado interrupciones. Esta percepción contrasta con el mayor énfasis sanitario en condiciones de trabajo y protección de personas propio del mandato de Salud. (Ferrero et al., 2019; Herschan et al., 2020).

La combinación entre amenaza y nivel de preocupación resultó crucial para orientar medidas que protejan la salud pública y aseguren la continuidad operativa del servicio en escenarios de crisis climática, en coherencia con la evidencia de que incorporar explícitamente el clima en los Planes de Seguridad del Agua permite priorizar peligros y acciones de adaptación de manera sistemática (Rickert et al., 2019).

Finalmente, para el SSR, esta actividad constituyó una retroalimentación significativa, dado que nunca habían realizado un análisis sistemático de sus amenazas, y menos aun considerando aquellas asociadas a la crisis climática. La discusión facilitó identificar de manera más concreta los factores críticos para la operación, así como comprender cómo ciertos elementos afectan la salud de los usuarios y la continuidad del servicio. Además, la actividad evidenció que la evaluación participativa no solo aporta información para la priorización de riesgos, sino que también fortalece la capacidad institucional para reconocer, jerarquizar y planificar frente a las amenazas climáticas, aportando insumos útiles para la gestión diaria y la toma de decisiones estratégicas.

5 Conclusiones

La investigación permitió caracterizar el Servicio Sanitario Rural de Huallerehue, en la comuna de Santa Juana, con la finalidad de identificar las amenazas asociadas a problemáticas técnicas, ambientales y organizacionales.

- El Servicio corresponde a un sistema de agua potable con captación superficial desde el río Lía, que realiza procesos de filtración y cloración antes de la distribución. Se establecieron como parámetros críticos la turbidez, el hierro, los coliformes y la concentración de cloro residual, dado su comportamiento variable y su influencia directa en la calidad del agua entregada. La localidad no cuenta con red de alcantarillado, por lo que dispone de soluciones individuales para la disposición de aguas servidas. Se constató que el sistema presenta una capacidad de almacenamiento limitada, pérdidas significativas en la red de distribución y una dependencia ocasional de fuentes externas de abastecimiento, especialmente durante eventos de alta turbidez, lo que compromete la continuidad del suministro. Estas condiciones se ven agravadas por el contexto territorial, caracterizado por pendientes medias y altas en la cuenca de captación, la presencia de plantaciones forestales y la pérdida de cobertura vegetal a raíz de los incendios forestales ocurridos en 2023, factores que contribuyen al aumento de la turbidez y la erosión en las riberas de la fuente de abastecimiento.
- La aplicación de la lista de chequeo permitió identificar 59 factores de riesgo en salud, de un total de 82 propuestos, lo que evidencia una alta exposición del servicio a peligros de diversa naturaleza. La etapa de captación concentró el mayor número de amenazas identificadas (15), principalmente relacionadas con la variabilidad y calidad del agua cruda, la ausencia de protección perimetral y el deterioro de la infraestructura. En segundo lugar, se identificaron brechas en los ámbitos de gestión y gobernanza, destacando la dependencia de una única fuente de financiamiento y la falta de articulación con redes de apoyo interinstitucional. Estos hallazgos, complementados con los relatos de operarios, miembros de la directiva y personal administrativo, permitieron confirmar que muchas de estas amenazas no son solo potenciales, sino que corresponden a eventos ya experimentados, tales como interrupciones eléctricas, filtraciones en la red, acumulación de sedimentos y dificultades de acceso durante condiciones climáticas adversas.
- El análisis de la evaluación participativa permitió asociar los factores de riesgo identificados con las amenazas climáticas proyectadas a la localidad. Se determinó que

olas de calor, incendios forestales y sequía tenderán a intensificarse, mientras que precipitaciones intensas y olas de frío mantendrán su impacto. Según la percepción de los actores participantes, se evidenció que la captación es el componente más afectado seguido por almacenamiento y desinfección. La SEREMI de Salud clasificó como severa (nivel 4) a factores asociados al daño de estanques de almacenamiento, el diseño insuficiente de la desinfección y la exposición de trabajadores y usuarios a condiciones climáticas extremas. DIRPLAN, SEREMI MOP, concentró su preocupación en factores como la dependencia energética, la ubicación expuesta de la captación y la integridad del sistema de tratamiento, mientras que la DOH, SEREMI MOP mostró mayor preocupación por la captación y conducción, especialmente frente a precipitaciones intensas, sequía e incendios forestales, mientras que componentes como desinfección, almacenamiento y operación y control no registraron asociación con amenazas climáticas. Por su parte, el SSR identificó con mayor preocupación a factores relacionados a la variación de caudales, la ausencia de fuentes alternativas de abastecimiento y la insuficiencia de almacenamiento.




En respuesta a la pregunta de investigación sobre qué factores de riesgo asociados a salud pública del Servicio Sanitario Rural de Huallerehue generan mayor preocupación en el contexto de la crisis climática, se concluye que estos corresponden principalmente a la calidad del agua en la captación superficial, por la alta probabilidad de contaminación microbiológica y de incrementos en la turbidez vinculados a sequías, incendios e inundaciones. A ello se suman la insuficiencia del proceso de desinfección y la escasa capacidad de almacenamiento, que reducen la posibilidad de asegurar agua potable en situaciones de emergencia. Estos factores, sumados a las limitaciones de gestión y gobernanza, constituyen las principales amenazas para la salud de la comunidad atendida por el SSR de Huallerehue.

Finalmente, este estudio puede servir como referencia para futuras investigaciones en otros Servicios Sanitarios Rurales, al integrar la caracterización territorial, la identificación de factores de riesgo y la percepción local frente a amenazas climáticas. La información generada constituye una base que permitiría avanzar hacia evaluaciones de riesgo completas según lo establecido en los Planes de Seguridad del Agua, lo que no fue abordado en esta investigación. Dar continuidad a este trabajo podría centrarse en aplicar dichas metodologías, fortalecer la gobernanza comunitaria e implementar planes de mitigación y adaptación que reduzcan los impactos de la crisis climática en la salud pública.

6 Contribución a los ODS

La contribución de la investigación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se resume a continuación:

Tabla 21: Contribución de la investigación a los ODS

ODS	Contribución
	La investigación se centra en la gestión del agua potable en el SSR de Huallerehue, buscando garantizar el acceso a agua segura adecuados para la comunidad.
	La investigación analiza los factores de riesgo en la salud de la comunidad atendida por el SSR de Huallerehue, buscando proteger a la población de enfermedades transmitidas por el agua y otros impactos en la salud relacionados con la crisis climática.
	Aunque el estudio se enfoca en una comunidad rural, busca contribuir a la creación de comunidades más resilientes y sostenibles, mejorando la gestión de los servicios básicos como el agua.

Fuente: Naciones Unidas (2022).

7 Agradecimientos

Agradezco al Proyecto FONIS SA23I0127, financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) y ejecutado por la facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad de Concepción, por el apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación. Su colaboración fue relevante para fortalecer el enfoque metodológico y facilitar la gestión de actividades, reuniones y acceso a información clave. Este acompañamiento contribuyó a vincular los resultados de la tesis con los objetivos del proyecto, promoviendo una comprensión más integrada de los factores de riesgo en salud pública en contextos rurales.

8 Bibliografía

1. Aguilera, P. (2023). *Evaluación de riesgos microbiológicos en sistemas de agua potable rural de la Región del Biobío*. Universidad de Concepción. <https://repositorio.udec.cl/items/a65d8d97-5555-4add-b2e1-b51b893e056a>
2. Alvarez-Garreton, C., Boisier, J.P., Blanco, G., Billi, M., Nicolas-Artero, C., Maillat, A., Aldunce, P., Urrutia-Jalabert, R., Zambrano-Bigiarini, M., Guevara, G., Galleguillos, M., Muñoz, A., Christie, D., Marinao, R., & Garreaud, R. (2023). *Seguridad Hídrica en Chile: Caracterización y Perspectivas de Futuro*. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2, (ANID/FONDAP/1522A0001), 72 pp. Disponible en www.cr2.cl/seguridadhidrica
3. Amanda K. Hohner, Charles C. Rhoades, Paul Wilkerson, and Fernando L. Rosario-Ortiz. (2019). *Wildfires alter forest watersheds and threaten drinking water quality*. *Accounts of Chemical Research*, 52(5), 1234–1244. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.8b00670>
4. American Public Health Association. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). APHA.
5. Amulén. (2019). *Radiografía del agua: Brecha y riesgo hídrico en Chile*. Fundación Amulén. https://www.fundacionamulen.cl/wp-content/uploads/2020/07/Informe_Amulen.pdf
6. Amézquita Marroquín, C. P., Pérez Vidal, A., & Torres Lozada, P. (2014). *Evaluación del riesgo en sistemas de distribución de agua potable en el marco de un plan de seguridad del agua*. *Revista EIA*, 21, 157–169. <https://doi.org/10.14508/reia.2014.11.21.159-169>
7. Bartram, J., Corrales, L., Davison, A., Deere, D., Gordon, B., Howard, G., Rinehold, A., & Stevens, M. (2009). *Water safety plan manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers*. World Health Organization.
8. BCN. (2025.). *Mapas vectoriales*. https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales/index_html
9. Bondank, E. N., Chester, M. V., & Ruddell, B. L. (2018). *Water Distribution System Failure Risks with Increasing Temperatures*. *Environmental Science & Technology*, 52(17), 9605-9614. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01591>
10. Bonsor, H., MacDonald, A., & Calow, R. (2011). *Potential Impact of Climate Change on Improved and Unimproved Water Supplies in Africa*. In R. E. Hester & R. M. Harrison (Eds.), *Sustainable Water* (Vol. 31, pp. 25-49). Royal Soc Chemistry.
11. CONAF. (2016). *Catastro de uso de suelo y vegetación de Chile*. Corporación Nacional Forestal.

12. Carrasco, W. (2011). *Políticas públicas para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en las áreas rurales*. CEPAL Colección Documentos de proyectos. Santiago, Chile: UN. <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3842/S2011912.pdf?sequence=1>
13. Cerdà, A., & Mataix-Solera, J. (2009). *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España: El estado de la cuestión visto por los científicos españoles*. Valencia, España: Cátedra de Divulgació de la Ciència, Universitat de València.
14. Chan, T., MacDonald, M. C., Kearton, A., Elliott, M., Shields, K. F., Powell, B., Bartram, J. K., & Hadwen, W. L. (2020). *Climate adaptation for rural water and sanitation systems in the Solomon Islands: A community scale systems model for decision support*. *Science of The Total Environment*, 714, 136681. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136681>
15. Chile. (2017). *Ley N.º 20.998: Regula los servicios sanitarios rurales*. *Diario Oficial de la República de Chile*.
16. Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de la ONU. (2012). *Informe sobre el derecho al agua y saneamiento*. Naciones Unidas. Recuperado de <https://www.ohchr.org/Documents/Publications/FactSheet35en.pdf>
17. Cooperativa. (2021, 10 de mayo). *Detectan niveles elevados de arsénico en sistema de agua potable rural de Santa Juana*. *Radio Cooperativa*. Recuperado de [https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=14.+Cooperativa.+\(2021%2C+10+de+m+ayo\).+Detectan+niveles+elevados+de+arsénico+en+sistema+de+agua+potable+rural+de+Santa+Juana.+Radio+Cooperativa.&ie=UTF-8&oe=UTF-8](https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=14.+Cooperativa.+(2021%2C+10+de+m+ayo).+Detectan+niveles+elevados+de+arsénico+en+sistema+de+agua+potable+rural+de+Santa+Juana.+Radio+Cooperativa.&ie=UTF-8&oe=UTF-8)
18. Dewi SP, Kasim R, Sutarsa IN, Dykgraaf SH. *A scoping review of the impact of extreme weather events on health outcomes and healthcare utilization in rural and remote areas*. *BMC Health Serv Res*. 2024 Nov 1;24(1):1333. doi: 10.1186/s12913-024-11695-5. PMID: 39487458; PMCID: PMC11529210.
19. FAO. (2004). *Directrices para el manejo sostenible de cuencas hidrográficas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/5/12820628912320/fao20manejo20de20cuencas.pdf>
20. Ferrero, G., Setty, K., Rickert, B., George, S., Rinehold, A., & Bartram, J. (2019). *Capacity building and training approaches for water safety plans: A comprehensive literature review*. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(4), 615–627. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.01.011>

21. Gatto, E., Bustos, M., & Pineda, L. (2012). *Gestión del riesgo sanitario en sistemas de agua potable: Estudio de caso en Salta, Argentina*. *Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 17(3), 205–212. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/129605>
22. GWP & UNICEF. (2017). *Desarrollo resiliente al clima de los servicios de agua, saneamiento e higiene: Marco estratégico*. GWP & UNICEF. https://www.gwp.org/globalassets/global/about-gwp/publications/unicef-gwp/gwp_unicef_strategic_framework_es.pdf
23. GWP & UNICEF. (2017). *Risk assessments for WASH: A guidance note for climate-resilient WASH systems*. GWP & UNICEF. <https://www.sanitationandwaterforall.org/tools-portal/tool/risk-assessments-wash>
24. Gunkel, G., Michels, U., & Scheideler, M. (2022). *Climate Change: Water Temperature and Invertebrate Propagation in Drinking-Water Distribution Systems, Effects, and Risk Assessment*. *Water*, 14(8), 23, Article 1246. <https://doi.org/10.3390/w14081246>
25. Herschan, J., Rickert, B., Mkandawire, T., Okurut, K., King, R., Hughes, S. J., Lapworth, D. J., & Pond, K. (2020). *Success factors for Water Safety Plan implementation in small drinking-water supplies in low- and middle-income countries*. *Resources*, 9(11), 126. <https://doi.org/10.3390/resources9110126>
26. Howard, G., Calow, R., Macdonald, A., & Bartram, J. (2016). *Climate change and water and sanitation: Likely impacts and emerging trends for action*. *Annual Review of Environment and Resources*, 45(1), 277–303. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085856>
27. Howard, Guy, Bartram, Jamie, World Health Organization, United Kingdom. Dept. for International Development & United States of America. University of North Carolina at Chapel Hill. (2010). *Vision 2030: the resilience of water supply and sanitation in the face of climate change: technical report / Guy Howard, Jamie Bartram*. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/70462>
28. IDE Chile. (2025). *Modelo digital de elevación (MDE) de la Región del Biobío. Infraestructura de Datos Espaciales de Chile*. <https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/35434/DEM%20Alos%20Palsar%20Región%20del%20Biobío>
29. Instituto Nacional de Estadísticas. (2017). *Censo de población y vivienda 2017*. INE. <http://resultados.censo2017.cl>
30. Instituto Nacional de Estadísticas. (2018). *Microdatos Censo 2017: Caracterización de población y viviendas en zonas rurales*. INE. <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/censos-de-poblacion-y-vivienda/censo-de-poblacion-y-vivienda>

31. IPCC. (2021). 5.1.1. Cambios observados en la temperatura superficial. En Informe del Grupo de Trabajo I del Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático: Cambio Climático 2021: La Base de la Ciencia Física (pp. 5.21-5.32). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://www.ipcc.ch/>
32. IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
33. Liu, G., Verberk, J.Q.J.C., & Van Dijk, J.C. (2017). Potential impacts of changing supply-water quality on drinking water distribution systems: A review. *Science of the Total Environment*, 577, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.211>
34. Lockhart et al. (2014). Evaluating water safety plans in rural settings: challenges and opportunities. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 4(1), 103–111.
35. Marryanna, L., Siti Aisah, S., & Saiful Iskandar, K. (2007). Water quality response to clear felling trees for forest plantation establishment at Bukit Tarek Forest Reserve, Selangor. *Journal of Physical Science*, 18(1), 35–47.
36. Ministerio del Medio Ambiente. (2020). Marco Metodológico ARCLim. Atlas de Riesgos Climáticos. Recuperado de https://arclim.mma.gob.cl/media/learning/Metodologia_ARCLIM.pdf
37. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. (2016). Cambio climático y salud. Gobierno de España. https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/CCResumen_ESP.pdf
38. Ministerio de Obras Públicas. (2020). Decreto Supremo N.º 66: Reglamento de la Ley N.º 20.998 sobre Servicios Sanitarios Rurales. Gobierno de Chile.
39. Ministerio de Salud. (2010). Decreto Supremo N.º 735: Reglamento de los Servicios de Agua Potable Rural. Gobierno de Chile.
40. Ministerio de Salud. (2016, 14 de octubre). Reglamento sobre condiciones sanitarias para la provisión de agua potable mediante el uso de camiones aljibe (Decreto Supremo N.º 41). Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
41. Organización Panamericana de la Salud. (2021a). Agenda para las Américas sobre salud, medioambiente y cambio climático 2021–2030. OPS. https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55212/OPSCDECE210004_spa.pdf
42. Organización Panamericana de la Salud. (2021b). La salud y el cambio climático en América Latina y el Caribe. OPS. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/53575>

43. Peña-Fernández, E., & Valenzuela-Palma, L. (2002). Incremento de los incendios forestales en bosques naturales y plantaciones forestales en Chile. En *Memorias del Segundo Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de los Programas de Protección Contra Incendios Forestales: Una Visión Global* (pp. 595–612). Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service.
44. Rickert, B., van den Berg, H., Parker, A., et al. (2019). Including aspects of climate change into water safety planning: Literature review of guidance and practical examples. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(5), 744–755. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.04.011>
45. Romero, M. (2023). Crisis de la sequía: más de 7 mil familias del Biobío dependen de camiones aljibe. Radio Carolina. <https://www.radiocamilatv.cl/portal/views/noticia.php?codNoticia=MTE1NTM%3D>
46. Rytí NR, Guo Y, Jaakkola JJ. Global Association of Cold Spells and Adverse Health Effects: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environ Health Perspect*. 2016 Jan;124(1):12-22. doi: 10.1289/ehp.1408104. Epub 2015 May 15. PMID: 25978526; PMCID: PMC4710591.
47. SAG. (2016). Clasificación oficial de pendientes para uso agropecuario. Servicio Agrícola y Ganadero. <https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/pauta-para-estudio-de-suelos--mod-2016.pdf>
48. Sanhueza, D., Pellegrini, G., Iroumé, A., & Picco, L. (2024). Effects of forest operations on runoff and sediment variations in catchments under intense forest activity and climate stress in the south-central Chile. *Water*, 16(22), 3337. <https://doi.org/10.3390/w16223337>
49. SISS (2022). Informe de Coberturas Sanitarias. https://www.siss.gob.cl/586/articles-22927_recurso_1.pdf
50. SIT Rural. (2021). Recursos naturales de la comuna de Santa Juana. Ministerio de Agricultura. https://www.sitrural.cl/wp-content/uploads/2024/08/SantaJuana_rec_nat.pdf
51. SIT Rural. (2024). Atlas de microcuencas hídricas de la Región del Biobío. Ministerio de Agricultura.
52. Solís, B., & Serebrisky, T. (2023). Bajo presión: efectos, impactos y adaptación al cambio climático en operadores de agua de América Latina y el Caribe. <https://doi.org/10.18235/0005170>
53. String, G., & Lantagne, D. (2016). A systematic review of outcomes and lessons learned from general, rural, and peri-urban water safety plans. *Water Science and Technology: Water Supply*, 16(4), 927–944. <https://doi.org/10.2166/ws.2016.029>

54. World Health Organization. (1998). *Guidelines for drinking-water quality* (2nd ed.). World Health Organization.
55. World Health Organization. Regional Office for Europe. (2002). *Floods: climate change and adaptation strategies for human health: report on a WHO meeting: London, United Kingdom, 30 June–2 July 2002*. World Health Organization. Regional Office for Europe. <https://iris.who.int/handle/10665/347625>
56. World Health Organization. (2004). *Managing water in the home: Accelerated health gains from improved water supply*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-SDE-WSH-02.07>
57. World Health Organization. (2009). *Guidelines for drinking-water quality: Incorporating first addendum. Volume 1: Recommendations* (3rd ed.). World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241547611>
58. World Health Organization. (2016a). *Sanitation safety planning: Manual for safe use and disposal of wastewater, greywater and excreta*. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/171753>
59. World Health Organization. (2016b). *Protecting surface water for health: Identifying, assessing and managing drinking-water quality risks in surface-water catchments*. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/246196>
60. World Health Organization. (2017a). *Climate-resilient water safety plans: Managing health risks associated with climate variability and change*. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/258722>
61. World Health Organization. (2017b). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating first addendum, 4th ed., 1st add.* World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/254637>.
62. World Health Organization. (2018). *WHO housing and health guidelines*. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/276001>.
63. World Health Organization. (2021). *Global strategy on health, environment and climate change: The transformation needed to improve lives and wellbeing sustainably through healthy environments*. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331959>
64. World Health Organization. (2022). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda, 4th ed., 1st add. and 2nd add.* World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/352532>

65. World Health Organization. (2023a). *Addressing climate change: Supplement to the WHO water, sanitation and hygiene strategy 2018–2025*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240071995>
66. World Health Organization. (2023b). *Aquatown Water Safety Plan: Worked example*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240067691>
67. World Health Organization. (2023c). *Water safety plan manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers (2nd ed.)*. World Health Organization. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/366148/9789240067691-eng.pdf>
68. World Health Organization. (2024a). *Guidelines for drinking-water quality: Small water supplies*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240088740>
69. World Health Organization. (2024b). *Sanitary inspection packages: A supporting tool for the Guidelines for drinking-water quality: Small water supplies*. World Health Organization. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/water-safety-and-quality/water-safety-planning/sanitary-inspection-packages>
70. World Health Organization. (2025). *Humanitarian emergencies: Water, sanitation and health*. WHO. Recuperado de <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/environmental-health-in-emergencies/humanitarian-emergencies>

9 Anexo

Anexo A: Registro fotográfico de visita guiada a SSR Huallerehue 11 de noviembre de 2024



Anexo B: Extracto de registros operacionales del SSR Huallerehue obtenidos el 11 de noviembre de 2024

Año	Mes	Lectura Anterior	Lectura Actual	Producción	Consumo	Diferencia
2009	Enero	Lectura Actual	87284	1504	1215	289
	Febrero	87284	88842	1558	1116	442
	Marzo	88842	89704	862		
	Abril	89704	90874	1175	487	688
	Mayo	90874	94717	843	431	412
	Junio	94717	92429	712	437	275
	Julio	92429	93337	918	518	400
	Agosto	93337	93879	532	469	63
	Septiembre	93879	94534	655		
	Octubre	94534	95427	893	784	109
	Noviembre	95427	96340	963	853	110
	Diciembre	96340	97637	1247	946	301
2010	Enero	97637	99188	1551	1287	264
	Febrero	99188	100569	1381	1117	264
	Marzo	100569	101397	828	659	169
	Abril	101397	102104	707	629	78
	Mayo	102104	102803	699	522	177
	Junio	102803	103473	660	510	150
	Julio	103473	104100	677	642	35
	Agosto	104100	104712	612	561	51
	Septiembre	104712	105382	670	599	71
	Octubre	105382	106219	837	749	88
	Noviembre	106219	107133	914	831	83
	Diciembre	0	1567	1567	1116	451

Anexo C: Registro fotográfico de muestra de agua proveniente de la fuente el 21 de enero de 2025



Anexo D: Extracto de tabla preliminar de factores de riesgo en salud

Componente	Factor de riesgo y pregunta	Evento peligroso	Descripción del peligro	Justificación climática y sanitaria	Impacto en salud
Cuenca	<p>¿Existen actividades agrícolas o industriales cercanas a la fuente que puedan generar residuos o escorrentías contaminantes?</p> <p><i>Existencia de actividades agrícolas o industriales que podrían generar vertimientos, residuos o escorrentías contaminantes hacia la fuente de agua</i></p>	Aporte de contaminantes (nutrientes, agroquímicos, metales) por escorrentía o vertimiento	Biológico/Químico	Lluvias intensas arrastran contaminantes desde actividades agrícolas o industriales hacia la fuente de agua	Aumento del riesgo de enfermedades gastrointestinales y exposición a contaminantes químicos
	<p>¿Se han identificado residuos sólidos o líquidos cerca del punto de captación?</p> <p><i>Identificación de vertimientos, residuos sólidos o líquidos presentes en el área de captación o en su entorno inmediato</i></p>	Ingreso directo de residuos o líquidos contaminantes al agua	Biológico/Químico	Lluvias extremas o desbordes movilizan residuos hacia la captación	Incremento del riesgo de enfermedades transmitidas por el agua y exposición a sustancias tóxicas
	<p>¿Se observa uso agrícola intensivo en áreas críticas para la recarga de la fuente?</p> <p><i>Alta intensidad agrícola en áreas de recarga hídrica</i></p>	Incremento de contaminantes por sobreuso de agroquímicos y prácticas agrícolas intensivas	Química	Cambios climáticos y sequías reducen la capacidad de recarga, mientras que las lluvias extremas aumentan el arrastre de contaminantes	Riesgo de enfermedades gastrointestinales, exposición prolongada a contaminantes y afectación de la cantidad de agua disponible
	<p>¿Han notado cambios extraños en el agua que entra al sistema, como color, olor, turbidez u otro cambio inusual, especialmente después de lluvias?</p> <p><i>Cambio en la calidad del agua cruda (El agua de entrada llega con contaminantes que antes no se presentaban)</i></p>	presencia de sustancias o microorganismos no esperados que pueden afectar el tratamiento	Biológico/Químico	Sequías y lluvias intensas modifican la calidad del agua cruda	Contaminantes inesperados pueden no ser removidos por el sistema, exponiendo a la población a riesgos sanitarios.
	<p>¿Se modifica la dosis de coagulante o el proceso cuando el agua viene con más sedimentos, turbidez o materia orgánica?</p> <p><i>La coagulación no elimina bien compuestos orgánicos del agua cruda</i></p>	Formación de subproductos por materia orgánica residual	Químico	Lluvias intensas arrastran materia orgánica que no se remueve adecuadamente	La formación de subproductos puede generar efectos tóxicos a largo plazo como cáncer o problemas hepáticos.
	<p>¿Se revisa la calidad del agua cruda antes de aplicar cloro para evitar formación de compuestos tóxicos?</p> <p><i>Se aplica cloro sin revisar si el agua tiene mucha materia orgánica</i></p>	Reacción del cloro con materia orgánica	Químico	Olas de calor y presencia de materia orgánica aumentan los riesgos de formación de DBPs	Exposición prolongada a estos subproductos se asocia con problemas reproductivos y enfermedades crónicas.

Componente	Factor de riesgo y pregunta	Evento peligroso	Descripción del peligro	Justificación climática y sanitaria	Impacto en salud
Tramonto	<p>¿El sistema de cloración funciona bien cuando el agua llega con alta carga contaminante o condiciones adversas (como calor, turbidez o lluvias)?</p> <p><i>El sistema de desinfección es deficiente. No se asegura eliminación adecuada de microorganismos antes de la distribución</i></p>	El agua llega a la red sin desinfección efectiva	Biológico	Olas de calor, turbidez elevada o lluvias intensas pueden aumentar la presencia de microorganismos y reducir la efectividad del cloro si no se ajusta o refuerza la desinfección	Agua mal desinfectada puede contener bacterias, virus o protozoos responsables de brotes infecciosos.
	<p>¿Se revisa la calidad del agua cruda antes de aplicar cloro para evitar formación de compuestos tóxicos?</p> <p><i>El cloro se aplica sin ajustar la dosis según la calidad del agua o las condiciones del clima</i></p>	Dosis inadecuada de cloro	Químico/Biológico	El calor extremo, el bajo caudal y el aumento de materia orgánica pueden afectar la eficacia del cloro, por lo que no ajustar la dosis puede provocar riesgos sanitarios o químicos	Sobredosificación puede generar compuestos peligrosos; subdosificación permite paso de patógenos.
	<p>¿Se calcula la dosis de cloro en función del volumen de agua cruda a tratar y se verifica el cloro residual en la red o puntos de consumo?</p> <p><i>El cloro se aplica sin medir bien la cantidad ni verificar si está actuando correctamente</i></p>	Cloración sin control ni verificación del residual	Biológico	El calor, la lluvia y otros cambios del clima pueden afectar la eficacia del cloro, por lo que es clave ajustar la dosis y revisar si queda cloro residual	La ausencia de cloro residual deja el sistema vulnerable a contaminación bacteriana o viral, pudiendo comprometer la salud de los consumidores
	<p>¿Se ajusta la dosis de cloro según cómo viene el agua o según las condiciones como calor, turbidez o bajo caudal?</p> <p><i>El sistema tradicional no logra remover contaminantes bajo nuevas condiciones climáticas</i></p>	Condiciones extremas no son compensadas con ajustes en la dosificación	Químico/Biológico	Condiciones extremas superan las capacidades de los procesos convencionales	Agua distribuida puede contener contaminantes químicos o microorganismos peligrosos para la salud pública.

Anexo E: Lista de chequeo aplicada en terreno el 26 de junio de 2025 para la identificación de factores de riesgo en salud en el SSR Huallerehue

Factor de riesgo	¿Identificado en el sistema? Sí / No	Evento peligroso	¿Ocurre o podría ocurrir? Sí / No / Podría ocurrir	Nivel de preocupación Muy preocupante / Preocupa / Poca preocupación / Sin preocupación	Observaciones
COMPONENTE 1 CUENCA					
¿Se realizan actividades recreativas dentro del área que alimenta la fuente? <i>Presencia de actividades recreativas dentro de la cuenca aportante</i>		Ingreso de contaminantes (residuos, aceites, detergentes) por actividades recreativas			
¿Hay asentamientos informales o crecimiento urbano en el área que alimenta la fuente? <i>Crecimiento urbano informal dentro de la cuenca aportante</i>		Vertimiento de residuos, aguas servidas o escorrentía contaminante proveniente de asentamientos informales			
¿Existen caminos o rutas de tránsito cerca del cuerpo de agua que pueden arrastrar contaminantes? <i>Existencia de caminos o rutas de tránsito que favorecen escorrentía contaminante hacia el cuerpo de agua</i>		Arrastre de contaminantes desde superficies vehiculares hacia la fuente de agua durante lluvias.			
¿Existen actividades agrícolas o industriales cercanas a la fuente que puedan generar residuos o escorrentías contaminantes? <i>Existencia de actividades agrícolas o industriales</i>		Incremento en la carga de contaminantes en la cuenca, especialmente durante lluvias intensas			
¿Se han identificado residuos sólidos o líquidos cerca del punto de captación? <i>Identificación de vertimientos, residuos sólidos o líquidos</i>		Ingreso puntual de residuos durante eventos de escorrentía			
¿Se observa uso agrícola intensivo en áreas críticas para la recarga de la fuente? <i>Alta intensidad agrícola en áreas de recarga hídrica</i>		Aumento en la aplicación de agroquímicos en la fuente			
COMPONENTE 2 CAPTACION – FUENTE DE AGUA					
¿Hay pozos negros, animales, aguas servidas o uso de químicos cerca de la fuente? <i>Existencia de fuentes cercanas que puedan contaminar el agua</i>		Entrada de contaminantes (microbios o químicos) durante lluvias fuertes			
¿El caudal de la fuente cambia mucho entre verano e invierno? ¿Cómo afecta esto al sistema? <i>Disminución del agua disponible en la fuente</i>		Menor capacidad de la fuente para abastecer el sistema/ Sobrecarga del sistema / concentración de nutrientes por menos dilución			
¿La captación tiene grietas, suciedad o partes que podrían dejar pasar contaminación? <i>Presencia de grietas o suciedad en la captación que puede dejar pasar contaminantes</i>		Ingreso de contaminación por filtraciones o suciedad en la infraestructura			
¿Han tenido problemas en la infraestructura de la captación que afecten el abastecimiento? <i>Daños o deterioro en la estructura de captación</i>		Interrupción del abastecimiento por fallas estructurales			

Factor de riesgo	¿Identificado en el sistema? Sí / No	Evento peligroso	¿Ocurre o podría ocurrir? Sí / No / Podría ocurrir	Nivel de preocupación Muy preocupante / Preocupa / Poca preocupación / Sin preocupación	Observaciones
¿Está bien protegida la fuente con cercos, señalética u otras barreras? <i>Ausencia o deficiencia en cierre, cercado o señalética de protección</i>		Mayor riesgo de ingreso de animales o basura a la fuente			
¿Han notado que la temperatura del agua en la fuente ha subido? <i>Elevación anormal de la temperatura</i>		Temperatura del agua más alta que la normal			
¿Han notado cambios en el color, olor o sabor del agua que captan? <i>Alteraciones perceptibles en el agua que podrían indicar contaminación</i>		Presencia de contaminantes químicos o biológicos que alteran características del agua			
¿El agua de la fuente se mantiene estancada por mucho tiempo? <i>Poca renovación del agua en la fuente (agua estancada por mucho tiempo)</i>		El agua se queda mucho tiempo en la fuente sin renovarse			
¿Se usa agua de otra fuente sin haber revisado bien su calidad? <i>Uso de otras fuentes de agua sin revisar bien su calidad</i>		Uso de agua de otra fuente que podría estar contaminada			
¿Se arrastra tierra o fertilizantes a la fuente cuando llueve fuerte? <i>Aporte de sedimentos o nutrientes al agua desde la lluvia o arrastre de suelos</i>		Ingreso de fertilizantes y tierra al agua por lluvias fuertes. Obstrucción del sistema y reducción del caudal captado			
¿La captación está cerca de quebradas, laderas o zonas que se inundan? <i>Ubicación de la captación en zonas expuestas a desastres naturales</i>		Daños en infraestructura o cortes de servicio			
¿Existe una fuente alternativa para usar en caso de emergencia? <i>No se cuenta con una segunda fuente de agua disponible en caso de falla</i>		Interrupción total del servicio si hay problemas con la fuente principal			
¿Se observan malezas o vegetación dentro o cerca de la fuente de captación? <i>Presencia de vegetación que crece dentro del agua o en estructuras de captación</i>		Obstrucción de flujo y riesgo de contaminación biológica			
¿Se observa basura, hojas u otros residuos flotando en la fuente de agua? <i>Presencia de basura, hojas u otros residuos visibles en la fuente</i>		Contaminación del agua y afectación del tratamiento posterior			
¿Existe un protocolo o plan para emergencias en la fuente de agua? <i>Falta de plan de acción ante fallas, contaminación o emergencias climáticas</i>		Respuesta tardía o desorganizada ante eventos críticos			
¿Es posible acceder a la fuente en caso de lluvia intensa o emergencia?		No se puede operar o revisar la fuente en situaciones de emergencia			

Factor de riesgo	¿Identificado en el sistema? Sí / No	Evento peligroso	¿Ocurre o podría ocurrir? Sí / No / Podría ocurrir	Nivel de preocupación Muy preocupante / Preocupa / Poca preocupación / Sin preocupación	Observaciones
<i>Inaccesibilidad de la captación por condiciones climáticas o geográficas</i>					
¿Las bombas o equipos eléctricos del sistema han fallado en eventos de lluvia, viento o calor extremo? <i>Vulnerabilidad de las bombas o sistemas eléctricos ante cortes de energía</i>		Interrupción del servicio por fallas eléctricas en eventos extremos (lluvias, viento, calor)			
COMPONENTE 3: REDES DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN					
¿Existen puntos en la red de distribución y/o en la conducción que presenten daños como grietas o filtraciones? <i>Daños, grietas o filtraciones en el sistema de conducción y/o distribución</i>		Fisuras, grietas o filtraciones que produce ingreso de contaminantes			
¿Se han producido roturas en la red por movimiento del suelo o cambios de temperatura? <i>Roturas por deslizamiento de suelo, sequía o calor</i>		Pérdida de presión y riesgo de ingreso de contaminantes			
¿Hay partes de la red que estén expuestas a incendios forestales o sectores con alto riesgo? <i>Exposición de infraestructura a incendios forestales</i>		Derretimiento de válvulas, tuberías u otra infraestructura crítica expuestas al fuego			
¿Se han observado daños estructurales, deformaciones o fisuras en componentes del sistema durante olas de calor o cambios bruscos de temperatura? <i>Expansión y contracción de materiales por variaciones térmicas extremas</i>		Fallas estructurales o fisuras en tuberías, estanques u otras estructuras debido a estrés térmico acumulado			
¿Existen sectores donde frecuentemente baja la presión o se interrumpe el suministro? <i>Baja presión o fisuras en la red de distribución</i>		Cortes de agua o fallas de abastecimiento por rotura			
¿Hay conexiones entre redes de agua potable y otras redes que podrían contaminar? <i>Red conectada a fuentes o usos no potables sin separación adecuada</i>		Ingreso de agua no tratada al sistema de consumo			
¿Hay zonas donde podrían mezclarse aguas servidas y agua potable? <i>Cercanía de redes o cámaras de aguas servidas</i>		Agua servida ingresa a la red de agua potable			
¿Se monitorea cloro residual, turbidez, presión en los puntos de uso final? <i>No se realiza monitoreo de parámetros en puntos de entrega</i>		Usuarios expuestos a agua no segura sin saberlo.			
¿Se hacen pruebas de calidad del agua en distintos puntos de la red? <i>No se hacen análisis regulares en la red</i>		Fallas o contaminación no detectadas a tiempo			
COMPONENTE 4: SISTEMA DE TRATAMIENTO					
¿Existen medidas de protección frente a posibles inundaciones en la planta o estaciones elevadoras? <i>La planta o equipos se ven afectados por inundaciones u otros eventos extremos</i>		El sistema queda inutilizable por ingreso de barro o agua			

Factor de riesgo	¿Identificado en el sistema? Sí / No	Evento peligroso	¿Ocurre o podría ocurrir? Sí / No / Podría ocurrir	Nivel de preocupación Muy preocupante / Preocupa / Poca preocupación / Sin preocupación	Observaciones
<p>¿Se cuenta con respaldo eléctrico y mantenimiento adecuado de las bombas que operan el sistema de tratamiento? <i>Fallas en el sistema eléctrico o bombas del sistema de tratamiento</i></p>		Interrupciones del proceso de tratamiento por cortes eléctricos o fallas en bombas			
<p>¿Está claramente delimitado y protegido el espacio donde se encuentra el sistema de tratamiento del agua? <i>Ausencia de delimitación clara del recinto donde se realiza el tratamiento del agua</i></p>		Ingreso de personas o animales al área de tratamiento por falta de cierres o señalización			
<p>¿El tipo de tratamiento que tienen permite limpiar bien el agua cuando cambia su color, turbidez u otros parámetros? <i>El sistema no alcanza a tratar toda el agua cuando llega muy contaminada</i></p>		El sistema se sobrecarga y el agua puede salir sin tratamiento completo			
<p>¿Se ha evaluado si el sistema de tratamiento actual es efectivo para eliminar contaminantes durante eventos extremos como lluvias intensas o crecidas? <i>Capacidad limitada del sistema de tratamiento frente a nuevas amenazas</i></p>		Aumento de contaminantes que no son eliminados por el tratamiento actual			
<p>¿Tienen un registro donde anoten los problemas o fallas que ocurren en el tratamiento, especialmente cuando el agua llega más sucia? <i>No se registran ni revisan bien los eventos que ocurren en la planta de tratamiento</i></p>		Las fallas pasan desapercibidas y se puede distribuir agua sin tratar adecuadamente			
<p>¿Se modifica la dosis de coagulante o el proceso cuando el agua viene con más sedimentos, turbidez o materia orgánica? <i>La coagulación no elimina bien compuestos orgánicos del agua cruda</i></p>		La materia orgánica pasa al agua tratada y puede formar subproductos			
<p>¿Se ajusta la dosis de cloro según cómo viene el agua o según las condiciones como calor, turbidez o bajo caudal? <i>El sistema tradicional no logra remover contaminantes bajo nuevas condiciones climáticas</i></p>		Persistencia de materia orgánica o precursores que generan subproductos peligrosos (DBPs no removidos por coagulación/filtración)			
COMPONENTE 5 DESINFECCIÓN					
<p>¿Han notado cambios extraños en el agua que entra al sistema, como color, olor, turbidez u otro cambio inusual, especialmente después de lluvias? <i>Cambio en la calidad del agua cruda (El agua de entrada llega con contaminantes que antes no se presentaban)</i></p>		presencia de sustancias o microorganismos no esperados que pueden afectar el tratamiento			
<p>¿El sistema de cloración funciona bien cuando el agua llega con alta carga contaminante o condiciones adversas (como calor, turbidez o lluvias)?</p>		El agua puede llegar a la red sin desinfección efectiva, permitiendo el paso de microorganismos			

Factor de riesgo	¿Identificado en el sistema? Sí / No	Evento peligroso	¿Ocurre o podría ocurrir? Sí / No / Podría ocurrir	Nivel de preocupación Muy preocupante / Preocupa / Poca preocupación / Sin preocupación	Observaciones
<i>El sistema de desinfección es deficiente. No se asegura eliminación adecuada de microorganismos antes de la distribución</i>					
¿Las condiciones de almacenamiento del hipoclorito son las adecuadas para su durabilidad? <i>Almacenamiento y manejo inadecuado del hipoclorito (producto químico)</i>		Desinfección ineficaz por uso de cloro degradado			
¿Se calcula la dosis de cloro en función del volumen de agua cruda a tratar y se verifica el cloro residual en la red o puntos de consumo? <i>El cloro se aplica sin medir bien la cantidad ni verificar si está actuando correctamente</i>		El agua desinfectada puede contener microorganismos patógenos si no se ajusta ni controla bien la dosificación			
COMPONENTE 6: ALMACENAMIENTO					
¿Se realiza limpieza o mantención del fondo del estanque (como retrolavado) cuando baja el nivel de agua? <i>Contacto del agua con sedimentos del fondo</i>		Liberación de metales o mal sabor cuando baja mucho el nivel del estanque			
¿Se han observado grietas, fisuras u otras fallas visibles en el estanque de almacenamiento? <i>Presencia de fisuras, grietas u otros daños visibles en estanques u otras estructuras de almacenamiento.</i>		Ingreso de contaminantes al agua almacenada por fallas estructurales o debilitamiento del estanque.			
¿El estanque queda frecuentemente con bajo nivel o vacío durante el día, afectando la continuidad del suministro de agua? <i>Capacidad insuficiente de almacenamiento</i>		Interrupciones del suministro por falta de volumen			
¿El sistema cuenta con un estanque con capacidad suficiente, o un segundo estanque de respaldo, que permita mantener el suministro durante emergencias como cortes de energía o sequías? <i>Poca capacidad del estanque para emergencias</i>		No se puede seguir abasteciendo agua si hay cortes de energía o sequía			
¿Se ha observado presencia de algas, moho o verdín en los bordes o paredes del estanque? <i>Almacenamiento inadecuado por exposición a luz</i>		Condiciones propicias para crecimiento microbiano			
¿Existe un protocolo claro para actuar cuando se detectan contaminantes o alteraciones en la calidad del agua? <i>Ausencia de protocolos de respuesta frente a contaminación</i>		Demora en la respuesta sanitaria			
COMPONENTE 7: OPERACIÓN Y CONTROL					
¿Se lleva un registro de fallas, cortes o problemas ocurridos en el sistema? <i>Ausencia de registro y seguimiento de incidencias críticas</i>		Se repiten errores y fallas			
¿Se revisan periódicamente los registros del sistema para detectar tendencias, fallas o mejoras necesarias? <i>No se realiza revisión sistemática de las bitácoras o registros operacionales</i>		Fallas recurrentes sin ser corregidas			
¿El sistema cuenta con un calendario o rutina de mantenciones preventivas de equipos e infraestructura?		Aumento de fallas técnicas por desgaste acumulado			

Factor de riesgo	¿Identificado en el sistema? Sí / No	Evento peligroso	¿Ocurre o podría ocurrir? Sí / No / Podría ocurrir	Nivel de preocupación Muy preocupante / Preocupa / Poca preocupación / Sin preocupación	Observaciones
Falta de rutinas de mantenimiento preventiva del sistema					
¿Se cuenta con stock de insumos básicos y repuestos críticos para mantener la operación del sistema? Falta de repuestos o insumos críticos disponibles		Demora en reparaciones			
¿Cada cuánto se revisan y calibran los equipos de medición? ¿Quién lo hace? <i>Equipos de medición en mal estado o no calibrados</i>		Mediciones erróneas que generan decisiones inadecuadas			
¿Los operadores o dirigentes han recibido información sobre cambio climático y sus impactos en el agua? <i>Bajo conocimiento del equipo sobre impactos y medidas frente al cambio climático</i>		Dificultad para tomar decisiones informadas en contextos de incertidumbre climática			
¿Se asegura que la información operativa (bitácoras) se registre y se traspase entre turnos o responsables? <i>Descoordinación entre turnos o personal sin traspaso de información</i>		Omisión de tareas críticas			
¿Se cuenta con protocolos de monitoreo efectivos que permitan detectar cambios bruscos en la calidad del agua? <i>Protocolos de monitoreo que no detectan variaciones críticas</i>		Falta de respuesta frente a eventos inesperados			
¿Se han identificado sectores del sistema que presenten más problemas? ¿se priorizan acciones correctivas en esos puntos? <i>No se identifican puntos críticos de vulnerabilidad en el sistema</i>		Se repiten fallas en zonas específicas			
COMPONENTE 8: GESTIÓN Y GOBERNANZA					
¿El sistema cuenta con respaldo energético (como generador o energía solar) para operar durante cortes de electricidad? <i>Dependencia total del sistema de una única fuente de energía</i>		Corte prolongado de electricidad deja inoperativo el sistema			
¿Existe morosidad o dificultades frecuentes de parte de los usuarios para cumplir con el pago de sus cuotas? <i>Falta de compromiso o constancia de pago por parte de los usuarios</i>		La comunidad no puede apoyar la gestión del sistema por problemas económicos			
¿Las condiciones económicas de la comunidad permiten sostener el funcionamiento del sistema de agua? <i>Dificultad para mantener y operar el sistema por factores económicos locales</i>		El sistema se deteriora por falta de recursos			
¿Han solicitado nuevas conexiones al sistema por parcelaciones u otros proyectos habitacionales? ¿Se ha evaluado si la capacidad del sistema permite incorporar más usuarios? <i>Nuevas viviendas o parcelaciones sin evaluación de la capacidad del sistema</i>		Presión por nuevas conexiones que podrían superar la capacidad del sistema			

Factor de riesgo	¿Identificado en el sistema? Sí / No	Evento peligroso	¿Ocurre o podría ocurrir? Sí / No / Podría ocurrir	Nivel de preocupación Muy preocupante / Preocupa / Poca preocupación / Sin preocupación	Observaciones
<p>¿Existe coordinación o trabajo conjunto con otros comités, gremios u organizaciones relacionadas al agua en la zona? <i>Falta de redes de comunicación entre comités, gremios o entidades relacionadas con el agua</i></p>		Las decisiones no se coordinan entre actores/Aislamiento frente a experiencias exitosas, aprendizajes o alertas			
<p>¿Existe un fondo de emergencia? ¿Quién lo administra? <i>Falta de fondos para emergencias o reparaciones</i></p>		Incapacidad de respuesta rápida ante fallas críticas			
<p>¿Con qué frecuencia se renuevan los cargos del comité? ¿Cómo se eligen? <i>Baja rotación o renovación de cargos en el comité</i></p>		Concentración de poder y falta de actualización de conocimientos			
<p>¿El comité ha postulado a fondos o ha recibido apoyo técnico para mejorar o adaptar el sistema a estos nuevos escenarios que trae la crisis climática? <i>Limitaciones para postular a fondos o recibir asistencia técnica externa</i></p>		Falta de inversión y asesoría para mejorar el sistema y enfrentar nuevas amenazas			
<p>¿Existe un fondo de emergencia? ¿Quién lo administra? <i>Falta de fondos para emergencias o reparaciones</i></p>		Incapacidad de respuesta rápida ante fallas críticas			
<p>¿Existen canales para avisar a la comunidad o comité en caso de emergencia? <i>Inexistencia de sistema de alerta interna o comunitaria</i></p>		Tardanza en actuar frente a rebalses o eventos extremos			
<p>¿Se han evaluado emergencias anteriores? ¿Qué medidas se tomaron luego de ellas? <i>Falta de evaluación posterior a emergencias pasadas</i></p>		Repetición de eventos sin mejora en la respuesta			
<p>¿Se ha capacitado el comité u operador en los últimos dos años? ¿En qué temas? <i>Falta de capacitación continua del comité y operadores</i></p>		Estancamiento técnico y organizacional del sistema			
COMPONENTE 8: SALUD DE TRABAJADORES Y USUARIOS					
<p>¿Se han reportado situaciones de deshidratación en la comunidad durante periodos con baja disponibilidad de agua en el sistema? <i>Casos de deshidratación relacionados con falta de acceso continuo al agua</i></p>		Incidencia de deshidratación en períodos de caudal bajo			
<p>¿Los usuarios han notado cambios en el sabor, olor o color del agua que generen rechazo o preocupación, especialmente en personas más sensibles? <i>Cambios en sabor, olor o color del agua que afectan la confianza en su consumo</i></p>		Alteración en la percepción de la calidad del agua que puede provocar rechazo o consumo inadecuado			
<p>¿Existen personas que puedan estar más afectadas por la calidad del agua (niños, embarazadas, adultos mayores) y se han tomado medidas para protegerlas? <i>Mayor exposición de grupos sensibles a problemas de calidad del agua</i></p>		Mayor susceptibilidad a enfermedades o efectos adversos por agua de baja calidad			
<p>¿El operador utiliza EPP? ¿Cuál y con qué frecuencia? <i>Ausencia o uso incorrecto de elementos de protección personal (EPP)</i></p>		Contacto directo con aguas servidas, químicos o lodos			

Factor de riesgo	¿Identificado en el sistema? Sí / No	Evento peligroso	¿Ocurre o podría ocurrir? Sí / No / Podría ocurrir	Nivel de preocupación Muy preocupante / Preocupa / Poca preocupación / Sin preocupación	Observaciones
¿El personal está vacunado contra enfermedades de origen laboral? Falta de vacunación contra enfermedades laborales (hepatitis A, tétano)		Vulnerabilidad ante exposición biológica crónica			
¿Ha recibido capacitación en manejo de riesgos eléctricos, mecánicos o químicos? Riesgos eléctricos, mecánicos o de gases sin capacitación específica		Accidentes laborales por manipulación inadecuada de equipos			
¿Existen señales, barandas o delimitaciones en zonas con riesgo físico? Falta de señalización o barreras de seguridad en zonas de riesgo		Caídas, resbalones o contacto con zonas peligrosas			
¿Cómo se manipulan los productos químicos? ¿Hay ventilación y equipo de protección? Manipulación de productos químicos sin resguardo adecuado		Inhalación o contacto accidental con sustancias peligrosas			
¿La planta cuenta con baño, agua potable, zona de descanso y sombra para el operador? Ausencia de servicios básicos para el personal (baño, agua potable, sombra)		Condiciones de trabajo insalubres o inseguras			
¿Cuántas horas trabaja el operador? ¿Tiene apoyo o rotación? Trabajos prolongados sin descanso ni rotación de funciones		Agotamiento físico o errores operacionales			
¿El operador tiene vestuario y zona para cambiarse o asearse tras la jornada? Falta de vestuario adecuado o instalaciones para cambio y aseo		Contaminación cruzada entre trabajo y vida personal			
¿Existen medidas ante climas extremos? ¿Se adaptan los horarios o condiciones? Trabajo en condiciones climáticas adversas sin medidas adaptativas		Riesgos físicos o accidentes por calor, frío o viento extremo			

Anexo F: Extracto de indicaciones de evaluación participativa proporcionadas a instituciones de la Región del Biobío: DOH, DIRPLAN y SEREMI de Salud.



PROYECTO FONIS SA231027

Diseño de un plan de adaptación al cambio climático de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de la región del Biobío, en un contexto de salud pública.

Evaluación participativa de factores de riesgo en salud para el SSR Huallerehue frente a amenazas climáticas

Fecha: 25 de julio de 2025

1. Objetivo

Validar y jerarquizar los factores de riesgo identificados, considerando tanto la experiencia técnica como el conocimiento local. Esta actividad busca identificar cuáles factores de riesgo deben ser priorizados frente a las amenazas climáticas proyectadas para la zona.

2. Metodología

Se solicitó a cada participante completar la matriz adjunta con la información correspondiente:

- a. Indique (Sí/No/No sé) si la amenaza tendrá una implicancia o relación con respecto al factor de riesgo, considerando la proyección estimada.
- b. Señale su nivel de preocupación, utilizando la escala adjuntada (a.).
- c. Determine si su institución u organización tiene pertinencia para actuar sobre ese factor, según sus competencias y ámbitos de acción.
- d. Agregue cualquier comentario adicional sobre responsabilidades, recursos, experiencias u observaciones.



2.1. Escala de nivel de preocupación

Utilice la siguiente tabla como referencia para determinar el nivel de preocupación

Nivel	Prioridad	Criterios técnicos y sanitarios integrados
4	Severa	El evento puede: (a) provocar enfermedades graves o brotes sanitarios o afectar a grupos vulnerables y/o (b) afectar gravemente la infraestructura, la continuidad del servicio o los tiempos de respuesta. y/o (c) puede generar alarma pública, pérdida de confianza y requiere intervención urgente.
3	Alta	El evento puede: (a) afectar a usuarios sin generar riesgos sanitarios relevantes (enfermedades no graves) y/o (b) provocar interrupciones temporales o sobrecarga operativa del sistema, y/o (c) afecta la percepción de seguridad o genera quejas de usuarios. Puede requerir acciones correctivas a corto plazo.
2	Media	El evento no representa riesgo inmediato para la salud de los usuarios, pero puede: (a) reducir la aceptabilidad del agua (olor, color, sabor) y/o (b) implicar mantenciones o ajustes operativos frecuentes. y/o (c) no interrumpe el servicio, pero requiere monitoreo y seguimiento.
1	Baja	(a) No genera impactos directos en salud ni en operación, pero debe registrarse. y/o (b) puede ser un signo de vulnerabilidad futura o afectar la eficiencia del sistema si se acumula. y/o (c) no requiere acción inmediata, pero sí monitoreo o preparación.

2.2. Proyecciones climáticas

La siguiente tabla muestra proyecciones climáticas específicas para la localidad de Huallerehue, obtenidas desde el Explorador de Amenazas Climáticas del Atlas de Riesgo Climático (ARClím). Presenta los valores históricos y futuros de distintos indicadores, lo que permite identificar amenazas que podrían intensificarse y relacionarlas con los factores de riesgo en salud evaluados para el SSR.

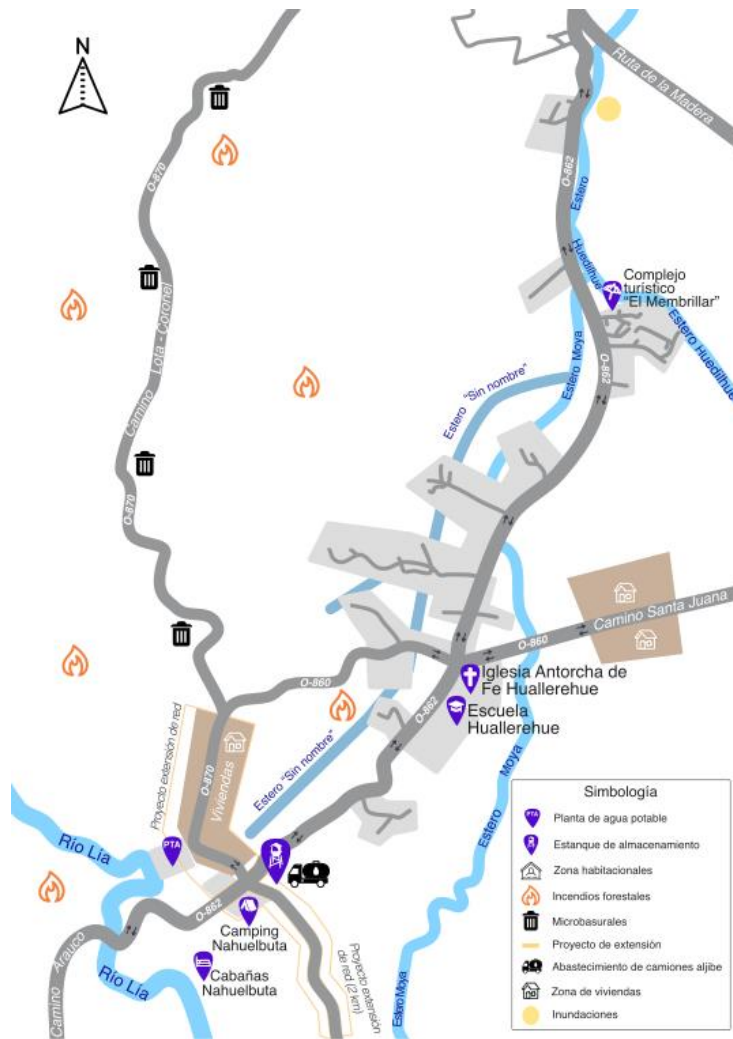
Amenaza climática	Indicador ARClím	Valor		Proyección
		Histórico	Futuro	
Olas de calor	- Promedio de temperatura máxima diaria anual (°C)	19,5	21,2	Aumento
	- Olas de calor > 28°C (días)	21	40	
	- Duración de episodios cálidos > 3 días (días)	7	31	
Incendios forestales	- Olas de calor > 28°C (días)	21	40	Aumento
	- Temperatura máxima diaria en verano (°C)	24,5	26,5	
	- Presencia de plantación forestal	Alta	Alta	
Sequía	- Índice simple de intensidad de precipitación (mm/día)	4,6	3,96	Aumento
	- Días secos consecutivos (días)	45	48	
	- Frecuencia de sequía (%)	13,30	26,60	
Precipitaciones intensas	- Precipitación máxima diaria (%)	91,92	90,76	Se mantiene
	- Precipitación muy intensa (días)	49	43	
Olas de frío	- Duración de episodios fríos <3 días (días)	6,0	1,5	Se mantiene
	- Promedio de temperatura mínima en invierno (°C)	6	7	

Fuente: ARClím (MMA, 2025)

4. Cartografía participativa

Entendida como una “Representación visual del conocimiento que la comunidad tiene de su territorio y de sus características distintivas, físicas, sociales y culturales.” (FIDA, 2009, p. 4).

Aplicada el 4 de junio de 2025 a un funcionario, 2 directivos y 2 operarios del SSR Huallerehue, con el fin de identificar parte de los factores incluidos en la matriz..



Anexo G: Registros de muestras de turbidez en agua potable y cruda de SEREMI de Salud del Biobío para el SSR Huallerehue, 2011 a 2024

Muestra	Fecha	Turbidez (UNT)	
Agua potable	21-04-11	0,5	
	02-05-12	0,8	
	07-05-14	0,45	
	19-03-18	1,4	
	13-04-18	1,4	
	19-06-18	<1	
	25-05-20	<1	
	15-06-20	<1	
	15-11-21	<1	
	26-07-22	1,7	
	22-03-23	<1	
	22-04-24	<1	
	16-10-24	4,4	
	Agua cruda	27-05-19	1,1
		22-03-23	<1

Fuente: SEREMI de Salud del Bio Bío (2025).

Anexo H: Registro de muestras de parámetros esenciales en agua potable de la SEREMI de Salud del Biobío para el SSR Huallerehue, 2011 a 2024

Fecha	Concentración de Hierro (mg/L)	Límite máximo (*)
21-04-11	<0.08	0,3
02-05-12	0,094	0,3
07-05-14	<0.08	0,3
19-03-18	<0.3	0,3
13-04-18	<0.3	0,3
19-06-18	<0.3	0,3
27-05-19	<0.2	0,3
25-05-20	<0.2	0,3
15-06-20	<0.2	0,3
15-11-21	<0.2	0,3
26-07-22	0,11	0,3
22-03-23	<0.1	0,3
22-03-23	<0.1	0,3
22-04-24	<0.1	0,3
16-10-24	0,18	0,3

Fuente: SEREMI de Salud del Bio Bío (2025).

* Art. 10 y Art. 15 bis, Título II De la calidad del agua

DS N°735/10 (MINSAL) REGLAMENTO DE LOS SERVICIOS DE AGUA DESTINADOS AL CONSUMO HUMANO

Anexo I: Registro de muestras de parámetros orgánicos de la SEREMI de Salud del Biobío para el SSR Huallerehue, 2021 a 2024

Fecha	pH	Límite máximo (*)
21-04-11	6,8	6,5-8,5
02-05-12	6,53	6,5-8,5
07-05-14	6,77	6,5-8,5
19-03-18	6,7	6,5-8,5
13-04-18	6,7	6,5-8,5
19-06-18	6,6	6,5-8,5
27-05-19	6,1	6,5-8,5
25-05-20	6,6	6,5-8,5
15-06-20	6,6	6,5-8,5
15-11-21	6,1	6,5-8,5
26-07-22	6,5	6,5-8,5
22-03-23	7	6,5-8,5
22-03-23	7	6,5-8,5
22-04-24	6,3	6,5-8,5

Fuente: SEREMI de Salud del Bio Bío (2025).

* Art. 10 y Art. 15 bis, Título II De la calidad del agua
DS N°735/10 (MINSAL) REGLAMENTO DE LOS SERVICIOS DE AGUA DESTINADOS AL CONSUMO HUMANO

Anexo J: Registros históricos de coliformes fecales y totales en agua potable según fiscalizaciones de la SEREMI de Salud del Biobío, 2011 a 2025

Fecha	Coliformes (UFC/100mL)	Totales	Coliformes fecales [E. Coli] (UFC/100mL)
23-05-11	<1		<1
15-03-12	<1		<1
26-02-13	<1		<1
07-05-14	<1		<1
22-09-14	<1		<1
07-09-16	<1		Ausencia
25-05-15	<1		<1
18-05-15	<1		Ausencia
26-05-17	<1		<1
19-03-18	<1		Ausencia
19-03-18	<1		Ausencia
15-05-19	<1		<1
21-11-19	<1		<1
25-05-20	<1		<1
29-05-20	<1		<1
26-08-20	<1		<1
26-04-21	<1		Ausencia
23-09-21	<1		<1
15-11-21	-		-
17-11-21	<1		<1
16-03-22	<1		Ausencia
11-07-22	<1		Ausencia
22-03-23	<1		Ausencia
21-08-23	<1		Ausencia
22-04-24	<1		<1
04-10-24	<1		<1
14-05-25	2		<1
14-05-25	<1		<1
09-05-25	1414		1

Fuente: SEREMI de Salud Bio Bío (2025)

Anexo K: Registro de muestras de parámetros microbiológicos en agua superficial sin tratamiento (agua cruda) realizados por BIODIVERSA, 2014 a 2020

Fecha	Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Coliformes Fecales [E. Coli] (P/A)
04-11-14	613,1	5,2
17-02-15	1011,1	36,4
04-08-15	488,4	7,3
03-11-15	>2419,2	9,7
16-02-16	>2419,2	24,3
03-05-16	1299,7	44,8
02-08-16	686,7	3
15-11-16	>2419,2	82
07-02-17	<1	<1
09-08-17	461,1	16
07-11-17	>2419,2	6,1
15-02-18	>2419,2	9,8
17-05-18	1203,3	18,7
30-08-18	410,6	6,3
29-11-18	>2419,2	11
14-02-19	>2419,2	40,4
16-05-19	770,1	48,7
14-11-19	<1	<1
13-02-20	<1	<1

Fuente: BIODIVERSA (2024).

Anexo L: Factores de riesgo en salud identificados en el SSR con su correspondiente evento peligroso y ocurrencia.

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso	Ocurrencia (En base a experiencia SSR)
Cuenca	Presencia de actividades recreativas dentro de la cuenca aportante	Ingreso de contaminantes como residuos, aceites o detergentes al cuerpo de agua	Ha ocurrido
	Presencia de caminos o rutas de tránsito vehicular	Arrastre de contaminantes desde caminos/rutas vehiculares hacia el cauce durante lluvias	Podría ocurrir
	Actividades agrícolas o industriales en la zona de cuenca aportante	Aumento de la carga contaminante en el cauce por uso de agroquímicos o vertidos	Podría ocurrir
	Descarga de vertimientos o residuos sólidos/líquidos	Ingreso puntual de residuos al cauce durante eventos de lluvia o por malas prácticas locales	Podría ocurrir
Captación Fuente de agua	- Existencia de fuentes cercanas que puedan contaminar el agua	Arrastre de contaminantes microbiológicos o químicos hacia la fuente durante eventos de lluvia intensa.	Podría ocurrir
	Variación significativa del caudal de la fuente según la estación.	Disminución de la capacidad de captación durante periodos de bajo caudal	Ha ocurrido
		Aumento de la concentración de nutrientes por menor dilución natural del agua	Podría ocurrir
		Sobrecarga de la infraestructura de captación ante caudales excesivos o repentinos	Ha ocurrido
	Fisuras, suciedad u obstrucciones en la estructura de captación	Ingreso de contaminación por filtraciones o suciedad en la infraestructura	Ha ocurrido
	Estructura de captación con daños visibles o deterioro por falta de mantenimiento	Fallas estructurales que interrumpen el abastecimiento de agua	Ha ocurrido
	Falta de cierre perimetral, señalética o cercado de protección en torno a la captación	Ingreso de animales, residuos sólidos o actividades humanas no autorizadas a la fuente	Ha ocurrido
	Cambios organolépticos o visuales en el agua captada	Presencia de contaminantes químicos o biológicos que alteran las características del agua.	Ha ocurrido
	Estancamiento del agua en la fuente por baja renovación natural	Desarrollo de condiciones anaeróbicas o proliferación de microorganismos	Podría ocurrir
	Uso de fuentes alternativas sin evaluación previa de su calidad	Consumo de agua con posibles contaminantes microbiológicos o químicos.	Podría ocurrir

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso	Ocurrencia (En base a experiencia SSR)
	Aporte de sedimentos o nutrientes al agua desde la lluvia o arrastre de suelos	Ingreso de fertilizantes y material terrestre al agua durante lluvias fuertes	Ha ocurrido
		Obstrucción del sistema de captación y reducción de la capacidad de captación	Ha ocurrido
	Ubicación de la captación en zonas expuestas a amenazas naturales	Daños a la infraestructura	Podría ocurrir
		Interrupción del servicio por el desastre	Ha ocurrido
	Ausencia de una fuente alternativa de abastecimiento en caso de contingencia.	Corte total del suministro ante fallas o contaminación de la fuente principal	Ha ocurrido
	Crecimiento de vegetación en la fuente o en estructuras de captación	Obstrucción del flujo y alteración de parámetros físico-químicos del agua	Podría ocurrir
	Acumulación de hojas, basura u otros residuos sólidos en la fuente	Disminución de la calidad del agua captada y riesgo de obstrucción	Ha ocurrido
	Dificultad de acceso a la captación por condiciones climáticas o geográfica	Imposibilidad de realizar mantenimiento, monitoreo o reparaciones oportunas	Ha ocurrido
	Falta de protección eléctrica o respaldo para bombas de captación	Paralización del sistema por interrupciones en el suministro eléctrico	Ha ocurrido
Red de conducción y distribución	Daños, grietas o filtraciones en el sistema de conducción y/o distribución	Fisuras, grietas o filtraciones que produce ingreso de contaminantes	Ha ocurrido
	Existencia de uniones, conexiones o empalmes en mal estado o con pérdidas en la red	Ingreso de contaminantes al sistema por efecto de presiones negativas o infiltraciones	Ha ocurrido
	Ubicación de infraestructura sanitaria en zonas con alta probabilidad de incendios forestales.	Derretimiento o colapso de válvulas, tuberías u otros componentes críticos por contacto directo con el fuego	Ha ocurrido
	Materiales del sistema vulnerables a dilataciones y contracciones por exposición a temperaturas extremas	Fallas estructurales, fisuras o pérdidas por deformaciones inducidas por ciclos térmicos intensos o prolongados	Podría ocurrir
	Presencia de conexiones no reguladas o mal ejecutadas en la red de distribución	Ingreso de contaminantes al sistema por efecto de presiones negativas o infiltraciones	Ha ocurrido
	Dificultades para realizar un monitoreo continuo de la calidad del agua en la red	Retardo en la detección de episodios de contaminación o fallas operativas	

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso	Ocurrencia (En base a experiencia SSR)
Sistema de tratamiento	Emplazamiento de la planta o sus equipos en zonas susceptibles a inundaciones	Ingreso de barro o agua al sistema, dejando inoperables los componentes del tratamiento	Ha ocurrido
	Dependencia del sistema de tratamiento de bombas eléctricas o alimentación sin respaldo	Interrupción del proceso de tratamiento ante fallas en el suministro eléctrico o en las bombas	Ha ocurrido
	Ausencia de protocolos que regulen el acceso y las condiciones de seguridad en la planta de tratamiento	Acceso no autorizado o accidentes que comprometen la integridad de las personas y del sistema	Podría ocurrir
	Ausencia de delimitación física o cierre perimetral del recinto donde se ubica el sistema de tratamiento	Ingreso de personas o animales al área de tratamiento por falta de cierres o señalización	Podría ocurrir
	El sistema no alcanza a tratar toda el agua cuando llega muy contaminada	El sistema se sobrecarga y el agua puede salir sin tratamiento completo	Podría ocurrir
	Capacidad insuficiente del sistema de tratamiento para procesar el volumen de agua captada durante eventos	Sobrepaso del caudal de diseño y salida de agua sin tratamiento adecuado hacia la red	Podría ocurrir
	El sistema tradicional no logra remover contaminantes bajo nuevas condiciones climáticas	Persistencia de materia orgánica o precursores que generan subproductos peligrosos (DBPs no removidos por coagulación/filtración)	Podría ocurrir
	Ausencia de procedimientos estandarizados para el registro, revisión y análisis de fallas operativas en la planta de tratamiento	Fallas no detectadas que permiten la distribución de agua sin tratamiento adecuado o sin cumplir los parámetros sanitarios mínimos	Podría ocurrir
Desinfección	Cambios en la calidad del agua cruda que reducen la eficacia del proceso de desinfección, como el aumento de turbiedad, hierro o materia orgánica	Presencia de sustancias o microorganismos no eliminados adecuadamente por la desinfección	Podría ocurrir
	Inyección insuficiente de cloro que impide alcanzar el residual requerido.	Dosificación insuficiente de cloro que impide alcanzar nivel residual mínimo para inactivar patógenos	Ha ocurrido
	Diseño inadecuado o falta de mantenimiento del sistema de desinfección	Aplicación insuficiente de cloro durante la operación del sistema	Podría ocurrir

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso	Ocurrencia (En base a experiencia SSR)
	Prácticas inadecuadas de almacenamiento y manipulación del hipoclorito de sodio	Uso de cloro degradado que disminuye la eficacia del proceso de desinfección	Podría ocurrir
Almacenamiento	Acumulación de sedimentos en el fondo del estanque de almacenamiento	Liberación de metales o compuestos indeseados al agua cuando baja el nivel de agua	Podría ocurrir
	Presencia de fisuras, grietas u otros daños visibles en la estructura del estanque	Ingreso de contaminantes externos como coliformes fecales, partículas del suelo o compuestos químicos del entorno a través de filtraciones en la estructura	Podría ocurrir
		Pérdida de agua por fugas no controladas a través de las grietas o fisuras.	Ha ocurrido
		Deterioro progresivo de la estructura que puede comprometer la continuidad del servicio	Ha ocurrido
	Capacidad de almacenamiento insuficiente frente a cortes prolongados o aumento de demanda	Interrupción del abastecimiento al agotarse el volumen disponible	Ha ocurrido
Estanques sin protección contra la luz solar ni control de temperatura	Proliferación microbiana en el agua almacenada por condiciones favorables	Podría ocurrir	
Operación y control	Falta de programación de rutinas de mantenimiento preventivo de la infraestructura del sistema	Aumento de fallas técnicas por desgaste acumulado o deterioro no atendido	Podría ocurrir
	Carencia de insumos esenciales o repuestos críticos para la operación del sistema	Prolongación de fallas técnicas por falta de capacidad de reparación inmediata	Podría ocurrir
	Ausencia de protocolos claros para responder ante fallas operativas, emergencias sanitarias o eventos climáticos extremos.	Demora en la activación de medidas sanitarias o técnicas ante eventos críticos	Podría ocurrir
	Falta de protocolo escrito o capacitación para responder ante emergencias técnicas o sanitarias	Manejo inadecuado de fallas operativas o incidentes	Podría ocurrir
	Ausencia de planificación para responder ante eventos inesperados o múltiples fallas simultáneas	Impacto sanitario o técnico detectado solo después de que ocurre el evento no previsto	Podría ocurrir

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso	Ocurrencia (En base a experiencia SSR)
Gestión gobernanza	y Dependencia del sistema de una única fuente de energía, sin respaldo de energía	Interrupción total del suministro ante cortes prolongados o contaminación de la fuente principal	Ha ocurrido
	Incorporación de nuevas viviendas o parcelaciones sin planificación ni evaluación de capacidad del sistema	Sobrecarga del sistema de distribución, con reducción de presión o calidad del servicio	Ha ocurrido
	Falta de fondos reservados para emergencias o reparaciones urgentes	Imposibilidad de ejecutar reparaciones o acciones sanitarias inmediatas ante fallas críticas	Podría ocurrir
	Baja rotación o renovación de los cargos en el comité o directiva del sistema	Concentración de funciones y ausencia de actualización técnica en la gestión del sistema	Ha ocurrido
	Ausencia de redes de coordinación con otros SSR, autoridades o actores comunitarios	Aislamiento organizacional que impide el acceso a apoyos técnicos, financiamiento o experiencias exitosas	Ha ocurrido
	Bajo conocimiento del equipo sobre impactos de la crisis climática en el sistema de agua	Toma de decisiones sin considerar nuevas amenazas climáticas ni riesgos asociados	Ha ocurrido
	Desconexión del SSR con los procesos locales de planificación, adaptación o inversión territorial	Pérdida de oportunidades de colaboración, financiamiento o apoyo institucional	Ha ocurrido
	Limitaciones legales o administrativas para postular a fondos públicos o recibir asesoría técnica	Falta de inversión o mejoras estructurales por no acceder a programas estatales o regionales	Ha ocurrido
Salud trabajadores usuarios	de Ausencia o uso incorrecto de elementos de protección personal durante labores operativas.	Contacto directo con sustancias químicas peligrosas o aguas contaminadas	Podría ocurrir
	y Falta de vacunación del personal contra enfermedades relacionadas con el trabajo en agua	Vulnerabilidad del trabajador ante exposición prolongada a patógenos o riesgos biológicos	Podría ocurrir
	Ausencia de servicios básicos (agua potable, baños, áreas de descanso) en las instalaciones del SSR	Condiciones de trabajo insalubres que afectan la salud y seguridad del personal	Ha ocurrido
	Trabajo prolongado en condiciones climáticas extremas sin medidas de protección adecuadas	Riesgos físicos o accidentes por exposición a calor extremo, frío o radiación solar	Ha ocurrido

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso	Ocurrencia (En base a experiencia SSR)
	Mayor exposición de personas usuarias con condiciones de salud vulnerables (niños, personas mayores)	Mayor susceptibilidad a enfermedades o efectos adversos por contaminantes presentes en el agua	Podría ocurrir

Anexo M: Indicadores climáticos seleccionados para el análisis de amenazas relevantes para el SSR de Huallerehue y su relación con la salud comunitaria y operativa

Indicador ARClim	Definición (ARClim)	Unidad (ARClim)	Respaldo técnico	Afectación Pública	Salud	Afectación Trabajadores del SSR	Referencia del
Temperatura máxima diaria / verano	Promedio de la temperatura máxima diaria en el período considerado.	°C	El calor extremo aumenta la mortalidad por causas cardiovasculares y respiratorias.	Más golpes de calor, deshidratación, exacerbación de enfermedades crónicas.		Riesgo en operación y emergencias por fatiga térmica.	WHO. (2021).
Olas de calor >28 °C (días consecutivos)	Días consecutivos con temperatura máxima sobre 28 °C por ≥3 días.	días	Olas de calor se definen localmente, pero >28 °C se considera umbral crítico en varios contextos.	Mayor presión sobre el sistema sanitario, salud mental afectada.		Mantenimientos en condiciones térmicas peligrosas, mayor estrés físico.	WHO. (2021).
Duración de episodios cálidos (>3 días)	Períodos de ≥3 días consecutivos con temperatura máxima sobre el percentil 90 del histórico.	días	La OMS/OMM define ola de calor como ≥3 días con temperaturas inusuales.	Impacto sostenido en salud, mayor vulnerabilidad social.		Agotamiento por trabajo prolongado en condiciones extremas.	WHO. (2021).
Días secos consecutivos (sequía)	Máximo número de días sin precipitación (>1 mm).	días	Sequías prolongadas incrementan riesgos de diarrea y desnutrición.	Escasez de agua potable, comprometida.		Operación afectada por falta de recurso hídrico, mayor desgaste laboral.	WHO. (2021).

Indicador ARClím	Definición (ARClím)	Unidad (ARClím)	Respaldo técnico	Afectación Pública	Salud	Afectación Trabajadores del SSR	Referencia del
Índice simple de intensidad de precipitación	Promedio diario de precipitación en días con >1 mm.	mm/día	Lluvias intensas favorecen enfermedades transmitidas por el agua.	Contaminación de agua, brotes de enfermedades gastrointestinales.	del de	Acceso dificultado a zonas afectadas o dañadas por lluvia extrema.	WHO (2002)
Precipitación máxima diaria	Valor máximo de precipitación registrado en un día del período.	mm	Eventos extremos saturan sistemas sanitarios y contaminan fuentes de agua.	Rotura de interrupción de servicio, enfermedades.	redes, de	Mayor necesidad de monitoreo y respuesta ante cortes o fallas.	WHO (2002)
N° días con precipitación >20 mm (R20mm)	Cantidad de días con lluvia superior a 20 mm.	días	Relacionadas con aumento de enfermedades vectores y contaminada.	Escorrentía de contaminada, por en captaciones.	riesgos	Mayor monitoreo y respuesta en condiciones de riesgo.	WHO (2027a)
Duración de episodios fríos (<3 días)	Períodos ≥ 3 días consecutivos con temp. mínima bajo el percentil 10 del histórico.	días		Vulnerabilidad aumentada en adultos mayores y niños, enfermedades respiratorias.		Riesgo de exposición al frío, hipotermia durante labores en terreno.	Ryti, Guo, & Jaakkola, (2016)

Indicador ARClím	Definición (ARClím)	Unidad (ARClím)	Respaldo técnico	Afectación Pública	Salud	Afectación Trabajadores del SSR	Referencia del
Temp. mínima promedio en invierno	Promedio de temperaturas mínimas diarias durante el invierno.	°C		Mayor incidencia de infartos, resfriados en población vulnerable.		Riesgos en labores nocturnas o mal calefaccionadas.	Ryti, Guo, & Jaakkola, 2016)
Presencia de plantación forestal	-	-	No hay definición directa, pero las plantaciones favorecen incendios que afectan la salud respiratoria.	Mayor exposición al humo e irritantes, complicaciones respiratorias.		Riesgo de evacuación de infraestructura, exposición a humo durante alertas o incendios.	WHO. (2016).

Anexo N: Extracto Matriz de evaluación participativa de factores de riesgo en salud del componente de tratamiento del SSR Huallerehue, frente a amenazas climáticas proyectadas



PROYECTO FONIS SA231027

Diseño de un plan de adaptación al cambio climático de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de la región del Biobío, en un contexto de salud pública.

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
Cuenca	Presencia de actividades recreativas dentro de la cuenca aportante	Ingreso de contaminantes como residuos, aceites o detergentes al cuerpo de agua (*)							
	Presencia de caminos o rutas de tránsito vehicular	Arrastre de contaminantes desde caminos/rutas vehiculares hacia el cauce durante lluvias							
	Actividades agrícolas o industriales en la zona de cuenca aportante	Aumento de la carga contaminante en el cauce por uso de agroquímicos o vertidos							
	Descarga de vertimientos o residuos sólidos/líquidos	Ingreso puntual de residuos al cauce durante eventos de lluvia o por malas prácticas locales							
Captación - Fuente de agua	Existencia de fuentes cercanas que puedan contaminar el agua	Arrastre de contaminantes microbiológicos o químicos hacia la fuente durante eventos de lluvia intensa.							
	Variación significativa del caudal de la fuente según la estación.	Disminución de la capacidad de captación durante periodos de bajo caudal (*)							
		Aumento de la concentración de nutrientes por menor dilución natural del agua							
		Sobrecarga de la infraestructura de captación ante caudales excesivos o repentinos (*)							
	Fisuras, suciedad u obstrucciones en la estructura de captación	Ingreso de contaminación por filtraciones o suciedad en la infraestructura (*)							
Estructura de captación con daños visibles o deterioro por falta de mantenimiento	Fallas estructurales que interrumpen el abastecimiento de agua (*)								

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClím (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
Sistema de tratamiento	Emplazamiento de la planta o sus equipos en zonas susceptibles a inundaciones	Ingreso de barro o agua al sistema, dejando inoperables los componentes del tratamiento (*)							
	Dependencia del sistema de tratamiento de bombas eléctricas o alimentación sin respaldo	Interrupción del proceso de tratamiento ante fallas en el suministro eléctrico o en las bombas (*)							
	Ausencia de protocolos que regulen el acceso y las condiciones de seguridad en la planta de tratamiento	Acceso no autorizado o accidentes que comprometen la integridad de las personas y del sistema							
	Ausencia de delimitación física o cierre perimetral del recinto donde se ubica el sistema de tratamiento	Ingreso de personas o animales al área de tratamiento por falta de cierres o señalización							
	El sistema no alcanza a tratar toda el agua cuando llega muy contaminada	El sistema se sobrecarga y el agua puede salir sin tratamiento completo							
	Capacidad insuficiente del sistema de tratamiento para procesar el volumen de agua captada durante eventos	Sobrepaso del caudal de diseño y salida de agua sin tratamiento adecuado hacia la red							
	El sistema tradicional no logra remover contaminantes bajo nuevas condiciones climáticas	Persistencia de materia orgánica o precursores que generan subproductos peligrosos (DBPs no removidos por coagulación/filtración)							
	Ausencia de procedimientos estandarizados para el registro, revisión y análisis de fallas operativas en la planta de tratamiento	Fallas no detectadas que permiten la distribución de agua sin tratamiento adecuado o sin cumplir los parámetros sanitarios mínimos							

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClím (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
Gestión y gobernanza	Dependencia del sistema de una única fuente de energía, sin respaldo de energía	Interrupción total del suministro ante cortes prolongados o contaminación de la fuente principal (*)							
	Incorporación de nuevas viviendas o parcelaciones sin planificación ni evaluación de capacidad del sistema	Sobrecarga del sistema de distribución, con reducción de presión o calidad del servicio (*)							
	Falta de fondos reservados para emergencias o reparaciones urgentes	Imposibilidad de ejecutar reparaciones o acciones sanitarias inmediatas ante fallas críticas							
	Baja rotación o renovación de los cargos en el comité o directiva del sistema	Concentración de funciones y ausencia de actualización técnica en la gestión del sistema (*)							
	Ausencia de redes de coordinación con otros SSR, autoridades o actores comunitarios	Aislamiento organizacional que impide el acceso a apoyos técnicos, financiamiento o experiencias exitosas (*)							
	Bajo conocimiento del equipo sobre impactos del cambio climático en el sistema de agua	Toma de decisiones sin considerar nuevas amenazas climáticas ni riesgos asociados (*)							
	Desconexión del SSR con los procesos locales de planificación, adaptación o inversión territorial	Pérdida de oportunidades de colaboración, financiamiento o apoyo institucional							
	Limitaciones legales o administrativas para postular a fondos públicos o recibir asesoría técnica	Falta de inversión o mejoras estructurales por no acceder a programas estatales o regionales (*)							

Anexo O: Resultados de matriz de Evaluación Participativa de SEREMI de Salud de la Región del Biobío

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
Cuenca	Presencia de actividades recreativas dentro de la cuenca aportante	Ingreso de contaminantes como residuos, aceites o detergentes al cuerpo de agua (*)	SI	NO	NO SÉ	NO	NO	3	SI
	Presencia de caminos o rutas de tránsito vehicular	Arrastre de contaminantes desde caminos/rutas vehiculares hacia el cauce durante lluvias	NO	NO SÉ	NO	SI	SI	2	NO
	Actividades agrícolas o industriales en la zona de cuenca aportante	Aumento de la carga contaminante en el cauce por uso de agroquímicos o vertidos	SI	NO	NO SÉ	SI	NO	2	NO
	Descarga de vertimientos o residuos sólidos/líquidos	Ingreso puntual de residuos al cauce durante eventos de lluvia o por malas prácticas locales	NO	NO	NO	SI	NO	2	SI
Captación - Fuente de agua	Existencia de fuentes cercanas que puedan contaminar el agua	Arrastre de contaminantes microbiológicos o químicos hacia la fuente durante eventos de lluvia intensa.	NO	NO	NO	SI	NO	2	SI
	Variación significativa del caudal de la fuente según la estación.	Disminución de la capacidad de captación durante periodos de bajo caudal (*)	SI	SI	SI	NO	NO	3	SI
		Aumento de la concentración de nutrientes por menor dilución natural del agua	SI	SI	SI	NO	NO	3	SI
		Sobrecarga de la infraestructura de captación ante caudales excesivos o repentinos (*)	NO	NO	NO	SI	NO	3	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	<i>Fisuras, suciedad u obstrucciones en la estructura de captación</i>	Ingreso de contaminación por filtraciones o suciedad en la infraestructura (*)	NO SÉ	SI	SI	SI	SI	3	SI
	<i>Estructura de captación con daños visibles o deterioro por falta de mantenimiento</i>	Fallas estructurales que interrumpen el abastecimiento de agua (*)	SI	SI	NO	SI	SI	4	SI
	<i>Falta de cierre perimetral, señalética o cercado de protección en torno a la captación</i>	Ingreso de animales, residuos sólidos o actividades humanas no autorizadas a la fuente (*)	SI	SI	SI	NO	NO	2	NO
	<i>Cambios organolépticos o visuales en el agua captada</i>	Presencia de contaminantes químicos o biológicos que alteran las características del agua (*)	SI	SI	SI	SI	NO SÉ	4	NO
	<i>Estancamiento del agua en la fuente por baja renovación natural</i>	Desarrollo de condiciones anaeróbicas o proliferación de microorganismos	SI	NO SÉ	SI	NO	NO	4	SI
	<i>Uso de fuentes alternativas sin evaluación previa de su calidad</i>	Consumo de agua con posibles contaminantes microbiológicos o químicos.	SI	SI	SI	SI	NO SÉ	4	SI
	<i>Aporte de sedimentos o nutrientes al agua desde la lluvia o arrastre de suelos</i>	Ingreso de fertilizantes y material terrestre al agua durante lluvias fuertes (*)	NO	NO	NO	SI	NO SÉ	3	SI
		Obstrucción del sistema de captación y reducción de la capacidad de captación (*)	NO	SI	NO	SI	NO	3	SI
		Daños a la infraestructura	SI	SI	NO	SI	SI	3	NO SÉ

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
Ubicación de la captación en zonas expuestas a amenazas naturales	Interrupción del servicio por el desastre (*)	SI	SI	NO	SI	SI	4	SI	
	Ausencia de una fuente alternativa de abastecimiento en caso de contingencia.	SI	SI	SI	SI	SI	4	SI	
	Crecimiento de vegetación en la fuente o en estructuras de captación	SI	NO SÉ	SI	SI	NO SÉ	3	SI	
	Acumulación de hojas, basura u otros residuos sólidos en la fuente	NO	SI	NO	SI	NO	2	SI	
	Dificultad de acceso a la captación por condiciones climáticas o geográfica	SI	SI	SI	SI	SI	3	NO SÉ	
	Falta de protección eléctrica o respaldo para bombas de captación	NO	SI	NO	SI	NO	4	SI	
Red de conducción y	Daños, grietas o filtraciones en el sistema de conducción y/o distribución	NO	SI	NO	SI	SI	3	SI	
	Existencia de uniones, conexiones o empalmes en mal estado o con pérdidas en la red	NO	NO SÉ	NO	SI	SI	3	SI	

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	Ubicación de infraestructura sanitaria en zonas con alta probabilidad de incendios forestales.	Derretimiento o colapso de válvulas, tuberías u otros componentes críticos por contacto directo con el fuego (*)	SI	SI	SI	NO	NO	4	SI
	Materiales del sistema vulnerables a dilataciones y contracciones por exposición a temperaturas extremas	Fallas estructurales, fisuras o pérdidas por deformaciones inducidas por ciclos térmicos intensos o prolongados	SI	SI	NO SÉ	NO	NO	3	SI
	Presencia de conexiones no reguladas o mal ejecutadas en la red de distribución	Ingreso de contaminantes al sistema por efecto de presiones negativas o infiltraciones (*)	SI	SI	SI	NO	NO	4	NO
	Dificultades para realizar un monitoreo continuo de la calidad del agua en la red	Retardo en la detección de episodios de contaminación o fallas operativas	SI	SI	NO	SI	NO SÉ	4	SI
Sistema de tratamiento	Emplazamiento de la planta o sus equipos en zonas susceptibles a inundaciones	Ingreso de barro o agua al sistema, dejando inoperables los componentes del tratamiento (*)	NO	NO	NO	SI	NO	4	SI
	Dependencia del sistema de tratamiento de bombas eléctricas o alimentación sin respaldo	Interrupción del proceso de tratamiento ante fallas en el suministro eléctrico o en las bombas (*)	NO	SI	NO	SI	NO	4	SI
	Ausencia de protocolos que regulen el acceso y las condiciones de seguridad en la planta de tratamiento	Acceso no autorizado o accidentes que comprometen la integridad de las personas y del sistema	SI	SI	SI	SI	NO SÉ	3	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	Ausencia de delimitación física o cierre perimetral del recinto donde se ubica el sistema de tratamiento	Ingreso de personas o animales al área de tratamiento por falta de cierres o señalización	NO SÉ	NO SÉ	NO SÉ	NO SÉ	NO SÉ	3	SI
	El sistema no alcanza a tratar toda el agua cuando llega muy contaminada	El sistema se sobrecarga y el agua puede salir sin tratamiento completo	NO	SI	SI	SI	NO SÉ	4	SI
	Capacidad insuficiente del sistema de tratamiento para procesar el volumen de agua captada durante eventos	Sobrepaso del caudal de diseño y salida de agua sin tratamiento adecuado hacia la red	NO	NO	NO	SI	NO	4	NO
	El sistema tradicional no logra remover contaminantes bajo nuevas condiciones climáticas	Persistencia de materia orgánica o precursores que generan subproductos peligrosos (DBPs no removidos por coagulación/filtración)	NO SÉ	NO SÉ	NO SÉ	SI	NO SÉ	4	NO
	Ausencia de procedimientos estandarizados para el registro, revisión y análisis de fallas operativas en la planta de tratamiento	Fallas no detectadas que permiten la distribución de agua sin tratamiento adecuado o sin cumplir los parámetros sanitarios mínimos	SI	SI	SI	SI	SI	4	SI
Desinfección	Cambios en la calidad del agua cruda que reducen la eficacia del proceso de desinfección, como el aumento de turbiedad, hierro o materia orgánica	Presencia de sustancias o microorganismos no eliminados adecuadamente por la desinfección	NO	SI	NO	SI	NO	4	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	<i>Inyección insuficiente de cloro que impide alcanzar el residual requerido.</i>	Dosificación insuficiente de cloro que impide alcanzar nivel residual mínimo para inactivar patógenos (*)	NO	SI	NO	SI	NO	4	SI
	<i>Diseño inadecuado o falta de mantenimiento del sistema de desinfección</i>	Aplicación insuficiente de cloro durante la operación del sistema	SI	SI	SI	SI	SI	4	SI
	<i>Prácticas inadecuadas de almacenamiento y manipulación del hipoclorito de sodio</i>	Uso de cloro degradado que disminuye la eficacia del proceso de desinfección	NO SÉ	NO SÉ	NO SÉ	NO SÉ	NO SÉ	4	SI
Almacenamiento	<i>Acumulación de sedimentos en el fondo del estanque de almacenamiento</i>	Liberación de metales o compuestos indeseados al agua cuando baja el nivel de agua	SI	SI	SI	NO	NO SÉ	4	SI
	<i>Presencia de fisuras, grietas u otros daños visibles en la estructura del estanque</i>	Ingreso de contaminantes externos como coliformes fecales, partículas del suelo o compuestos químicos del entorno a través de filtraciones en la estructura	NO	SI	NO	SI	SI	4	SI
		Pérdida de agua por fugas no controladas a través de las grietas o fisuras (*)	NO	SI	NO	SI	SI	3	SI
		Deterioro progresivo de la estructura que puede comprometer la continuidad del servicio (*)	SI	SI	SI	SI	SI	3	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
Operación y control	Capacidad de almacenamiento insuficiente frente a cortes prolongados o aumento de demanda	Interrupción del abastecimiento al agotarse el volumen disponible (*)	SI	SI	SI	NO SÉ	NO SÉ	4	SI
	Estanques sin protección contra la luz solar ni control de temperatura	Proliferación microbiana en el agua almacenada por condiciones favorables	SI	SI	SI	NO	SI	4	SI
Operación y control	Falta de programación de rutinas de mantenimiento preventivo de la infraestructura del sistema	Aumento de fallas técnicas por desgaste acumulado o deterioro no atendido	SI	SI	SI	SI	SI	4	SI
	Carencia de insumos esenciales o repuestos críticos para la operación del sistema	Prolongación de fallas técnicas por falta de capacidad de reparación inmediata	SI	SI	SI	SI	SI	3	NO
	Ausencia de protocolos claros para responder ante fallas operativas, emergencias sanitarias o eventos climáticos extremos.	Demora en la activación de medidas sanitarias o técnicas ante eventos críticos	SI	SI	SI	SI	SI	3	SI
	Falta de protocolo escrito o capacitación para responder ante emergencias técnicas o sanitarias	Manejo inadecuado de fallas operativas o incidentes	SI	SI	SI	SI	SI	3	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	Ausencia de planificación para responder ante eventos inesperados o múltiples fallas simultáneas	Impacto sanitario o técnico detectado solo después de que ocurre el evento no previsto	SI	SI	SI	SI	SI	3	SI
Gestión y gobernanza	Dependencia del sistema de una única fuente de energía, sin respaldo de energía	Interrupción total del suministro ante cortes prolongados o contaminación de la fuente principal (*)	NO	SI	SI	SI	NO	4	SI
	Incorporación de nuevas viviendas o parcelaciones sin planificación ni evaluación de capacidad del sistema	Sobrecarga del sistema de distribución, con reducción de presión o calidad del servicio (*)	SI	SI	SI	SI	SI	3	NO
	Falta de fondos reservados para emergencias o reparaciones urgentes	Imposibilidad de ejecutar reparaciones o acciones sanitarias inmediatas ante fallas críticas	SI	SI	SI	SI	SI	4	NO
	Baja rotación o renovación de los cargos en el comité o directiva del sistema	Concentración de funciones y ausencia de actualización técnica en la gestión del sistema (*)	NO	NO	NO	NO	NO	1	NO

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	Ausencia de redes de coordinación con otros SSR, autoridades o actores comunitarios	Aislamiento organizacional que impide el acceso a apoyos técnicos, financiamiento o experiencias exitosas (*)	NO SÉ	NO SÉ	NO SÉ	NO SÉ	NO SÉ	1	NO
	Bajo conocimiento del equipo sobre impactos del cambio climático en el sistema de agua	Toma de decisiones sin considerar nuevas amenazas climáticas ni riesgos asociados (*)	SI	SI	SI	SI	SI	2	NO
	Desconexión del SSR con los procesos locales de planificación, adaptación o inversión territorial	Pérdida de oportunidades de colaboración, financiamiento o apoyo institucional	SI	SI	SI	SI	SI	2	NO
	Limitaciones legales o administrativas para postular a fondos públicos o recibir asesoría técnica	Falta de inversión o mejoras estructurales por no acceder a programas estatales o regionales (*)	NO	NO	NO	NO	NO	1	NO
Salud de trabajadores y usuarios	Ausencia o uso incorrecto de elementos de protección personal durante labores operativas.	Contacto directo con sustancias químicas peligrosas o aguas contaminadas	NO SÉ	NO SÉ	NO SÉ	NO SÉ	NO SÉ	4	SI
	Falta de vacunación del personal contra enfermedades relacionadas con el trabajo en agua	Vulnerabilidad del trabajador ante exposición prolongada a patógenos o riesgos biológicos	NO SÉ	NO SÉ	NO SÉ	NO SÉ	NO SÉ	4	SI
	Ausencia de servicios básicos (agua potable, baños, áreas de	Condiciones de trabajo insalubres que afectan la salud y seguridad del personal (*)	SI	SI	SI	SI	SI	4	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	descanso) en las instalaciones del SSR								
	Trabajo prolongado en condiciones climáticas extremas sin medidas de protección adecuadas	Riesgos físicos o accidentes por exposición a calor extremo, frío o radiación solar (*)	SI	SI	SI	SI	SI	4	SI
	Mayor exposición de personas usuarias con condiciones de salud vulnerables (niños, adultos mayores, etc)	Mayor susceptibilidad a enfermedades o efectos adversos por contaminantes presentes en el agua	SI	SI	SI	SI	SI	4	SI

Anexo P: Resultados de matriz de Evaluación Participativa de Dirección de Planeamiento (DIRPLAN), SEREMI MOP de la Región del Biobío

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClím (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
Cuenca	Presencia de actividades recreativas dentro de la cuenca aportante (*)	Ingreso de contaminantes como residuos, aceites o detergentes al cuerpo de agua (*)	SI	NO	NO	NO	NO	3	SI
	Presencia de caminos o rutas de tránsito vehicular	Arrastre de contaminantes desde caminos/rutas vehiculares hacia el cauce durante lluvias	NO	SI	NO	SI	NO	2	NO
	Actividades agrícolas o industriales en la zona de cuenca aportante	Aumento de la carga contaminante en el cauce por uso de agroquímicos o vertidos	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	Descarga de vertimientos o residuos sólidos/líquidos	Ingreso puntual de residuos al cauce durante eventos de lluvia o por malas prácticas locales	NO	SI	NO	SI	NO	3	NO
Captación -	Existencia de fuentes cercanas que puedan contaminar el agua	Arrastre de contaminantes microbiológicos o químicos hacia la fuente durante eventos de lluvia intensa.	NO	NO	NO	SI	NO	2	NO

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClím (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
<i>Variación significativa del caudal de la fuente según la estación.</i>	Disminución de la capacidad de captación durante periodos de bajo caudal (*)	SI	SI	SI	NO	NO	3	SI	
	Aumento de la concentración de nutrientes por menor dilución natural del agua	SI	SI	SI	NO	NO	3	SI	
	Sobrecarga de la infraestructura de captación ante caudales excesivos o repentinos (*)	NO	NO	NO	SI	NO	2	NO	
<i>Fisuras, suciedad u obstrucciones en la estructura de captación</i>	Ingreso de contaminación por filtraciones o suciedad en la infraestructura (*)	NO	SI	NO	SI	NO	2	NO	
<i>Estructura de captación con daños visibles o deterioro por falta de mantenimiento</i>	Fallas estructurales que interrumpen el abastecimiento de agua (*)	SI	SI	SI	SI	NO	1	SI	
<i>Falta de cierre perimetral, señalética o cercado de protección en</i>	Ingreso de animales, residuos sólidos o actividades humanas no autorizadas a la fuente (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI	

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClím (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	<i>torno a la captación</i>								
	<i>Cambios organolépticos o visuales en el agua captada</i>	Presencia de contaminantes químicos o biológicos que alteran las características del agua (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	<i>Estancamiento del agua en la fuente por baja renovación natural</i>	Desarrollo de condiciones anaeróbicas o proliferación de microorganismos	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	<i>Uso de fuentes alternativas sin evaluación previa de su calidad</i>	Consumo de agua con posibles contaminantes microbiológicos o químicos.	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	<i>Aporte de sedimentos o nutrientes al agua desde la lluvia o arrastre de suelos</i>	Ingreso de fertilizantes y material terrestre al agua durante lluvias fuertes (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
		Obstrucción del sistema de captación y reducción de la capacidad de captación (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	<i>Ubicación de la captación en</i>	Daños a la infraestructura	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClím (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	zonas expuestas a amenazas naturales	Interrupción del servicio por el desastre (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	Ausencia de una fuente alternativa de abastecimiento en caso de contingencia.	Corte total del suministro ante fallas o contaminación de la fuente principal (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	Crecimiento de vegetación en la fuente o en estructuras de captación	Obstrucción del flujo y alteración de parámetros físico-químicos del agua	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	Acumulación de hojas, basura u otros residuos sólidos en la fuente	Disminución de la calidad del agua captada y riesgo de obstrucción (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	Dificultad de acceso a la captación por condiciones climáticas o geográfica	Imposibilidad de realizar mantenimiento, monitoreo o reparaciones oportunas (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	Falta de protección eléctrica o respaldo para bombas de captación	Paralización del sistema por interrupciones en el suministro eléctrico	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClím (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
Red de conducción y distribución	<i>Daños, grietas o filtraciones en el sistema de conducción y/o distribución</i>	Fisuras, grietas o filtraciones que produce ingreso de contaminantes (*)	SI	SI	SI	SI	NO	2	SI
	<i>Existencia de uniones, conexiones o empalmes en mal estado o con pérdidas en la red</i>	Ingreso de contaminantes al sistema por efecto de presiones negativas o infiltraciones (*)	SI	SI	SI	SI	NO	2	SI
	<i>Ubicación de infraestructura sanitaria en zonas con alta probabilidad de incendios forestales.</i>	Derretimiento o colapso de válvulas, tuberías u otros componentes críticos por contacto directo con el fuego (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	<i>Materiales del sistema vulnerables a dilataciones y contracciones por exposición a temperaturas extremas</i>	Fallas estructurales, fisuras o pérdidas por deformaciones inducidas por ciclos térmicos intensos o prolongados	SI	SI	SI	NO	NO	3	SI
	<i>Presencia de conexiones no reguladas o mal ejecutadas en la red de distribución</i>	Ingreso de contaminantes al sistema por efecto de presiones negativas o infiltraciones (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	<i>Dificultades para realizar un monitoreo continuo de la calidad del agua en la red</i>	Retardo en la detección de episodios de contaminación o fallas operativas	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	<i>Emplazamiento de la planta o sus equipos en zonas susceptibles a inundaciones</i>	Ingreso de barro o agua al sistema, dejando inoperables los componentes del tratamiento (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
Sistema de tratamiento	<i>Dependencia del sistema de tratamiento de bombas eléctricas o alimentación sin respaldo</i>	Interrupción del proceso de tratamiento ante fallas en el suministro eléctrico o en las bombas (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	<i>Ausencia de protocolos que regulen el acceso y las condiciones de seguridad en la planta de tratamiento</i>	Acceso no autorizado o accidentes que comprometen la integridad de las personas y del sistema	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	<i>Ausencia de delimitación física o cierre perimetral del recinto donde se</i>	Ingreso de personas o animales al área de tratamiento por falta de cierres o señalización	SI	SI	SI	SI	NO	2	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClím (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	<i>ubica el sistema de tratamiento</i>								
	<i>El sistema no alcanza a tratar toda el agua cuando llega muy contaminada</i>	El sistema se sobrecarga y el agua puede salir sin tratamiento completo	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	<i>Capacidad insuficiente del sistema de tratamiento para procesar el volumen de agua captada durante eventos</i>	Sobrepaso del caudal de diseño y salida de agua sin tratamiento adecuado hacia la red	NO	NO	NO	SI	NO	3	NO
	<i>El sistema tradicional no logra remover contaminantes bajo nuevas condiciones climáticas</i>	Persistencia de materia orgánica o precursores que generan subproductos peligrosos (DBPs no removidos por coagulación/filtración)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	<i>Ausencia de procedimientos estandarizados para el registro, revisión y análisis de fallas operativas en la</i>	Fallas no detectadas que permiten la distribución de agua sin tratamiento adecuado o sin cumplir los	SI	SI	SI	SI	NO	4	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClím (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	planta de tratamiento	parámetros sanitarios mínimos							
Desinfección	Cambios en la calidad del agua cruda que reducen la eficacia del proceso de desinfección, como el aumento de turbiedad, hierro o materia orgánica	Presencia de sustancias o microorganismos no eliminados adecuadamente por la desinfección	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	Inyección insuficiente de cloro que impide alcanzar el residual requerido.	Dosificación insuficiente de cloro que impide alcanzar nivel residual mínimo para inactivar patógenos (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	Diseño inadecuado o falta de mantenimiento del sistema de desinfección	Aplicación insuficiente de cloro durante la operación del sistema	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	Prácticas inadecuadas de almacenamiento y manipulación	Uso de cloro degradado que disminuye la eficacia	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARCLim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	del hipoclorito de sodio	del proceso de desinfección							
Almacenamiento	Acumulación de sedimentos en el fondo del estanque de almacenamiento	Liberación de metales o compuestos indeseados al agua cuando baja el nivel de agua	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	Presencia de fisuras, grietas u otros daños visibles en la estructura del estanque	Ingreso de contaminantes externos como coliformes fecales, partículas del suelo o compuestos químicos del entorno a través de filtraciones en la estructura	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
		Pérdida de agua por fugas no controladas a través de las grietas o fisuras (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
		Deterioro progresivo de la estructura que puede comprometer la continuidad del servicio (*)	SI	SI	SI	SI	NO	2	SI
	Capacidad de almacenamiento insuficiente frente a cortes prolongados o	Interrupción del abastecimiento al agotarse el volumen disponible (*)	SI	SI	SI	SI	NO	1	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClím (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	<i>aumento de demanda</i>								
	<i>Estanques sin protección contra la luz solar ni control de temperatura</i>	Proliferación microbiana en el agua almacenada por condiciones favorables	SI	SI	SI	NO	NO	3	SI
Operación y control	<i>Falta de programación de rutinas de mantenimiento preventivo de la infraestructura del sistema</i>	Aumento de fallas técnicas por desgaste acumulado o deterioro no atendido	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	<i>Carencia de insumos esenciales o repuestos críticos para la operación del sistema</i>	Prolongación de fallas técnicas por falta de capacidad de reparación inmediata	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	<i>Ausencia de protocolos claros para responder ante fallas operativas, emergencias sanitarias o eventos climáticos extremos.</i>	Demora en la activación de medidas sanitarias o técnicas ante eventos críticos	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARCLim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	<i>Falta de protocolo escrito o capacitación para responder ante emergencias técnicas o sanitarias</i>	Manejo inadecuado de fallas operativas o incidentes	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	<i>Ausencia de planificación para responder ante eventos inesperados o múltiples fallas simultáneas</i>	Impacto sanitario o técnico detectado solo después de que ocurre el evento no previsto	SI	SI	SI	SI	NO	2	SI
	<i>Dependencia del sistema de una única fuente de energía, sin respaldo de energía</i>	Interrupción total del suministro ante cortes prolongados o contaminación de la fuente principal (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	<i>Incorporación de nuevas viviendas o parcelaciones sin planificación ni evaluación de capacidad del sistema</i>	Sobrecarga del sistema de distribución, con reducción de presión o calidad del servicio (*)	SI	SI	SI	SI	NO	2	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClím (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	<i>Falta de fondos reservados para emergencias o reparaciones urgentes</i>	Imposibilidad de ejecutar reparaciones o acciones sanitarias inmediatas ante fallas críticos	SI	SI	SI	SI	NO	2	SI
	<i>Baja rotación o renovación de los cargos en el comité o directiva del sistema</i>	Concentración de funciones y ausencia de actualización técnica en la gestión del sistema (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	<i>Ausencia de redes de coordinación con otros SSR, autoridades o actores comunitarios</i>	Aislamiento organizacional que impide el acceso a apoyos técnicos, financiamiento o experiencias exitosas comunitarios (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	<i>Bajo conocimiento del equipo sobre impactos del cambio climático en el sistema de agua</i>	Toma de decisiones sin considerar nuevas amenazas climáticas ni riesgos asociados (*)	SI	SI	SI	SI	NO	2	SI
	<i>Desconexión del SSR con los procesos locales de planificación, adaptación o inversión territorial</i>	Pérdida de oportunidades de colaboración, financiamiento o apoyo institucional	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARCLIM (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
Salud de trabajadores y usuarios	Limitaciones legales o administrativas para postular a fondos públicos o recibir asesoría técnica	Falta de inversión o mejoras estructurales por no acceder a programas estatales o regionales (*)	SI	SI	SI	SI	NO	3	SI
	Ausencia o uso incorrecto de elementos de protección personal durante labores operativas.	Contacto directo con sustancias químicas peligrosas o aguas contaminadas	SI	SI	SI	SI	SI	2	SI
	Falta de vacunación del personal contra enfermedades relacionadas con el trabajo en agua	Vulnerabilidad del trabajador ante exposición prolongada a patógenos o riesgos biológicos	SI	SI	SI	SI	SI	2	SI
	Ausencia de servicios básicos (agua potable, baños, áreas de descanso) en las instalaciones del SSR	Condiciones de trabajo insalubres que afectan la salud y seguridad del personal (*)	SI	SI	SI	SI	SI	2	SI
	Trabajo prolongado en condiciones climáticas extremas sin	Riesgos físicos o accidentes por exposición a calor extremo, frío o radiación solar (*)	SI	SI	SI	SI	SI	2	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	<i>medidas de protección adecuadas</i>								
	<i>Mayor exposición de personas usuarias con condiciones de salud vulnerables (niños, personas mayores, personas</i>	Mayor susceptibilidad a enfermedades o efectos adversos por contaminantes presentes en el agua	SI	SI	SI	SI	SI	2	SI

Anexo Q: Resultados de matriz de Evaluación Participativa de Dirección de Obras Hidráulicas, SEREMI MOP de la Región del Biobío

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARCLim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
Cuenca	Presencia de actividades recreativas dentro de la cuenca aportante (*)	Ingreso de contaminantes como residuos, aceites o detergentes al cuerpo de agua (*)	SI	NO	NO	NO	NO	2	SI
	Presencia de caminos o rutas de tránsito vehicular	Arrastre de contaminantes desde caminos/rutas vehiculares hacia el cauce durante lluvias	NO	NO	NO	NO	NO	3	NO
	Actividades agrícolas o industriales en la zona de cuenca aportante	Aumento de la carga contaminante en el cauce por uso de agroquímicos o vertidos	NO	NO	SI	NO	NO	2	SI
	Descarga de vertimientos o residuos sólidos/líquidos	Ingreso puntual de residuos al cauce durante eventos de lluvia o por malas prácticas locales	NO	NO	NO	SI	NO	2	NO
Captación - Fuente de	Existencia de fuentes cercanas que puedan contaminar el agua	Arrastre de contaminantes microbiológicos o químicos hacia la fuente durante eventos de lluvia intensa.	NO	NO	NO	SI	NO	2	NO
	Variación significativa del caudal de la fuente según la estación.	Disminución de la capacidad de captación durante periodos de bajo caudal (*)	SI	NO	SI	NO	NO	2	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
		Aumento de la concentración de nutrientes por menor dilución natural del agua	NO	NO	SI	NO	NO	3	SI
		Sobrecarga de la infraestructura de captación ante caudales excesivos o repentinos (*)	NO	NO	SI	NO	NO	4	NO
	<i>Fisuras, suciedad u obstrucciones en la estructura de captación</i>	Ingreso de contaminación por filtraciones o suciedad en la infraestructura (*)	NO	NO	NO	SI	NO	1	NO
	<i>Estructura de captación con daños visibles o deterioro por falta de mantenimiento</i>	Fallas estructurales que interrumpen el abastecimiento de agua (*)	NO	NO	NO	NO	NO	1	SI
	<i>Falta de cierre perimetral, señalética o cercado de protección en torno a la captación</i>	Ingreso de animales, residuos sólidos o actividades humanas no autorizadas a la fuente (*)	NO	NO	NO	NO	NO	2	SI
	<i>Cambios organolépticos o visuales en el agua captada</i>	Presencia de contaminantes químicos o biológicos que alteran las características del agua (*)	NO	NO	NO	NO	NO	1	SI
	<i>Estancamiento del agua en la fuente por baja renovación natural</i>	Desarrollo de condiciones anaeróbicas o proliferación de microorganismos	SI	NO	SI	NO	NO	2	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARCLim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	Uso de fuentes alternativas sin evaluación previa de su calidad	Consumo de agua con posibles contaminantes microbiológicos o químicos.	NO	NO	NO	NO	NO	2	SI
	Aporte de sedimentos o nutrientes al agua desde la lluvia o arrastre de suelos	Ingreso de fertilizantes y material terrestre al agua durante lluvias fuertes (*)	NO	SI	NO	NO	NO	2	SI
		Obstrucción del sistema de captación y reducción de la capacidad de captación (*)	NO	SI	NO	NO	NO	1	SI
	Ubicación de la captación en zonas expuestas a amenazas naturales	Daños a la infraestructura	NO	SI	NO	SI	NO	1	SI
		Interrupción del servicio por el desastre (*)	NO	SI	NO	SI	NO	1	SI
	Ausencia de una fuente alternativa de abastecimiento en caso de contingencia.	Corte total del suministro ante fallas o contaminación de la fuente principal (*)	NO	NO	SI	SI	NO	2	SI
	Crecimiento de vegetación en la fuente o en estructuras de captación	Obstrucción del flujo y alteración de parámetros físico-químicos del agua	NO	NO	NO	NO	NO	1	SI
	Acumulación de hojas, basura u otros residuos sólidos en la fuente	Disminución de la calidad del agua captada y riesgo de obstrucción (*)	NO	NO	NO	NO	NO	1	SI
	Dificultad de acceso a la captación por	Imposibilidad de realizar mantenimiento, monitoreo o	NO	NO	NO	SI	NO	2	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARCLim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	condiciones climáticas o geográfica	reparaciones oportunas (*)							
	Falta de protección eléctrica o respaldo para bombas de captación	Paralización del sistema por interrupciones en el suministro eléctrico	NO	NO	NO	SI	NO	2	SI
Red de conducción y distribución	Daños, grietas o filtraciones en el sistema de conducción y/o distribución	Fisuras, grietas o filtraciones que produce ingreso de contaminantes (*)	NO	NO	NO	NO	NO	1	SI
	Existencia de uniones, conexiones o empalmes en mal estado o con pérdidas en la red	Ingreso de contaminantes al sistema por efecto de presiones negativas o infiltraciones (*)	NO	NO	NO	NO	NO	1	SI
	Ubicación de infraestructura sanitaria en zonas con alta probabilidad de incendios forestales.	Derretimiento o colapso de válvulas, tuberías u otros componentes críticos por contacto directo con el fuego (*)	NO	SI	NO	NO	NO	1	SI
	Materiales del sistema vulnerables a dilataciones y contracciones por exposición a temperaturas extremas	Fallas estructurales, fisuras o pérdidas por deformaciones inducidas por ciclos térmicos intensos o prolongados	SI	SI	NO	NO	NO	2	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClím (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	Presencia de conexiones no reguladas o mal ejecutadas en la red de distribución	Ingreso de contaminantes al sistema por efecto de presiones negativas o infiltraciones (*)	NO	NO	NO	NO	NO	2	SI
	Dificultades para realizar un monitoreo continuo de la calidad del agua en la red	Retardo en la detección de episodios de contaminación o fallas operativas	NO	NO	NO	NO	NO	1	SI
Sistema de tratamiento	Emplazamiento de la planta o sus equipos en zonas susceptibles a inundaciones	Ingreso de barro o agua al sistema, dejando inoperables los componentes del tratamiento (*)	NO	NO	NO	NO	NO	3	SI
	Dependencia del sistema de tratamiento de bombas eléctricas o alimentación sin respaldo	Interrupción del proceso de tratamiento ante fallas en el suministro eléctrico o en las bombas (*)	NO	NO	NO	SI	NO	3	SI
	Ausencia de protocolos que regulen el acceso y las condiciones de seguridad en la planta de tratamiento	Acceso no autorizado o accidentes que comprometen la integridad de las personas y del sistema	NO	NO	NO	NO	NO	3	SI
	Ausencia de delimitación física o cierre perimetral del recinto donde se	Ingreso de personas o animales al área de tratamiento por falta de cierres o señalización	NO	NO	NO	NO	NO	3	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	ubica el sistema de tratamiento								
	El sistema no alcanza a tratar toda el agua cuando llega muy contaminada	El sistema se sobrecarga y el agua puede salir sin tratamiento completo	NO	NO	NO	NO	NO	3	SI
	Capacidad insuficiente del sistema de tratamiento para procesar el volumen de agua captada durante eventos	Sobrepaso del caudal de diseño y salida de agua sin tratamiento adecuado hacia la red	NO	NO	NO	NO	NO	3	NO
	El sistema tradicional no logra remover contaminantes bajo nuevas condiciones climáticas	Persistencia de materia orgánica o precursores que generan subproductos peligrosos (DBPs no removidos por coagulación/filtración)	NO	NO	NO	NO	NO	3	SI
	Ausencia de procedimientos estandarizados para el registro, revisión y análisis de fallas operativas en la planta de tratamiento	Fallas no detectadas que permiten la distribución de agua sin tratamiento adecuado o sin cumplir los parámetros sanitarios mínimos	NO	NO	NO	NO	NO	3	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARCLim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
Desinfección	Cambios en la calidad del agua cruda que reducen la eficacia del proceso de desinfección, como el aumento de turbiedad, hierro o materia orgánica	Presencia de sustancias o microorganismos no eliminados adecuadamente por la desinfección	NO	NO	NO	NO	NO	3	SI
	Inyección insuficiente de cloro que impide alcanzar el residual requerido.	Dosificación insuficiente de cloro que impide alcanzar nivel residual mínimo para inactivar patógenos (*)	NO	NO	NO	NO	NO	2	SI
	Diseño inadecuado o falta de mantenimiento del sistema de desinfección	Aplicación insuficiente de cloro durante la operación del sistema	NO	NO	NO	NO	NO	3	SI
	Prácticas inadecuadas de almacenamiento y manipulación del hipoclorito de sodio	Uso de cloro degradado que disminuye la eficacia del proceso de desinfección	NO	NO	NO	NO	NO	2	SI
Almacenamiento	Acumulación de sedimentos en el fondo del estanque de almacenamiento	Liberación de metales o compuestos indeseados al agua cuando baja el nivel de agua	NO	NO	NO	NO	NO	2	SI
	Presencia de fisuras, grietas u otros daños visibles en la estructura del estanque	Ingreso de contaminantes externos como coliformes fecales, partículas del suelo o compuestos químicos del entorno a	NO	NO	NO	NO	NO	3	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
		través de filtraciones en la estructura							
		Pérdida de agua por fugas no controladas a través de las grietas o fisuras (*)	NO	NO	NO	NO	NO	3	SI
		Deterioro progresivo de la estructura que puede comprometer la continuidad del servicio (*)	NO	NO	NO	NO	NO	3	SI
	Capacidad de almacenamiento insuficiente frente a cortes prolongados o aumento de demanda	Interrupción del abastecimiento al agotarse el volumen disponible (*)	NO	NO	NO	NO	NO	3	SI
	Estanques sin protección contra la luz solar ni control de temperatura	Proliferación microbiana en el agua almacenada por condiciones favorables	NO	NO	NO	NO	NO	3	SI
Operación y mantenimiento	Falta de programación de rutinas de mantenimiento preventivo de la infraestructura del sistema	Aumento de fallas técnicas por desgaste acumulado o deterioro no atendido	NO	NO	NO	NO	NO	3	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	<i>Carencia de insumos esenciales o repuestos críticos para la operación del sistema</i>	Prolongación de fallas técnicas por falta de capacidad de reparación inmediata	NO	NO	NO	NO	NO	3	SI
	<i>Ausencia de protocolos claros para responder ante fallas operativas, emergencias sanitarias o eventos climáticos extremos.</i>	Demora en la activación de medidas sanitarias o técnicas ante eventos críticos	NO	NO	NO	NO	NO	1	SI
	<i>Falta de protocolo escrito o capacitación para responder ante emergencias técnicas o sanitarias</i>	Manejo inadecuado de fallas operativas o incidentes	NO	NO	NO	NO	NO	2	SI
	<i>Ausencia de planificación para responder ante eventos inesperados o múltiples fallas simultáneas</i>	Impacto sanitario o técnico detectado solo después de que ocurre el evento no previsto	NO	NO	NO	NO	NO	2	SI
	<i>Dependencia del sistema de una única fuente de energía, sin respaldo de energía</i>	Interrupción total del suministro ante cortes prolongados o contaminación de la fuente principal (*)	NO	NO	SI	SI	NO	1	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARCLim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	<i>Incorporación de nuevas viviendas o parcelaciones sin planificación ni evaluación de capacidad del sistema</i>	Sobrecarga del sistema de distribución, con reducción de presión o calidad del servicio (*)	NO	NO	NO	NO	NO	1	SI
	<i>Falta de fondos reservados para emergencias o reparaciones urgentes</i>	Imposibilidad de ejecutar reparaciones o acciones sanitarias inmediatas ante fallas críticos	NO	NO	NO	NO	NO	3	SI
	<i>Baja rotación o renovación de los cargos en el comité o directiva del sistema</i>	Concentración de funciones y ausencia de actualización técnica en la gestión del sistema (*)	NO	NO	NO	NO	NO	2	SI
	<i>Ausencia de redes de coordinación con otros SSR, autoridades o actores comunitarios</i>	Aislamiento organizacional que impide el acceso a apoyos técnicos, financiamiento o experiencias exitosas (*)	NO	NO	NO	NO	NO	2	SI
	<i>Bajo conocimiento del equipo sobre impactos del cambio climático en el sistema de agua</i>	Toma de decisiones sin considerar nuevas amenazas climáticas ni riesgos asociados (*)	NO	NO	NO	NO	NO	2	SI
	<i>Desconexión del SSR con los procesos locales de planificación, adaptación o inversión territorial</i>	Pérdida de oportunidades de colaboración, financiamiento o apoyo institucional	NO	NO	NO	NO	NO	2	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClim (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	Limitaciones legales administrativas para postular a fondos públicos o recibir asesoría técnica	Falta de inversión o mejoras estructurales por no acceder a programas estatales o regionales (*)	NO	NO	NO	NO	NO	2	SI
Salud de trabajadores y usuarios	Ausencia o uso incorrecto de elementos de protección personal durante labores operativas.	Contacto directo con sustancias químicas peligrosas o aguas contaminadas	SI	NO	NO	NO	NO	3	SI
	Falta de vacunación del personal contra enfermedades relacionadas con el trabajo en agua	Vulnerabilidad del trabajador ante exposición prolongada a patógenos o riesgos biológicos	NO	NO	NO	NO	NO	2	SI
	Ausencia de servicios básicos (agua potable, baños, áreas de descanso) en las instalaciones del SSR	Condiciones de trabajo insalubres que afectan la salud y seguridad del personal (*)	NO	NO	NO	NO	NO	2	SI
	Trabajo prolongado en condiciones climáticas extremas sin medidas de protección adecuadas	Riesgos físicos o accidentes por exposición a calor extremo, frío o radiación solar (*)	SI	NO	NO	SI	SI	2	SI

Componente	Factor de riesgo en salud	Evento peligroso (* Eventos que han ocurrido, en base a experiencia del SSR)	Amenazas climáticas en función de proyección climáticas de ARClím (Sí / No / No sé)					Nivel de preocupación (1-4)	Atribución y función institucional (Sí / No / No sé)
			Olas de calor	Incendios Forestales	Sequía	Precipitaciones intensas	Olas de frío		
			Proyección	Proyección	Proyección	Proyección	Proyección		
			+	+	+	+/-	+/-		
	Mayor exposición de personas usuarias con condiciones de salud vulnerables (niños, personas mayores, personas	Mayor susceptibilidad a enfermedades o efectos adversos por contaminantes presentes en el agua	NO	SI	SI	NO	NO	2	SI

Anexo R: Extracto de material de apoyo llevado a la mesa de trabajo con SSR 20 de agosto de 2025



PROYECTO FONIS SA231027

Diseño de un plan de adaptación al cambio climático de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de la región del Biobío, en un contexto de salud pública.

Resultados preliminares

Análisis de factores de riesgo en salud asociados a variables climáticas en el SSR Huallerehue

20 de agosto de 2025



PROYECTO FONIS SA231027
Diseño de un plan de adaptación al cambio climático de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de la región del Biobío, en un contexto de salud pública.

Propósito de la actividad

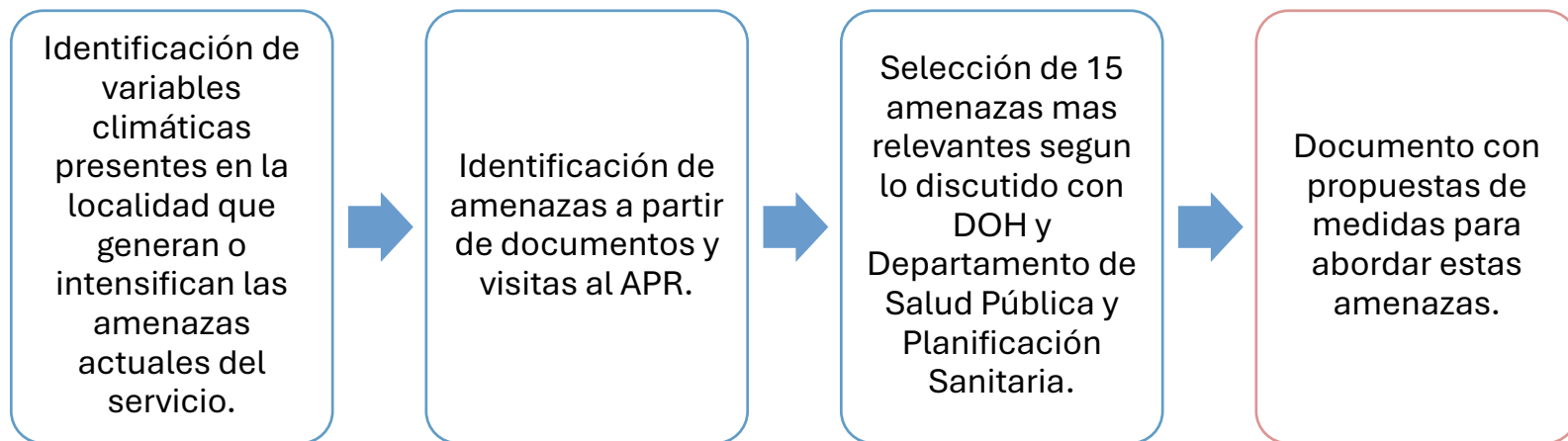
1. Revisar brevemente los resultados obtenidos a la fecha.
2. Identificar, junto al APR, el **nivel de preocupación e importancia** de las **amenazas relevantes** ya identificadas.



PROYECTO FONIS SA231027

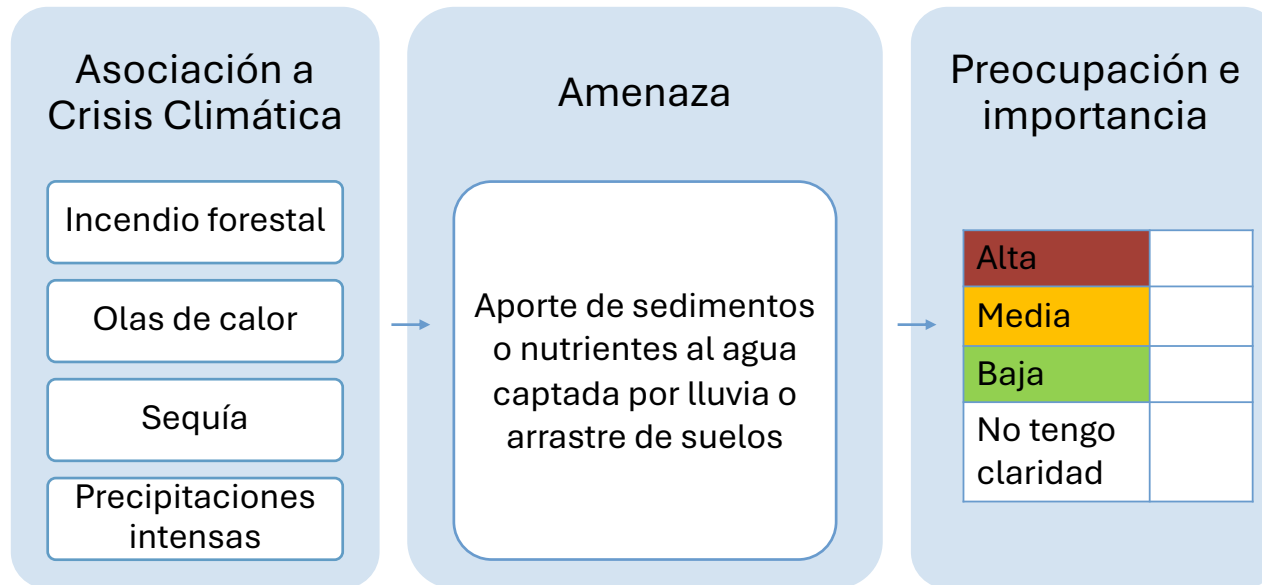
Diseño de un plan de adaptación al cambio climático de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de la región del Biobío, en un contexto de salud pública.

Resultados preliminares

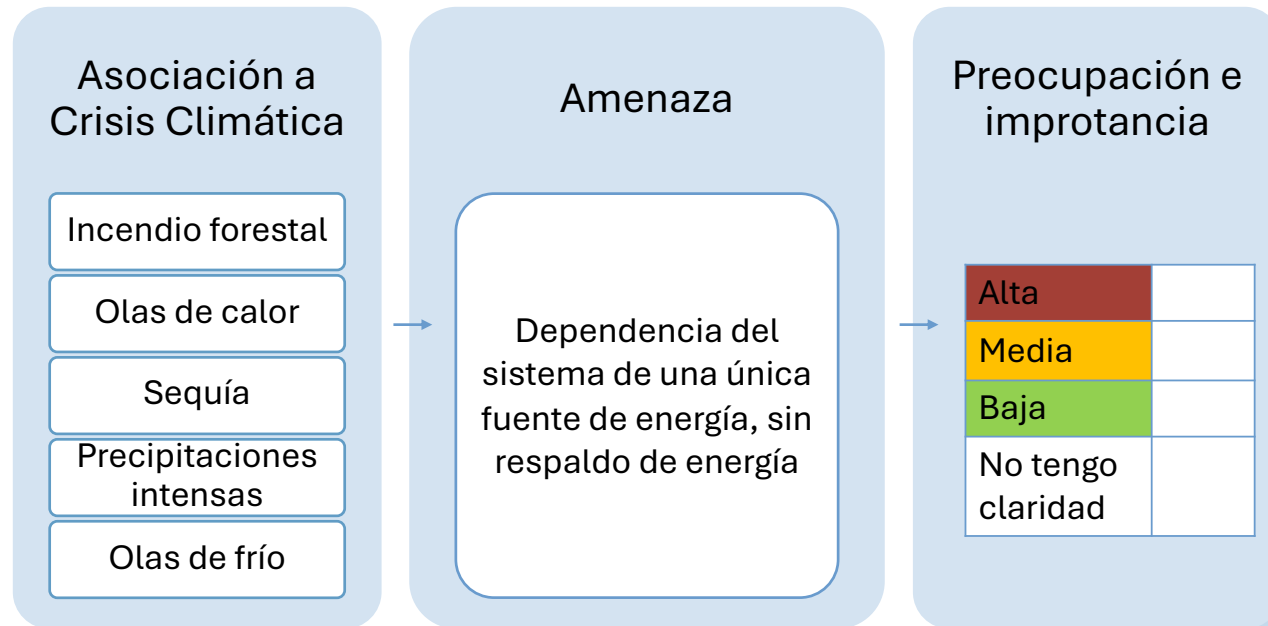


(*)En rojo, resultados fuera de los limites de mi investigación

Componente: Captación



Componente: Operación y control



Anexo S: Consentimiento informado para la aplicación de encuesta a funcionarios y directiva de SSR Huallerehue



CONSENTIMIENTO INFORMADO

**Proyecto Fondo Nacional de Investigación y Desarrollo en Salud
FONIS Código SA23I0127.**

Título: “Diseño de un plan de adaptación al cambio climático de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de la región del Biobío, en un contexto de salud pública”

Entidad Responsable: Universidad de Concepción.

Entidad Asociada: SEREMI de Salud y SEREMI MOP de la Región del Biobío.

Investigadora responsable: Dra. Ana Carolina Baeza Freer.

Vinculación con la Universidad de Concepción de Investigadora Responsable: Profesora Asociada del Departamento de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Ambientales y Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, Universidad de Concepción.

El objetivo general de la presente investigación es “Diseñar un plan de apoyo a la gestión para fortalecer las capacidades de adaptación en los SSR de la Región del Biobío en el contexto de la crisis climática”.

Este proyecto propone identificar medidas de adaptación a la crisis climática en la gestión y operación de los SSR de la región del Biobío considerando las particularidades geográficas, locales y culturales de los territorios. Lo que permitirá contar con herramientas preventivas para la implementación de acciones orientadas a proteger la salud de la población atendida por estos servicios. El resultado de este proyecto permitirá la creación de guías y actividades de transferencia, aportando en generar competencias y habilidades de quienes operen los sistemas y favorecer el entendimiento de la comunidad en la temática de agua y saneamiento en un contexto de crisis climático.

La presente es una invitación formal para que participe del estudio, lo que implicará una entrevista individual.

La información registrada será confidencial y sólo conocida por el equipo de investigación. Los resultados de este estudio serán utilizados en informes, presentaciones o publicaciones, pero su nombre no se revelará en ninguna parte. La entrevista podrá ser grabada. Usted puede indicar NO continuar con la grabación en cualquier momento durante la entrevista. Asimismo, se puede negar a participar o retirarse en cualquier momento, sin expresión de causa. En otras palabras, su participación en este estudio es libre y voluntaria.

Su participación en este proyecto como entrevistado no conlleva riesgos que se puedan identificar, ni molestias previsibles. Sin embargo, si no quiere contestar alguna de las preguntas podrá hacerlo y continuar con las siguientes no afectando su participación en este estudio.

Si tiene alguna pregunta relacionada con el estudio, por favor ponerse en contacto con la Dra. Ana Carolina Baeza Freer, Investigadora Responsable de este FONIS, al fono 56-9-8804-3383 o a su email: anabaeza@udec.cl. También, podrá contactarse con Dra. Andrea Rodríguez Tastets, Presidenta del Comité de Ética, Bioética y Bioseguridad de la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo, Universidad de Concepción, al correo electrónico secrevid@udec.cl.



ACTA DE CONSENTIMIENTO

Acepto participar de manera libre y voluntaria en el estudio “Diseño de un plan de adaptación al cambio climático de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de la región del Bío-Bío, en un contexto de salud pública”, considerando que:

- a) conozco y he entendido los objetivos del estudio;
- b) mi participación en este estudio no conlleva riesgos identificables
- c) no hay costos ni incentivos económicos para mí por participar en esta investigación;
- d) me podré retirar de este estudio en cualquier momento sin ser obligado(a) a dar razones y sin que ello me perjudique de ninguna forma;
- e) la información que entrego será confidencial y estará resguardada por la investigadora responsable;
- f) puedo hacer las preguntas necesarias para estar informado acerca de mi participación en este estudio;
- g) los resultados de este estudio pueden ser publicados, pero mi identidad no será revelada y mis datos personales permanecerán en forma confidencial.



Este documento se firmará en dos ejemplares, siendo una copia para el entrevistado y otra para el Investigador Responsable.

Fecha:

Nombre Participante

Firma Participante

Nombre Investigadora Responsable

Firma Investigadora Responsable

Nombre Director Centro Estudio
o su delegado/ Ministro de Fe

Firma Director Centro de Estudio
o su delegado/ Ministro de Fe

Página 2. Versión 1.2023- Entrevista