



Universidad de Concepción



FACULTAD DE CIENCIAS
AMBIENTALES

Evaluación de riesgos para el Servicio Sanitario Rural de la comunidad de Pehuén en el contexto de los planes de seguridad del agua (PSA) y la planificación de la seguridad del saneamiento (PSS)

Habilitación presentada para optar al título de

Ingeniero Ambiental

NICOLÁS ALFONSO AGUILERA GONZÁLEZ

Profesor Guía: Dra. Ana Baeza Freer

Profesora Co-guía: Dra. Patricia González Sánchez

CONCEPCION (Chile), 2023

“EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA EL SERVICIO SANITARIO RURAL DE LA LOCALIDAD DE PEHUÉN EN EL CONTEXTO DEL PSA Y PSS”

Profesor Guía: Dra. Carolina Baeza Freer



Profesor Co-Guía: Dra. Patricia González Sánchez



Profesor Comisión: Dr. Octavio Rojas Castillo



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, diciembre 2023

INDICE GENERAL	
INDICE DE TABLAS	II
INDICE DE FIGURAS.....	IV
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Agua potable y saneamiento.....	1
1.2 Planes de Seguridad del Agua (PSA).....	3
1.3 Planificación de la Seguridad del Saneamiento (PSS)	7
1.4 Agua y saneamiento en Chile.....	12
1.4.1 Recursos hídricos en Chile.....	12
1.4.2 Servicio de agua potable y saneamiento en el sector urbano.....	14
1.4.3 Agua potable y saneamiento en sector rural	15
2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	21
3. OBJETIVOS	22
3.1 Objetivo general	22
3.2 Objetivos específicos	22
4. METODOLOGIA	22
4.1 Área de estudio	22
4.2 Enfoque Metodológico.....	26
4.3 Obtención y recopilación de información	27
4.3.1 recopilación de información histórica.....	27
4.3.2 Revisión de instrumentos de consulta	27
4.3.3 Muestreo In-Situ.....	29
4.3.4 Taller con actores claves.....	30
4.4 Matriz de peligros y eventos peligrosos.....	31
4.5.1 Valoración de impacto y probabilidad de ocurrencia	32
4.5.2 Valoración del riesgo.....	34
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
5.1.1 Descripción de los Sistema de abastecimiento de Agua Potable	36
5.1.1.2 Calidad de agua potable	40
5.1.1.5 Percepción	56
5.1.2 Sistema de tratamiento de Aguas Servidas	60

5.1.2.1 Planta de Tratamiento de Aguas Servidas	60
5.1.2.2 Calidad del agua en afluente y efluente.....	66
5.1.2.3 Percepción	71
5.2 Determinación peligros y eventos peligrosos	73
5.2.1 Sistema de tratamiento de agua potable	73
5.2.2 Sistema de tratamiento de aguas servidas.....	85
5.3 Valoración del riesgo mediante matriz semicuantitativa	93
5.3.1 Valoración del riesgo en PTAP.....	94
6. CONCLUSIONES	130
7. APOORTE AL ODS 6.....	131

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estructura del PSA-RC de acuerdo con el Manual OMS/IWA	4
Tabla 2. Ejemplos de implementación del Plan de Seguridad del Agua.....	6
Tabla 3. Ejemplos de implementación de la planificación de seguridad del saneamiento	10
Tabla 4. Indicadores demográficos de la comuna de Lebu	24
Tabla 5. Matriz de identificación de peligros y eventos peligrosos asociados.	31
Tabla 6. Criterio para valoración de impacto o gravedad de las consecuencias en PTAP.	32
Tabla 7. Criterio para valoración de impacto o gravedad de las consecuencias en PTAS.	32
Tabla 9. Características de la captación subterránea Pehuén	37
Tabla 10. Características de la captación superficial Gorgolén.....	37
Tabla 11. Características del sistema de bombeo	38
Tabla 12. Características de sistema de filtración y desinfección	39
Tabla 13. Características del estanque de almacenamiento	39
Tabla 14. Características del sistema de distribución	40
Tabla 15. Características generales de la población muestreada	57
Tabla 16. Mantenciones del sistema.....	63

Tabla 17. Fallas y emergencias	64
Tabla 18. Elementos de protección personal	65
Tabla 19. Parámetros In-Situ PTAS en primavera	66
Tabla 20. Parámetros fisicoquímicos PTAS durante el invierno (21/07/2021)	67
Tabla 21. Parámetros fisicoquímicos PTAS durante la primavera (04/11/2021)...	68
Tabla 22. Coliformes fecales durante campañas de muestreo.....	70
Tabla 23. Coliformes totales durante campañas de muestreo	70
Tabla 24. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de agua potable en el SSR de Pehuén.....	74
Tabla 24. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de agua potable en el SSR de Pehuén (Continuación).....	75
Tabla 25. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de aguas servidas en el SSR de Pehuén	85
Tabla 25. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de aguas servidas en el SSR de Pehuén (Continuación)	86
Tabla 26. Directrices para la valorización de impacto en PTAP	94
Tabla 27. Directrices para la valorización de probabilidad de ocurrencia en PTAP	95
Tabla 28. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de agua potable del SSR de la localidad de Pehuén	97
Tabla 28. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de agua potable del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación).....	98
Tabla 29. Valoración y clasificación del riesgo para el sistema de tratamiento de agua potable	107
Tabla 29. Valoración y clasificación del riesgo para el sistema de tratamiento de agua potable (Continuación)	108
Tabla 30. Directrices para la valorización de impacto en PTAS	113
Tabla 31. Directrices para la valorización de probabilidad de ocurrencia en PTAS	113
Tabla 32. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de aguas servidas del SSR de la localidad de Pehuén.....	116
Tabla 32. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de aguas servidas del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación)	117

Tabla 33. Valoración y clasificación del riesgo para el sistema de tratamiento de aguas servidas (Continuación)	127
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura PSS	9
Figura 2. Complemento entre el Plan de Seguridad del Agua y la Planificación de la Seguridad del Saneamiento.	11
Figura 3. Distribución de demanda consuntiva por sector año 2015	13
Figura 4. Cobertura nacional de agua potable y alcantarillados.	14
Figura 5. Evolución histórica de la cobertura de tratamiento de aguas servidas... ..	15
Figura 6. Distribución de la población rural en Chile 2017%.....	16
Figura 7. Servicios Sanitarios Rurales en Chile.....	20
Figura 8. Ubicación geográfica de la localidad de Pehuén	23
Figura 10. Justificación de la valorización de los impactos y probabilidad de ocurrencia	34
Figura 11. Matriz de riesgo semicuantitativa de 3x3.....	35
Figura 13. Turbidez durante las campañas de muestreo de invierno (21/07/2021) y primavera (04/11/2021)	42
Figura 14. Niveles de turbidez obtenidos mediante datos históricos	42
Figura 15. Coliformes totales en agua cruda mediante campañas de muestreo ..	44
Figura 16. Coliformes Totales en agua cruda mediante datos Históricos	44
Figura 17. Concentración de coliformes Fecales en agua cruda durante las campañas de muestreo de invierno (21/07/2021) y verano (04/11/2021)	45
Figura 18. Coliformes fecales en agua cruda mediante datos históricos	46
Figura 20. Datos históricos del Color verdadero del agua tratada APR Pehuén... ..	50
Figura 21. Cloro libre residual mediante datos históricos	51
Figura 22. Ubicación geográfica de puntos de muestro.....	52
Figura 23. Concentración de cloro libre residual en la campaña de muestreo enero 2022.....	53
Figura 24. Resultados de cloro residual campaña de muestreo abril 2022.....	53
Figura 25. Turbidez mediante datos históricos durante el periodo 2018-2019.....	55
Figura 26. Turbidez obtenida mediante campañas de muestreo en verano y primavera 2022.	56

Figura 27. Percepción sobre atención y respuestas del SSR	58
Figura 28. percepción de turbidez, malos olores y más sabor en el agua del SSR	59
Figura 29. Sistema de eliminación de excretas utilizado	71
Figura 30. Porcentaje de eventos peligrosos por componentes del sistema de tratamiento de agua potable.....	82
Figura 31. Porcentaje del origen de los eventos peligrosos en sistema de tratamiento de agua potable.....	83
Figura 32. Porcentaje de la clasificación del peligro en sistema de tratamiento de agua potable	84
Figura 33. Porcentaje de eventos peligrosos por componentes del sistema de tratamiento de aguas servidas	91
Figura 34. Porcentaje del origen de los eventos peligrosos en sistema de tratamiento de aguas servidas	92
Figura 35. Porcentaje de la clasificación del peligro en sistema de tratamiento de aguas servidas.....	93
Figura 36. Probabilidad de ocurrencia e impactos en PTAP.....	106
Figura 37. Nivel de riesgo en cada componente de PTAP	111
Figura 38. resultados obtenidos en la valorización probabilidad de ocurrencia e impacto.	124
Figura 39. Análisis de la cantidad y el porcentaje de clasificación del riesgo en cada componente del sistema.....	129

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi agradecimiento a la profesora Ana Carlina Baeza Freer, quien desempeñó el papel de profesora guía a lo largo de todo este proceso investigativo. Aprecio su apoyo y orientación, brindando información valiosa y consejos para el desarrollo de este estudio.

Asimismo, agradezco a la profesora Patricia Gonzalez, mi profesora co-guía, quien participó activamente en las salidas a terreno, muestreos y talleres. Su contribución ha sido fundamental.

Un agradecimiento a Natalia Iriarte, quien participo de manera activa y colaboro de forma significativa a lo largo de toda la investigación. Aportando información, consejos, sugerencias y orientación.

Finalmente, expresar mi profundo agradecimiento a mi familia, quienes me han apoyado y orientado incondicionalmente desde mis días de colegio hasta la culminación de esta etapa universitaria.

RESUMEN

Los manuales de Plan de Seguridad del Agua y de Planificación de Seguridad del Saneamiento son dos herramientas que nos permiten identificar y evaluar los riesgos y eventos peligrosos a lo largo de toda la cadena de producción de agua potable y de tratamiento de aguas servidas, respectivamente. Estas herramientas son aplicables tanto en grandes sistemas de tratamiento de escala urbana como también en sistemas más pequeños, como los de escala rural, los cuales son el foco de la presente investigación. El área de estudio corresponde al Servicio Sanitario Rural (SSR) de la localidad de Pehuén, ubicada en Lebu provincia de Arauco. Esta localidad cuenta con un total de 1.320 habitantes y 700 arranques de agua potable hasta el año 2022. Este SSR no se encuentra exento de problemáticas asociada a la gestión, operación, infraestructura y factores climáticos presentes en la región, por ende, herramientas como el PSA y PSS resultan de gran ayuda al momento de identificarlos.

La metodología utilizada corresponde a los módulos 2 (descripción del sistema de suministro) y 3 (determinación de los peligros y evaluación de los riesgos) del plan de seguridad del agua, mientras que para aguas servidas se utilizaron los módulos 2 (descripción del sistema de saneamiento) y 3 (identificación de los eventos peligrosos y evaluación de los riesgos existentes). Para describir ambos sistemas se recopiló información sobre funcionamiento, gestión, informes de calidad de agua y problemáticas asociadas a la prestación de servicio. Una vez recopilada la información se procedió a clasificar los diferentes eventos peligrosos según su origen (D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: factores externos), así como los peligros según su tipo (B: biológico, Q: químico, F: físicos, R: radiológicos, I: asociado a la calidad del agua y G: asociado a la gestión). Luego se procedió a cuantificar el nivel de riesgo para los eventos peligrosos de ambos sistemas con la información bibliográfica y sobre el funcionamiento del SSR recolectada, mediante el empleo de la matriz de 3x3 semicuantitativa recomendada por la OMS, valorizando los riesgos como bajo (1-2), medio (3-5) y alto (6-9).

En lo referente a la descripción del sistema de tratamiento de agua potable, este consta de dos captaciones: una subterránea y otra superficial. El agua se almacena en un estanque de 75.000 litros, donde se lleva a cabo el proceso de desinfección mediante la adición de hipoclorito de calcio al 70%. Posteriormente, el agua se distribuye a la población mediante tuberías de PVC y HDP. En cuanto a la calidad del agua potable, los parámetros más críticos que exceden el límite máximo permitido (según el D.S. 735) son turbidez, cloro libre residual, coliformes totales, coliformes fecales y color verdadero.

En cuanto al sistema de tratamiento de aguas servidas, este utiliza un sistema de biodiscos y aplica hipoclorito del calcio en el efluente. Respecto a la calidad del agua en el efluente, los parámetros más críticos que sobrepasan el límite máximo permitido (según el D.S. 90) son DBO₅, fosforo total, nitrógeno total Kjeldahl y poder espumógeno.

En lo que respecta a la identificación de peligros y eventos peligrosos, se lograron identificar un total de 62 eventos peligrosos con 98 peligros asociados en el sistema de tratamiento de agua potable. Por otro lado, para el sistema de tratamiento de aguas servidas, se lograron identificad un total de 39 eventos peligrosos con 55 peligros asociados.

En la valorización y jerarquización de los eventos peligrosos, para el sistema de tratamiento de agua potable, de los 98 eventos peligrosos identificados, se señalaron un total de 24 eventos con un nivel de riesgo alto. Por otro lado, en el sistema de tratamiento de aguas servidas, de los 39 eventos peligrosos identificados, 21 presentan un nivel de riesgo elevado.

En este estudio se determinó que los eventos peligrosos que generan un nivel de riesgo más alto en el SSR son aquellos que presentan un nivel de riesgo 9, es decir el nivel de riesgo más alto en la matriz semicuantitativa de 3x3. Para el sistema de tratamiento de agua potable, se identificaron 10 eventos peligrosos con esta

clasificación, mientras que para el sistema de tratamiento de aguas servidas se identificaron un total de 11 eventos peligrosos con esta clasificación.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Agua potable y saneamiento

El uso de agua dulce se ha multiplicado por seis en los últimos cien años y sigue creciendo a un ritmo anual de casi un 1% desde los años 80 (AQUASTAT, n.d.). Gran parte de este aumento se debe a una combinación de factores, como el crecimiento demográfico, el desarrollo económico y el cambio en los patrones de consumo (UNESCO, 2021).

En el 2017, 5.300 millones de personas (71% de la población mundial) utilizaba un servicio de agua potable gestionado de forma segura -situado en las instalaciones, disponible según necesidad y exento de contaminación- 3.400 millones de personas (o el 45% de la población mundial) utilizaban servicios de saneamiento gestionado de forma segura – un retrete o letrina mejorados y no compartidos en los que los excrementos son eliminados *in situ* o transportados a una planta de tratamiento (WHO/UNICEF, 2019). De todas las personas que utilizan servicios de agua potable gestionados de manera segura, solo una de cada tres (1.900 millones) vivía en áreas rurales (OMS/UNICEF, 2017).

Se estima que a nivel global el 80% de todas las aguas residuales industriales y municipales se vierten al ambiente sin ningún tipo de tratamiento previo, con efectos nocivos para la salud humana y ecosistemas (WWAP, 2017). Esta proporción es mucho mayor en los países menos desarrollados que carecen en gran parte de instalaciones de saneamiento y de tratamiento de aguas residuales (UNESCO, 2021). Al verter estas aguas sin ningún tipo de tratamiento se producen efectos nocivos en el medio ambiente que pueden afectar de manera significativa a la salud de la población y generar grandes costos a los gobiernos, tanto en salud como en infraestructura.

En el año 2019, 2.200 millones de personas carecían de acceso a servicios de agua potable gestionado de forma segura (OMS/UNICEF 2019). Esto sumado a que más

de la mitad de la población -4.200 millones de personas- carecen de servicios de saneamiento gestionados de forma segura. (OMS/UNICEF 2019).

Se estima que cada año aproximadamente 829.000 personas mueren de diarrea por haber bebido agua potable no segura o por falta de saneamiento o higiene en las manos. Estas causas representan el 60% de todas las muertes por diarrea del mundo e incluyen cerca de 300.000 niños menores de cinco años, el 5,3% de todas las muertes de este grupo de edades (Prüss-Üstün et al, 2019), cifras similares a las entregadas por UNICEF la cual indica que 297.000 niños menores de 5 años mueren debido a enfermedades diarreicas causadas por las malas condiciones sanitarias o agua no potable (OMS/UNICEF 2019).

Sin mejores infraestructuras y sin una gestión más eficaz, millones de personas seguirán muriendo cada año y se seguirá perdiendo diversidad biológica y resiliencia de los ecosistemas, socavando la prosperidad y los esfuerzos realizados en pro de un futuro más sostenible.

Para garantizar los servicios de abastecimiento de agua potable, existe una serie de condiciones previas las cuales son, la disponibilidad física del recurso hídrico, la accesibilidad al recurso y el tratamiento eficaz del agua. Estos servicios de abastecimiento tienen que asegurar un agua libre de contaminación bacteriana, libre de metales pesados, libre de mal olor y con poca o nula turbidez.

Generar estas condiciones de abastecimiento es inaccesible para ciertos grupos de la población como barrios marginales y áreas rurales remotas. Cuando se generan este tipo de inconvenientes asociados a problemas económicos o de logística, se tiende a depender de sistemas como pozos o sistemas comunitarios de abastecimiento con la finalidad de poder acceder al agua. En muchos entornos rurales, los cauces, estanques, aguas subterráneas o lagos locales desempeñan un papel fundamental para facilitar el acceso a los recursos hídricos, haciendo que el agua esté disponible.

Debido a las problemáticas planteadas anteriormente es que la OMS recomienda la implementación de los manuales de Planes de Seguridad del Agua (PSA) y la Planificación de la Seguridad de Saneamiento (PSS), ya que estos son la forma más eficaz de garantizar la seguridad de un servicio de abastecimiento de agua y de aguas servidas, ya que ambas aplican un planteamiento integral de evaluación de los riesgos y gestión de los riesgos abarcando todas las etapas de los sistemas.

1.2 Planes de Seguridad del Agua (PSA)

En el año 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aprueba la agenda 2030 para el desarrollo sostenible, la cual tiene como objetivo unir países y sociedades con la finalidad de fortalecer los tres pilares fundamentales del desarrollo los cuales son la sociedad, economía y medio ambiente.

Dentro de esta agenda podemos encontrar 17 objetivos de desarrollo sostenible, centrándonos para este caso estudio en el ODS 6, el cual se centra en el agua limpia y saneamiento, el cual exige avances significativos en lo correspondiente a la ampliación de la cobertura de servicios, suficiencia, confiabilidad y calidad.

Con la finalidad de cumplir con este ODS, la OMS recomienda la implementación de los planes de Seguridad del Agua (PSA) en los diferentes sistemas de abastecimiento de agua potable.

Es en el año 2004, en la tercera edición de las Guías de la OMS para la calidad del agua, cuando se propone por primera vez la utilización de estos planes.

Los PSA son la forma más eficaz de garantizar sistemáticamente la seguridad de un sistema de abastecimiento de agua de consumo aplicando un planteamiento integral de evaluación y gestión de los riesgos abarcando todas las etapas del sistema de abastecimiento, desde la cuenca de captación hasta su distribución al consumidor (OMS, 2004).

La estructura del PSA se basa en 5 componentes, dentro de los cuales podemos encontrar 11 módulos. A continuación, en la Tabla 1 se presenta la estructura del PSA.

Tabla 1. Estructura del PSA-RC de acuerdo con el Manual OMS/IWA

COMPONENTE	MODULO
I. Preparación	1. preliminares: Formación del equipo PSA.
II. Evaluación del sistema	2. Descripción del sistema de abastecimiento de agua
	3. Determinación de los peligros, eventos peligrosos y evaluación de los riesgos
	4. Determinación de los peligros, eventos peligrosos y evaluación de los riesgos 5. Elaboración, ejecución y mantenimiento de un plan de mejora o modernización.
III. Monitoreo operativo	6. Definición del monitoreo de las medidas de control.
	7. Verificación y eficacia del PSA.
IV. Gestión y comunicación	8. Elaboración de procedimientos de gestión.
	9. Elaboración de programas complementarios.
V. Retroalimentación y mejora	10. Planificación y realización de exámenes periódicos del PSA.
	11. Revisión del PSA tras un incidente.

Fuente: Organización Mundial de la Salud 2009, International Water Association 2009.

- **Preparación:** El primer componente tiene como objetivo la creación de un equipo experimentado y multidisciplinario que comprenda los componentes del sistema, problemáticas asociadas a los aspectos climáticos y de recursos hídricos que afecten el sistema de suministro de agua. El equipo tiene que estar en una buena posición para evaluar los riesgos que pudiera presentar cada componente de este.
- **Evaluación del sistema:** Este componente inicia con una descripción detallada del sistema de abastecimiento de agua de consumo. Luego se determinan todos los posibles peligros y eventos peligrosos de tipo biológico, físico y químico asociado a cada etapa del sistema de agua, con la finalidad de poder determinar las medidas de control y clasificar aquellos riesgos insuficientemente controlados.
- **Monitoreo operativo:** Definición del monitoreo de las medidas de control, este tiene como objetivo una evaluación de la eficacia de las medidas de control con la frecuencia pertinente y el establecimiento de medidas correctoras cuando el monitoreo muestra que se han superado los límites críticos o que se han producido desviaciones.
- **Gestión y comunicación:** Aquel componente busca generar medidas de respuesta y el monitoreo operativo del sistema generando protocolos y estrategias de comunicación incluidos los procedimientos de notificación y la información de contacto del personal.
- **Retroalimentación y mejora:** Consiste en la planificación, realización de exámenes periódico y una revisión del PSA tras incidentes, cuyo objetivo es tener un PSA actualizado y que continúa siendo adecuado para las necesidades del servicio de abastecimiento de agua y las entidades involucradas.

Estos planes se pueden aplicar tanto en grandes sistemas de tratamientos de agua, en los cuales se dispone de los medios económicos suficientes, como también en pequeños sistemas de escala local, los cuales muchas veces carecen de los medios

económicos o estos son limitados. En la literatura podemos encontrar una gran cantidad de información acerca de los impactos positivos que trae consigo la implementación del PSA en zonas rurales, zonas en las cuales medidas como la implementación de monitoreos constantes, dar orientación a la mejora continua de los procesos, prever posibles averías y evitar la sobreexplotación de los acuíferos, han logrado disminuir y mitigar los riesgos de cada componente. A continuación, en la tabla 2, se presentan distintos casos a nivel mundial en los cuales se ha aplicado la metodología PSA.

Tabla 2. Ejemplos de implementación del Plan de Seguridad del Agua

AÑO	AUTOR	TITULO	PAIS	EXPERIENCIA
2011	<i>Gatto D'Andrea, M.L., et al</i>	Un plan de seguridad del agua para la ciudad de Salta	Argentina	El PSA debe ser monitoreado constantemente y estar orientado a la búsqueda de una mejora continua de los procesos que intervienen en los sistemas.
2017	<i>Sánchez Maldonado A.J. and W.V. González Castiblanco</i>	Plan de seguridad del agua para el municipio de Tocaima	Colombia	Después del proceso de reevaluación de los peligros, se determinó que el nivel de riesgo disminuye considerablemente puesto que ningún peligro se clasificó como alto, esto validó la efectividad de las medidas de control propuestas dentro de los límites críticos.
2018	<i>García R et al</i>	Plan de seguridad del agua en los campos de refugiados saharauis en Tindouf (Argelia)	Argelia	El seguimiento sistemático de la producción del agua en los pozos, de acuerdo con dichos protocolos, ha permitido ajustar el nivel de producción a las demandas, prever y evitar posibles averías y evitar la sobreexplotación de los acuíferos.

Tabla 2. Ejemplos de implementación del Plan de Seguridad del Agua

2019	<i>Amariles Guzmán, L.D. and J.A. Parra Chaparro</i>	Implementación de un plan de seguridad de agua potable en la vereda Hondura Chingafrio del municipio El Rosal, Cundinamarca	Colombia	En un principio que el agua no era apta para consumo y tenía un nivel de riesgo medio del 17% debido al incumplimiento de varios parámetros, con la optimización y labores de mantenimiento se logró obtener un IRCA del 2% .
2020	<i>Ruiz Verástegui, k.d.R. and j.j. Chavez Llanos</i>	Plan de seguridad del agua (PSA) en el sistema de agua potable (SAP) del ámbito urbano de la capital distrital de Ichocán, San Marcos	Perú	Se consiguió mitigar adecuadamente cada uno de los riesgos en cada componente , minimizando el riesgo de contaminación del agua mediante un mantenimiento periódico el cual estará bajo una supervisión constante.

1.3 Planificación de la Seguridad del Saneamiento (PSS)

Al igual que el PSA en los sistemas de abastecimiento de agua potable, la OMS ha generado una herramienta enfocada a los sistemas de tratamiento de aguas servidas.

El acceso a una instalación de saneamiento básica en los hogares sigue siendo una intervención crítica de salud pública para prevenir las enfermedades relacionadas con el saneamiento, en especial la diarrea, los parásitos intestinales, esquistosomiasis y tricoma que afectan a millones de personas en el mundo (OMS, 2016).

Facilitar el acceso a estas instalaciones de forma segura y asequibles está siendo cada vez más complejo. El prevenir la exposición a desechos humanos requiere de la gestión segura de toda la cadena de saneamiento involucrando a múltiples

participantes. Es debido a estas problemáticas que, en el año 2006, la OMS publica el manual de Planificación de la Seguridad del Saneamiento (PSS), cuyo objetivo es brindar orientación práctica en la implementación de las directrices de la OMS para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises publicadas en el 2006. Las directrices de la OMS para el uso seguro de las aguas residuales, excretas y aguas grises proporcionan un marco general de la gestión de riesgo para la salud asociados al uso de residuos humanos en la agricultura y la acuicultura. Estas directrices ofrecen flexibilidad para seleccionar un rango de opciones de tratamiento y sin tratamiento a lo largo de la cadena de saneamiento para lograr los objetivos en salud (OMS, 2015).

El manual de PSS es una herramienta de gestión basada en el riesgo para los sistemas de saneamiento, este presenta una estructura que permite reunir a actores claves de diferentes sectores con la finalidad de identificar riesgos para la salud en el sistema de saneamiento. Dentro de los objetivos propuestos por el PSS podemos encontrar:

- Identificar y gestionar sistemáticamente el riesgo para la salud a lo largo de la cadena de saneamiento (OMS, 2016).
- Orientar la inversión basada en riesgos reales a fin de promover los beneficios para la salud y minimizar los impactos adversos en la salud (OMS, 2016).
- Proporcionar garantías a las autoridades y al público respecto la seguridad de los productos y servicios relacionados con saneamiento (OMS, 2016).

Este manual está destinado a distintos usuarios, entre los cuales podemos encontrar:

- Autoridades locales
- Gerentes de empresas públicas de alcantarillado.
- Empresas de saneamiento y agricultores
- Organizaciones de la comunidad, asociaciones de agricultores y ONG.

La estructura del manual de planificación y saneamiento es bastante similar a la de los planes de seguridad del agua, pero simplificada en solo 6 módulos principales, los cuales se presentan en la Figura 1.



Figura 1. Estructura PSS

Fuente: OMS, 2016.

Esta estructura sumada al enfoque adoptado por el PSS, el cual se basa en el principio de barreras múltiples (Diferentes medidas de control a lo largo de la cadena de saneamiento), nos permite implementar este manual en todo tipo de sistema de saneamiento, ya sea a gran escala o a escalas más pequeñas como pueden ser en sectores rurales, como por ejemplo ayudando a la implementación de nueva infraestructura, mejoras en desinfección y adopción de medidas de la reutilización segura de las aguas. A continuación, en la Tabla 3 se presentan ejemplos de piasen en los cuales se ha implementado el PSS en áreas rurales:

Tabla 3. Ejemplos de implementación de la planificación de seguridad del saneamiento

AÑO	AUTOR	TITULO	PAIS	EXPERIENCIA
2011	<i>Drechsel,P,;</i> <i>Seidu,R.</i>	Rentabilidad de las opciones para reducir los riesgos para la salud en las zonas donde los cultivos alimentarios se riegan con aguas residuales tratadas y no tratadas.	Ghana	Un análisis exhaustivo de PSS para cinco ciudades demostró que la construcción de nuevas y pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales aguas arriba de las zonas de cultivo de hortalizas, podría evitar más del 90% de las enfermedades asociadas a aguas residuales.
2012	<i>Espinoza Paz</i>	Planta de tratamiento de aguas residuales en San Juan de Miraflores	Perú	La DBO lograda en el efluente es adecuada para alimentar las lagunas facultativas, produciéndose en el efluente de las lagunas facultativas una DBO inferior a 30 mg/L.
2015	OMS	Sanitation Safety Planning: Manual para el uso y la eliminación segura de aguas residuales, aguas grises y excretas	Jordania	Las autoridades están promoviendo la reutilización y han adoptado la combinación flexible de opciones de tratamiento y no tratamiento descrito por la OMS.
2019	<i>Sánchez Cabrera</i>	Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales mediante el sistema de lodos activados de la provincia de Jaén-Cajamarca 2019.	Perú	Gracias a la desinfección química que cuenta el sistema de lodos activados posterior a la degradación de la materia en el tanque aireador, se puede lograr la optimización de las características biológicas hasta los límites máximos permisibles.

Cabe destacar que tanto el PSA como el PSS son herramientas que se basan en la identificación de peligros y eventos peligrosos, con la finalidad de poder mitigar todos aquellos peligros que presentan un riesgo relevante para las cadenas de saneamiento. La implementación de ambas herramientas en forma paralela nos permite asegurar el consumo y uso seguro del agua potable al mismo tiempo que se retornan las aguas sin afectar al medio ambiente ni a las comunidades.

En la Figura 2 se muestra cómo ambas herramientas funcionan en conjunto, este ciclo comienza al captar el agua desde la cuenca (lo que incluye captaciones superficiales y subterráneas), pasando por los distintos componentes del PSA y la PSS para luego ser devuelta a los límites superficiales o incluso ser reutilizada en otros procesos.

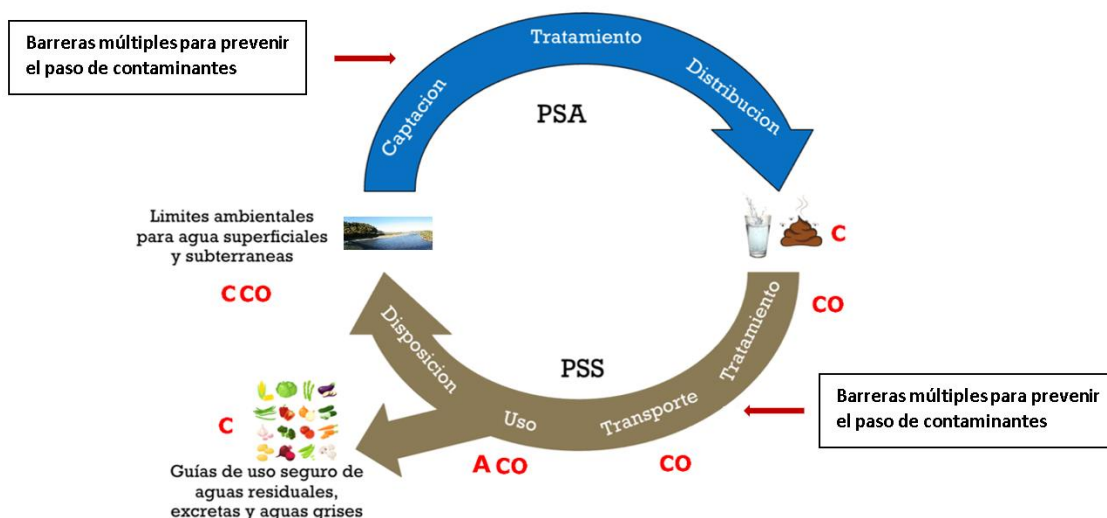


Figura 2. Complemento entre el Plan de Seguridad del Agua y la Planificación de la Seguridad del Saneamiento.

Fuente: Teófilo Montero, OPS/OMS-ETRAS, Lima-Perú, Julio 2015.

1.4 Agua y saneamiento en Chile

1.4.1 Recursos hídricos en Chile

A nivel global, Chile se puede considerar como un país privilegiado en materia de recursos hídricos. La escorrentía media total equivale a 51.281 m³/persona/año (DGA, 2016), mayor a la media mundial de 6.600 m³/persona/año, y muy superior al umbral para el desarrollo sostenible de 2.000 m³/persona/año. Sin embargo, a lo largo del país el escenario hídrico varía significativamente. Desde la Región Metropolitana al norte prevalecen condiciones de escasez y la escorrentía per cápita está por debajo de los 500 m³/persona/año; y desde la Región de O'Higgins hacia el sur se superan los 7.000 m³/persona/año, llegando a un valor de 2.950.168 m³/persona/año en la Región de Aysén (DGA, 2016).

Por otra parte, Chile posee 101 cuencas hidrográficas que incluyen 1.251 ríos y 12.784 cuerpos de agua correspondientes a lagos y lagunas. A ellas se suman 24.114 glaciares, los que aportan caudal de escorrentía en el estiaje (DGA, 2016). Se han delimitado 137 acuíferos y 375 sectores hidrológicos de aprovechamiento (SHAC) a lo largo del territorio nacional, de los cuales un 47% se encuentra bajo restricción o prohibición (DGA, 2016). En términos generales existe un bajo conocimiento del grado de interconexión de los acuíferos, su extensión vertical y horizontal, y su nivel de recarga (Mesa nacional de agua, 2020).

Producto del crecimiento demográfico y económico del país, el consumo de agua en Chile ha aumentado en los últimos años. Las extracciones de agua ascienden a 4.900 m³/s, equivalentes a 166 mil millones de m³/año (DGA, 2017). De estos, el 7% corresponde a extracciones consuntivas de agua, equivalentes a un caudal de 346 m³/s. El sector agrícola es el mayor usuario de agua consuntiva en Chile con un 72%, seguido por el agua potable, consumo industrial y uso minero, con el 12%, 7% y 4%, respectivamente (el 5% restante está asociado al sector pecuario y al uso consuntivo en generación eléctrica). Hacia el futuro se proyecta que la demanda de

agua siga creciendo. En este sentido estudios de la DGA (2017) proyectan un aumento de 4,5% en la demanda consuntiva al 2030, y de 9,7% al 2040 (Mesa Nacional de Agua, 2020).

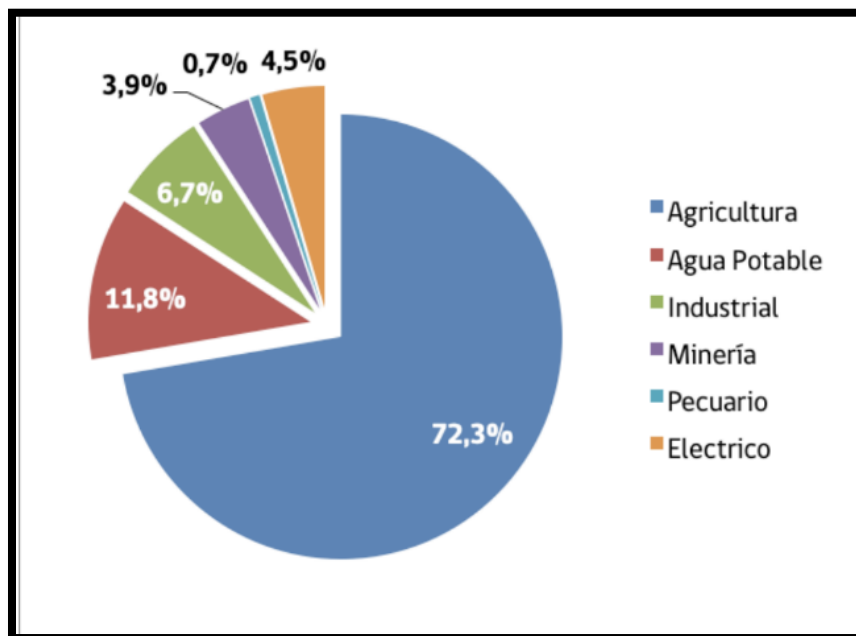


Figura 3. Distribución de demanda consuntiva por sector año 2015

Fuente: DGA,2017

Como se observa en la Figura 3, el agua potable ocupa el segundo lugar en uso de agua consuntivo, destinando un caudal de aproximadamente 41 m³/s solo al consumo y utilidad de la población. Para que el agua pueda ser potabilizada utilizada por la población de forma segura, son necesarios los servicios sanitarios. Dentro de nuestro territorio podemos encontrar dos tipos de servicios de agua potable y saneamiento, los cuales cumplen la misma función, pero a diferentes escalas. En primer lugar, tenemos los servicios de potabilización y saneamiento urbanos, las cuales prestan servicios a la mayor parte de la población y por otro lado tenemos los Servicios Sanitarios Rurales (SSR), los cuales prestan servicios a los sectores rurales.

1.4.2 Servicio de agua potable y saneamiento en el sector urbano

En las áreas urbanas, los servicios de agua potable y saneamiento se llevan a cabo mediante empresas concesionarias, las cuales son fiscalizadas y controladas por la Super Intendencia de Servicios Sanitarios (SISS), el cual es el organismo encargado de establecer las normas, otorgar las concesiones, aprobar planes de desarrollo y fijar tarifas.

Actualmente operan 54 empresas de servicios sanitarios en 397 territorios operacionales, abasteciendo alrededor de 14,3 millones de personas (SISS, 2019).

La cobertura de servicios sanitarios en estas localidades ha alcanzado niveles comparables a la de los países de la OECD, alcanzando un 99,93% en agua potable, 97,17% en recolección de agua servidas, y 99,98% en tratamiento de las aguas residuales con cobertura de alcantarillado (SISS, 2019).

En la Figura 4, se presenta la evolución histórica de la cobertura nacional de agua potable y alcantarillados urbanos desde 1.965 hasta el año 2.014.

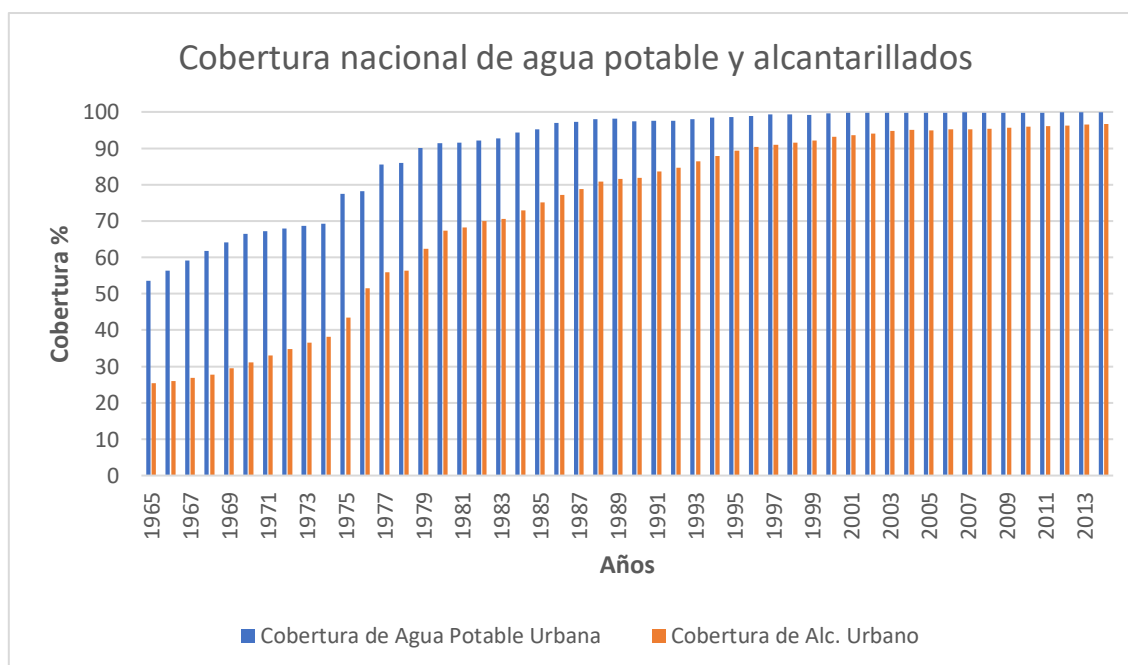


Figura 4. Cobertura nacional de agua potable y alcantarillados.

Fuente: Elaboración propia, basado en datos de la SISS.

En la figura 5, se presenta la evolución histórica de la cobertura nacional de tratamiento de aguas servidas entre los años 1998 y 2014.

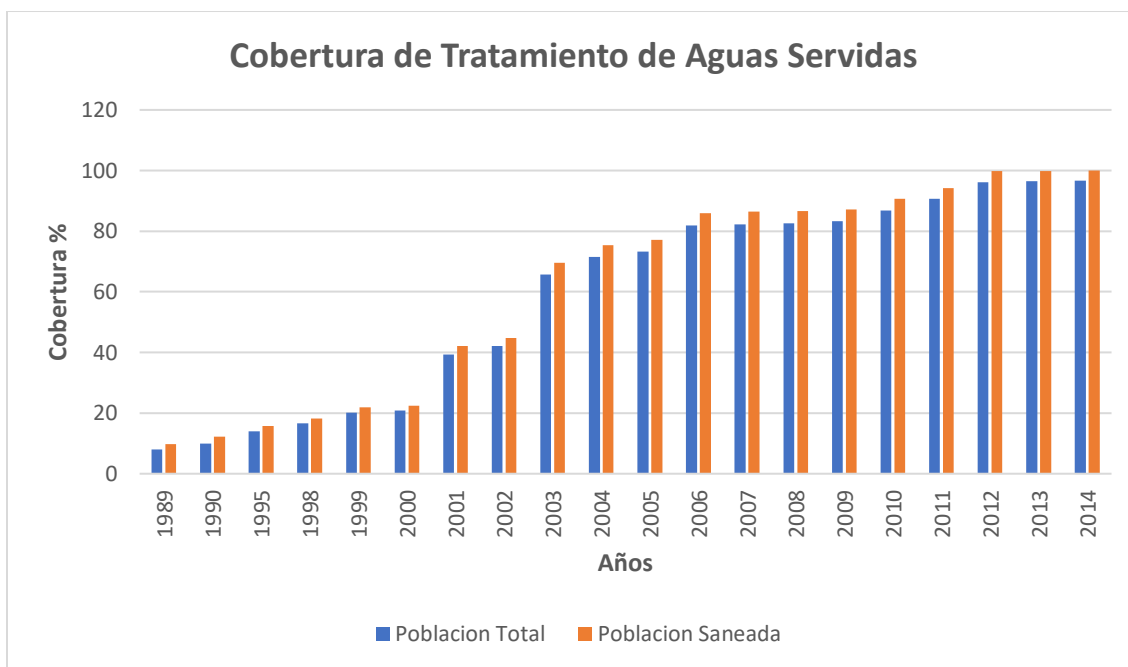


Figura 5. Evolución histórica de la cobertura de tratamiento de aguas servidas.

Fuente: Elaboración propia, basado en los datos de la SISS.

Como se observa en la Figura 4, prácticamente se ha alcanzado la cobertura universal de agua potable y alcantarillado, pero, según estimaciones de la Super Intendencia de Servicios Sanitarios, actualmente hay cerca de 870.000 personas que viven en zonas urbanas en las cuales no se encuentran operando empresas sanitarias. Algunas de estas zonas están próximas al territorio operacional de alguna empresa sanitaria y podrían ser abastecidas mediante una ampliación del territorio operacional concesionado (Mesa Nacional del Agua, 2020).

1.4.3 Agua potable y saneamiento en sector rural

Cuando nos referimos al subsector de agua y saneamiento rural en Chile, podemos encontrar tres dimensiones, las cuales dependen de la densidad de habitantes y

viviendas de las localidades, estas dimensiones son: Concentradas, semiconcentradas y dispersas.

Una localidad se dice concentrada cuando tiene más de 150 habitantes y una densidad mayor a 15 viviendas por Km de red pública de agua (RPA); una localidad rural es semiconcentrada si cuenta con una población mínima de 80 habitantes y una densidad de al menos ocho viviendas por Km de RPA (WBD, 2021).

En Chile según el censo del año 2017, el 12% de la población (2.3 millones) vivían en sectores rurales, de estos la mitad vivía en localidades concentradas y la otra mitad se reparte entre semiconcentradas y dispersas. A continuación, en la Figura 6, se presenta la distribución de la población rural en Chile según el censo del año 2017.

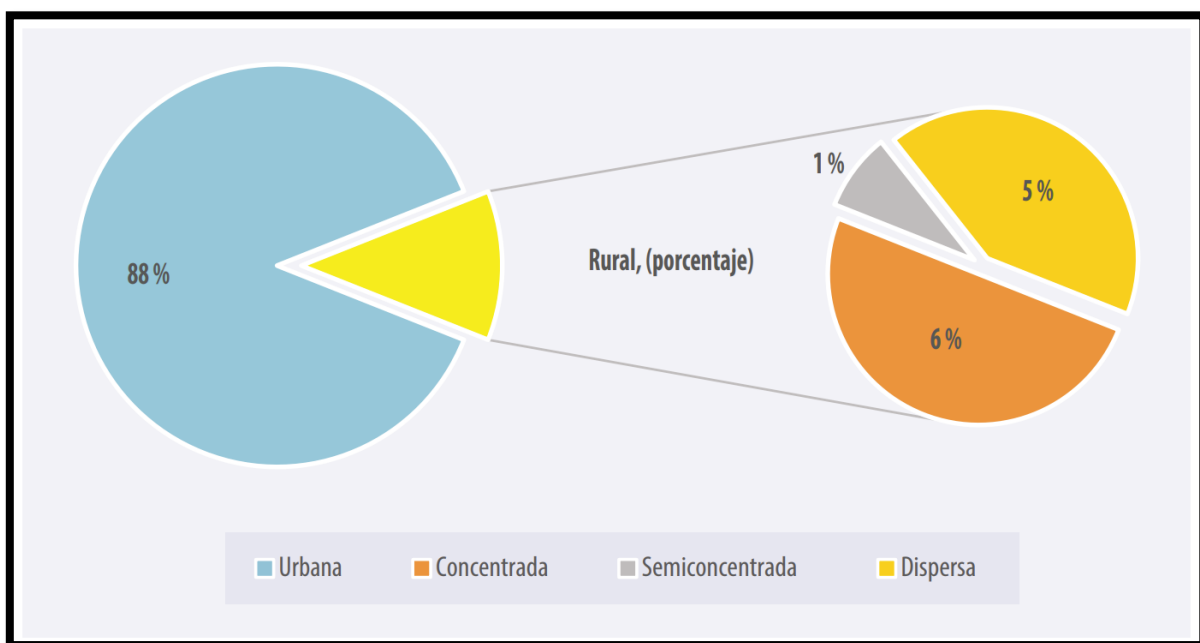


Figura 6. Distribución de la población rural en Chile 2017%

Fuente: Censo, 2017

A diferencia de los sectores urbanos, la realidad que se vive en los sectores rurales es muy distinta, ya que la mayor parte de esta población se encuentra fuera del área

de operación de las empresas sanitarias. Debido a esto la forma principal de abastecimiento es mediante sistemas de Agua Potable Rural (APR), actualmente conocido como Servicio Sanitario Rural (SSR)

1.4.3.1 Servicio sanitario rural

En el año 1964 el gobierno de Chile adopta el plan básico de saneamiento rural, este plan se convirtió en lo que hasta el año 2020 se conocía como Programa de Agua Potable Rural (APR) de la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP. Luego el 20 de noviembre del año 2020 entra en vigencia la ley 20.998 de Servicios Sanitarios Rurales, la cual busca proteger a comités y cooperativas de agua potable del país, en este punto los comités de agua potable rural (APR) pasan a ser llamados servicios sanitarios rurales (SSR).

La Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) y la Autoridad Sanitaria correspondiente, son los encargados de entregar la información necesaria para los procedimientos de fiscalización y los encargados de evaluar la calidad del servicio entregado por los SSR a los usuarios correspondientes.

Los SSR pueden ser operados y administrados por un comité o una cooperativa a la cual se le haya otorgado una licencia por parte del Ministerio de Obras Públicas, también podrá ser operado por otra persona natural o jurídica autorizada por el MOP.

Podemos encontrar dos tipos de servicios sanitarios rurales, los cuales son servicio sanitario rural primario y secundario, detallados a continuación:

- **Servicio Sanitario Rural Primario:** Corresponde a la prestación de servicios de agua potable y saneamiento, en su caso, a las comunidades rurales para uso doméstico, y requiere el abastecimiento de agua de calidad, en cantidad y con continuidad, y en forma universal para todos aquellos usuarios que se ubiquen dentro del área de servicio (Ley 20.998, 2020). El uso doméstico se refiere al consumo familiar o a pequeñas actividades comerciales o

artesanales u otros que el reglamento determine, en atención a los volúmenes de consumo.

- **Servicio Sanitario Rural Secundario:** Corresponde a la prestación de servicios de agua potable y saneamiento que exceden del uso doméstico, y cuya prestación solo procede cuando el operador garantiza la cobertura del servicio sanitario rural primario (Ley 20.998, 2020).

Los servicios sanitarios rurales comprenden 4 etapas principales, las cuales son producción de agua potable, distribución de agua potable, recolección de aguas servidas finalizando con el tratamiento y disposición final de aguas servidas. A continuación, se muestran de manera detallada cada una de las etapas:

- **Producción de Agua Potable:** Consiste en la captación y tratamiento de agua cruda, para su posterior distribución en las condiciones que establece la normativa legal y reglamentaria vigente (Ley 20.998, 2020). Una vez captada agua cruda de la fuente, la cual puede ser superficial o subterránea, son conducidas por un sistema de tuberías que funcionan por gravedad o bombeo hacia la planta de tratamiento. En la planta se realiza el proceso de potabilización, el cual muchas veces consiste solo en la aplicación de cloro y en otros casos se utilizan métodos físicos y/o químicos.
- **Distribución de Agua Potable:** Consiste en el almacenamiento, en su caso, y la conducción del agua producida hasta su entrega en el inmueble del usuario. Esta distribución se lleva a cabo mediante redes de tuberías las cuales funcionan mediante gravedad o plantas elevadoras en caso de que se requieran.
- **Recolección de Agua Servidas:** Consiste en la conducción de dichas aguas desde el inmueble hasta la entrega para su tratamiento y disposición final. Alternativamente, esta etapa podrá consistir en soluciones descentralizadas de saneamiento para su posterior disposición.

- Tratamiento y Disposición de Aguas Servidas:** Consiste en la remoción de los contaminantes presentes en el agua para la posterior evacuación de estas en cuerpos receptores, y el manejo de los lodos generados, en las condiciones que establece la normativa legal y reglamentaria vigente, o en sistemas de tratamiento. Las aguas servidas se originan por la mezcla de tres fuentes principales las cuales son residuos líquidos domésticos (incluyendo residencias, instituciones y comercio), aguas de infiltraciones y precipitaciones (Romero, 2004). Según el catastro de la SUBDERE de plantas de tratamiento de aguas servidas del sector rural del año 2012, se encontraban operando 567 plantas de aguas servidas rural.

Actualmente Chile cuenta con un total de 2.241 Servicios Sanitarios Rurales operativos y registrados en el Catastro de Operadores de Servicios Sanitarios Rurales de la DOH. A continuación, en la Figura 7, se presenta la distribución de los distintos SSR a lo largo del territorio nacional.

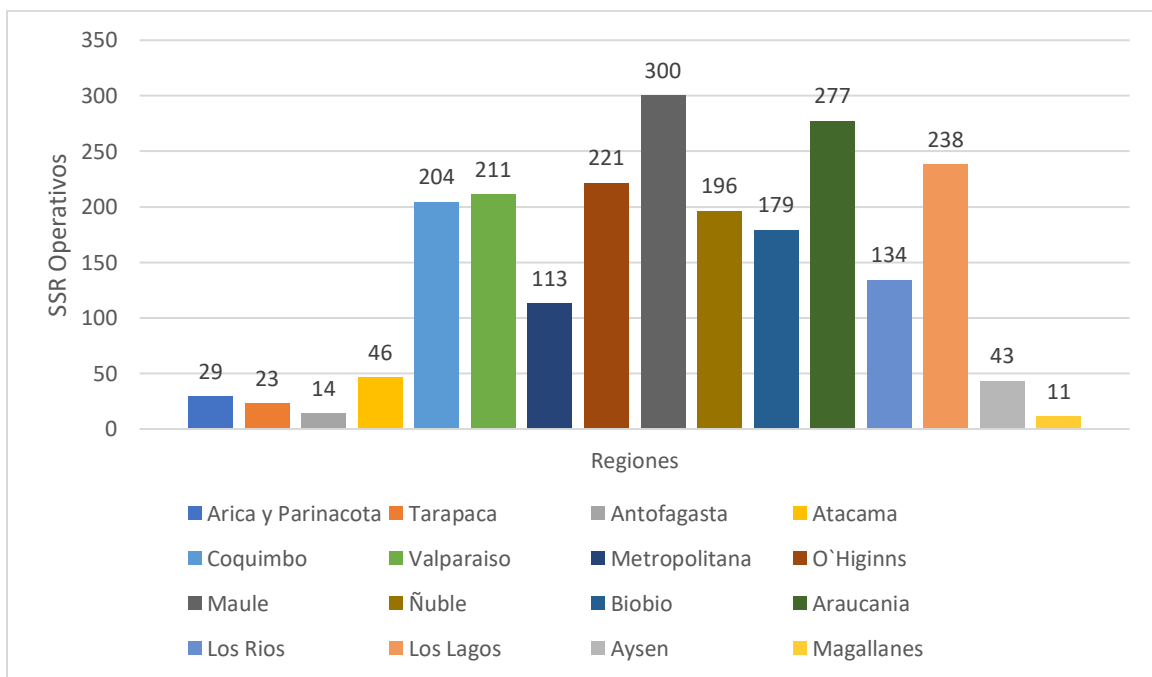


Figura 7. Servicios Sanitarios Rurales en Chile

Fuente: SSR-DOH, 2023.

Como se observa la mayor cantidad de SSR operativos se encuentran en la región del Maule y la Araucanía. También se puede observar que en las regiones que se encuentran más al norte y más al sur austral son las que cuentan con menos SSR.

1.4.3.2 Desafíos y/o problemáticas de los Servicios Sanitarios Rurales

A lo largo del territorio nacional, la escala de los SSR es predominantemente pequeña, pues el 85% de los sistemas de APR da servicio con menos de 500 arranques o conexiones, lo cual muchas veces no es económicamente eficiente para las organizaciones que los administran (World Bank, 2021). Otro aspecto económico para tener en cuenta es el cobro de tarifas fijas y con un cargo variable en función del consumo, lo que no permite a estos sistemas recuperar costos y poder invertir en mejoras.

Según el informe final de evaluación de infraestructura hidráulica de agua potable rural del año 2015, se evidencia un deterioro y envejecimiento de los sistemas de APR (actual SSR), lo que influye negativamente en la capacidad de entregar el agua potable en cantidad, calidad y continuidad requerida por la población. Debido a lo anterior, en promedio se presentaron cortes no programados en un 22,1% del total de los sistemas. Gran parte de estos cortes se deben a problemas de gestión técnica y administrativa; se evidencio que, del total de los cortes, un 82% se debió a problemas operativos tales como fallas en la bomba, problemas en redes de distribución, y cortocircuitos (Donoso *et al.*, 2015).

En lo correspondiente a aguas servidas, en diciembre del año 2020, se observa que de un total de 1.962 APRs inscritos, tan solo 285 cuentan con red pública de alcantarillado lo que correspondiendo a un 14,5% del total de los APRs inscritos hasta ese año. De estos, sólo 194 APRs cuentan con red de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas y 91 APRs solamente con red de alcantarillado (Chacón, 2021).

Para el caso de la región del Biobío, esta cuenta con un total de 179 Servicios Sanitarios Rurales operativos, según su tamaño, el 8,94% corresponden a SSR mayores, 18,44% medianos y 72,63% de tamaño menor, según la base de datos de SSR-DOH del año 2023.

Según el Informe AMULEN del año 2019, la región del Biobío es una de las regiones en las cuales se puede destacar el alto número de cortes por sequía en relación con el número total de corte por razones climáticas y es una de las regiones en la cual se utilizan más camiones aljibes.

Todas las provincias del Biobío presentan localidades con un alto porcentaje de desabastecimiento, teniendo más de 11.000 viviendas dispersas carentes de agua potable (AMULEN, 2019).

Nuestro caso de estudio se centra dentro de esta región y corresponde al SSR de la localidad de Pehuén. La localidad de Pehuén pertenece a la comuna de Lebu, provincia de Arauco. Actualmente presenta una población de 1.320 habitantes, con aproximadamente 510 viviendas. Pehuén cuenta con una planta de tratamiento de agua potable y una planta de tratamiento de aguas servidas.

2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad la implementación y adaptación de la metodología de los PSA y PSS en el sistema sanitario rural de la localidad de Pehuén, realizando una descripción de los sistemas de agua potable y aguas servidas, identificando los peligros y eventos peligrosos y finalmente jerarquizando los eventos peligrosos según su riesgo asociado.

Actualmente podemos observar una gran brecha entre el funcionamiento de los sistemas de saneamiento rurales y los sistemas urbanos, esto sumado a las dificultades anteriormente descritas, es debido a esto que el presente estudio plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son los eventos peligrosos y peligros del SSR Pehuén que generen riesgos relevantes para la localidad de Pehuén?

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Identificar los riesgos relevantes asociados al servicio sanitario rural de la comunidad de Pehuén en el contexto del Plan de Seguridad del Agua (PSS) y el Manual de la Planificación de la Seguridad del Saneamiento.

3.2 Objetivos específicos

- ❖ Describir los sistemas de tratamiento de agua potable y aguas servidas en la localidad de estudio.
- ❖ Analizar los diferentes peligros o eventos peligrosos en los sistemas de agua potable y aguas servidas de estudio.
- ❖ Jerarquizar los riesgos asociados al SSR de Pehuén.

4. METODOLOGIA

4.1 Área de estudio

La localidad de Pehuén pertenece a la comuna de Lebu, provincia de Arauco. Esta cuenta con un total de 1.320 habitantes, con aproximadamente 510 viviendas. A continuación, en la Figura 9 se presenta la ubicación geográfica de la localidad de Pehuén con respecto a la comuna de Lebu y la región del Biobío.

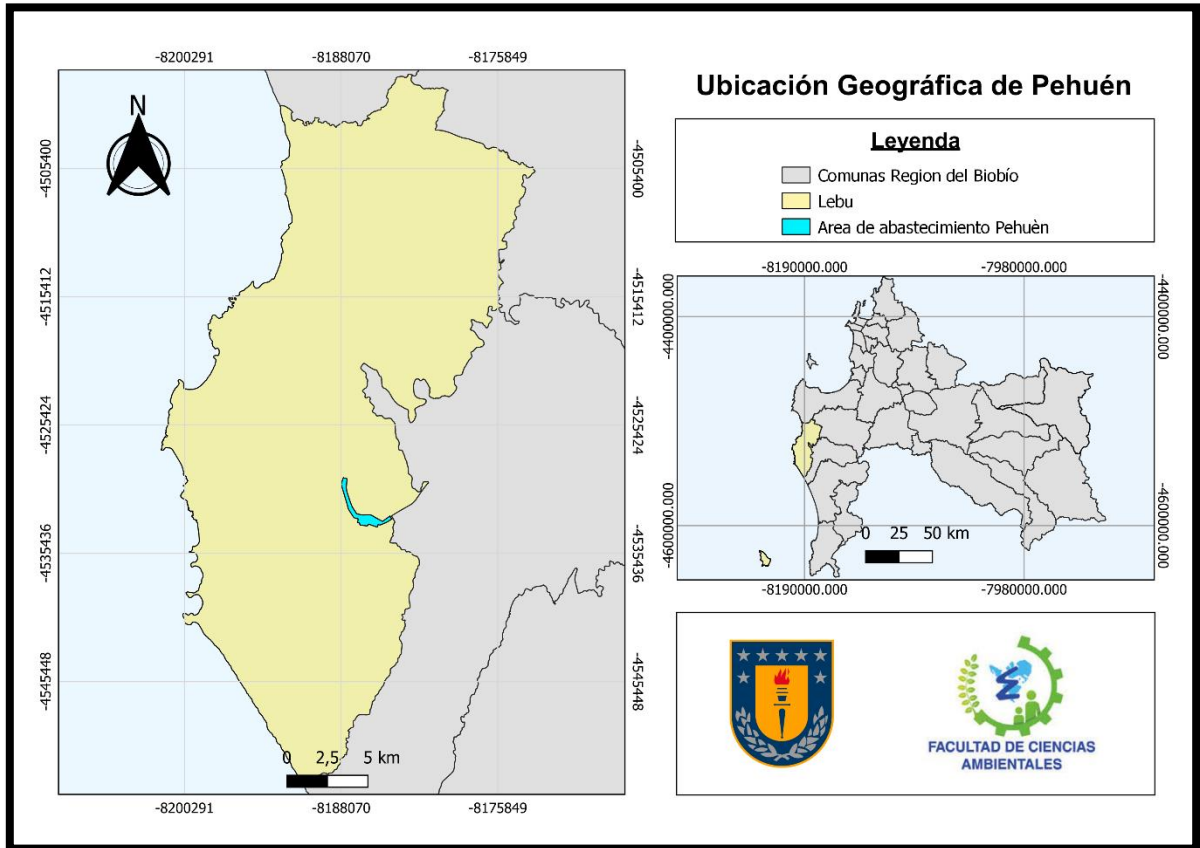


Figura 8. Ubicación geográfica de la localidad de Pehuén

Fuente: Elaboración propia mediante software de sistema de información geográfica QGIS.

Según los datos entregados por el CENSO del año 2017, la comuna de Lebu cuenta con un total de 25.522 habitantes con una variación de 1,95% con respecto al CENSO del año 2002 (25.035 habitantes). De estos 25.522 habitantes 12.441 son hombre y 13.081 son mujeres, presentando un aumento en el índice de masculinidad de 98,39. El grupo etario predominantes son aquella parte de la población que presentan una edad de entre 45 a 64 años. En la Tabla 4 se presenta la evolución de los indicadores demográficos, comparando los datos del CENSO de los años 2017 con los del año 2002.

Tabla 4. Indicadores demográficos de la comuna de Lebu

Población	CENSO 2002	CENSO 2017
Población Total	25.035	25.522
Hombres	12.416	12.441
Mujeres	12.619	13.081
Grupos etarios		
0-14	7.171	5.722
15-29	6.119	5.365
30-44	5.699	5.321
45-64	4.203	6.324
65 o más	1.843	2.790
Grupos etarios %		
0-14	28,64%	22,42%
15-29	24,44%	21,02%
30-44	22,75%	20,85%
45-64	16,79%	24,78%
65 o mas	7,38%	10,93%
Grupos etarios hombres		
0-14	3585	2884
15-29	2980	2622
30-44	2832	2542
45-64	2066	3064
65 o mas	953	1329
Grupos etarios hombres %		
0-14	28,87%	23,18%
15-29	24,00%	21,08%
30-44	22,81%	20,43%
45-64	16,64%	24,63%
65 o mas	7,68%	10,68%
Grupos etarios mujeres		
0-14	3318	2838
15-29	3139	2743
30-44	2867	2779
45-64	2137	3260
65 o mas	889	1461
Grupos etarios mujeres %		
0-14	28,42%	21,70%
15-29	24,88%	20,70%
30-44	22,72%	21,51%
45-64	16,93%	24,92%
65 o mas	7,05%	11,17%

Fuente: CENSO 2002 y CENSO 2017

La comuna de Lebu se encuentra ubicada dentro de la hoya hidrográfica del río Lebu, abasteciendo de agua potable a gran parte de esta. La cuenca del río Lebu cubre una superficie de 800 Km², formándose a partir de la unión del río Curanilahue con el río Pilpilco. El río Lebu río presenta un régimen pluvial con caudales máximos durante los meses de julio y mínimos entre los meses de diciembre y abril. En la Figura 10 se observa la cuenca hidrográfica del Río Lebu.

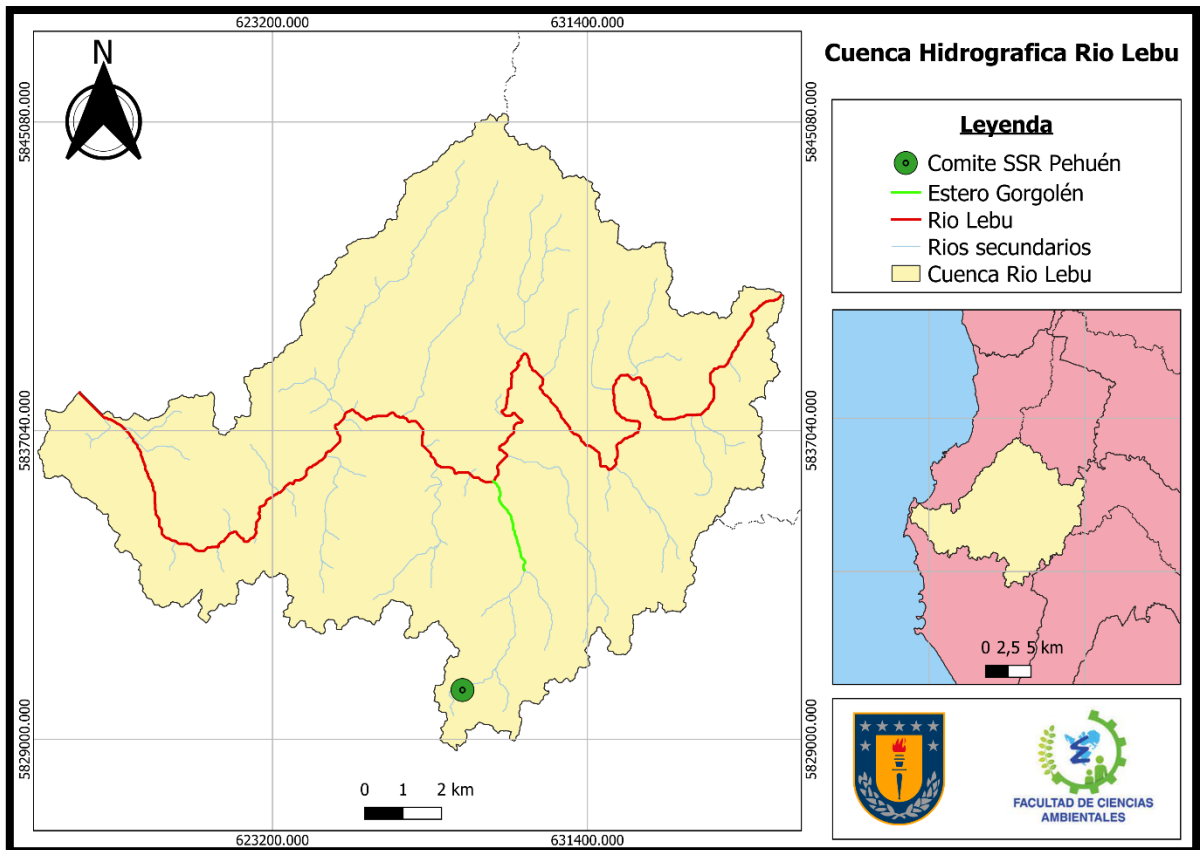


Figura 9. Cuenca hidrográfica del río Lebu

Fuente: Elaboración propia mediante software de información geográfica QGIS.

En cuanto al clima este puede ser identificado como un tipo de clima mediterráneo de lluvia invernal e influencia costera, presentando un clima invernal largo y lluvioso, con precipitaciones medias anuales de entre 1550 y 2000 milímetros; con un verano

de corta duración. La temperatura media, enero mes más calurosos es de entre 16°C y 19°C, mientras que en julio mes más frío es de entre 6°C y 7°C (Ulloa, 2007).

En lo correspondiente a la comunidad de Pehuén solo se pudo extraer información mediante la revisión del Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO, 2012-2015) y la revisión de las campañas de muestreo y entrevistas realizadas por el equipo FONIS en el año 2021.

La localidad de Pehuén cuenta con un total de 1.320 habitantes, con aproximadamente 510 viviendas. Esta cuenta con diversos servicios comunitarios como: Posta de salud, colegios, sala cuna, gimnasio, multi-canchas, iglesias, bomberos, sedes sociales y servicios sanitarios de agua potable y aguas servidas. Podemos encontrar una gran cantidad importante de asentamientos mapuches, contando con una organización social llamada "Recolectores de Frutos Silvestres".

La localidad se encuentra rodeada de una intensiva actividad forestal, la cual ha generado conflictos con los habitantes de Pehuén, conflicto que actualmente se ha agudizado debido a la escasez hídrica que afecta a la localidad.

4.2 Enfoque Metodológico

El presente estudio busca implementar la metodología de los Planes de Seguridad del Agua (PSA) y la Planificación de la seguridad del Saneamiento (PSS), tanto en el sistema de potabilización de agua como en la planta de tratamiento de aguas servidas según corresponda. Ambas metodologías se basan en la identificación, evaluación y gestión del riesgo abarcando el sistema de una forma integral, es decir abarcando todas las componentes (OMS, 2009).

Con la finalidad de cumplir el objetivo específico N°1 (Describir los sistemas de tratamiento de agua potable y aguas servidas), nos basaremos en el módulo N°2 del PSA y el módulo N°2 del PSS. Luego para cumplir con los objetivos específicos N°2 (Analizar los diferentes peligros o eventos peligrosos en los sistemas de agua potable y aguas servidas de estudio) y N°3 (Jerarquizar los riesgos asociados al

SSR de Pehuén), nos basaremos en el módulo N°3 del PSS y en el módulo N°3 del PSS. Los módulos del PSA y PSS utilizados en el presente estudio se encuentran más a detalle en el Anexo 1.

4.3 Obtención y recopilación de información

La información utilizada en el presente estudio se obtuvo mediante la revisión de información histórica recopilada del laboratorio BIODIVERSA gracias a la administración del SSR. Por otro lado se revisaron los resultados de instrumentos de consulta y muestreos IN-SITU, realizados previamente por el Fondo Nacional de Investigación y Desarrollo (Fonis) en la comunidad de Pehuén.

Por último, se realizó una entrevista administrativa, muestreos de agua potable, muestreos de agua cruda y talleres con actores claves.

4.3.1 recopilación de información histórica

Se analizaron registros históricos de calidad de agua, realizados por el laboratorio BIODIVERSA de forma mensual entre los años 2018 y 2019, los cuales fueron proporcionados por el servicio sanitario rural. Estos registros comprenden informes de calidad de agua cruda (fuentes de captación) y de agua potable, dentro de los cuales podemos encontrar información como:

- Parámetros microbiológicos: Coliformes totales, coliformes fecales y turbiedad.
- Parámetros fisicoquímicos: Amoníaco, cadmio, cianuro, cobre, arsénico, color verdadero, cromo total, flúor, cloruro, hierro, compuestos fenólicos.

4.3.2 Revisión de instrumentos de consulta

Las entrevistas revisadas en el presente informes fueron realizadas con anterioridad por proyecto FONIS en conjunto con estudiantes en práctica de Ingeniería

Ambiental de la Universidad de Concepción, con la finalidad de generar un diagnóstico socio-ambiental de la población rural de la localidad, por ende estas entrevistas contienen temas sobre calidad de vida, salud, percepción sobre el suministro de agua potable y percepción sobre el sistema de tratamiento de aguas servidas. Se aplicaron un total de 4 tipos de entrevistas la cuales se detallan a continuación.

- a) **Población:** Se reviso y analizó la información de un total de 155 entrevistas de 58 preguntas cada una, cuyo objetivo consistía en generar un diagnóstico socio-ambiental de la población rural de la localidad de Pehuén y la relación de esta con el sistema de tratamiento de agua potable y sistema de tratamiento de aguas servidas. Estas entrevistas ya se encontraban georreferenciadas así que solo se procedió a realizar su análisis y orden mediante el software Microsoft Excel.
- b) **Entrevista a Operario de la planta de tratamiento de agua potable:** Esta entrevista fue realizada por el equipo FONIS el 29 de marzo del 2022. Las preguntas realizadas tratan sobre información general, infraestructura y componentes, operación, monitoreo, mantención, gestión y situaciones de emergencias y operador y su relación con el servicio. Una vez analizada esta información se procesó mediante el Software Microsoft Excel.
- c) **Entrevista a Operario de planta de tratamiento de aguas servidas:** La entrevista fue realizada por el equipo FONIS el 29 de marzo de 2022. El esquema de las preguntas es bastante similar al utilizado para el operario de la planta de tratamiento de aguas servidas ya que incluye información general, infraestructura y componentes, operación, monitoreo, mantención, gestión y situaciones de emergencia, finalizando con el operador y su relación con el servicio.

- d) **Entrevista administrativa:** La entrevista se realizó el 28 de abril del 2022, con la finalidad de poder conocer el manejo administrativo del sistema, en este caso la entrevista se le aplicó a la secretaria administrativa del SSR. Esta cuenta con un total de 61 preguntas sobre su relación, funciones y responsabilidades con el servicio.

4.3.3 Muestreo In-Situ

Se realizaron campañas de muestreo de agua potable, agua cruda y aguas servidas en diferentes épocas del año, con la finalidad de conocer el comportamiento y funcionamiento del SSR bajo diferentes condiciones climáticas. A continuación, se detallan las campañas y parámetros medidos en cada una de ellas.

a) Agua potable

Las campañas de muestreo de agua tratada se realizaron los días 26 de enero y 28 de abril del año 2022, en diferentes puntos de la localidad, en estas campañas se midieron los siguientes parámetros:

- Turbidez
- Cloro libre

b) Agua cruda

Las primeras campañas de muestreo de agua cruda fueron llevadas a cabo por el proyecto Fonis el 21 de julio y el 4 de noviembre del año 2021. Posteriormente, se realizó una tercera campaña en mi colaboración el 28 de abril de 2022. Estos muestreos se efectuaron en las fuentes de captación superficial del estero Gorgolén y en la fuente subterránea de Pehuén. Durante estas campañas, se midieron los siguientes parámetros:

- Parámetros In-Situ: pH, conductividad y Temperatura.

- Parámetros fisicoquímicos: Esenciales (Cobre, hierro, manganeso, magnesio), no esenciales (Arsénico, nitrato y nitrito), inorgánicos (nitrógeno amoniacal, cloruro, sulfato, sólidos disueltos totales y turbiedad) y por último orgánico compuesto (índice de fenol).
- Parámetros microbiológicos: Coliformes fecales y coliformes totales.

c) Aguas servidas

Al igual que en las campañas de muestreo de agua potable, las muestras de aguas servidas fueron recolectadas en las mismas fechas. Además se llevo cabo una tercera campaña con mi colaboración, el 28 de abril del 2022. Estos muestreos tuvieron lugar en la matriz de aguas residuales ubicada en la planta de tratamiento de aguas servidas. Se realizaron tomas de muestra tanto en el afluente de la planta como en el efluente, y a continuación se presentan los parámetros medidos:

- Parámetros In-Situ: pH, conductividad y temperatura.
- Parámetros fisicoquímicos: DBO5, DQO, fosforo total, grasas y aceites, hidrocarburos fijos, nitrógeno total kjheldahl, poder espumógeno y sólidos suspendidos totales.
- Parámetros microbiológicos: Coliformes fecales y coliformes totales.

4.3.4 Taller con actores claves

El taller tuvo lugar el 17 de octubre del 2022 en la sede de la junta de vecinos de la localidad. Contó con la participación de representantes del Servicio Sanitario Rural (SSR), incluyendo al presidente, dirigentes y operarios de la planta de tratamiento de agua potable y la planta de tratamiento de aguas servidas. También estuvieron presentes representantes de la comunidad como funcionarios de la posta, bomberos, colegio y junta de vecinos.

Durante el taller, se llevaron a cabo 17 preguntas relacionadas con los eventos peligrosos y peligros asociados al sistema de tratamiento de agua potable y 5 preguntas relacionadas con eventos peligrosos y peligros asociados a la planta de

tratamiento de aguas servidas. Toda esta información fue recopilada y posteriormente procesada utilizando el software Microsoft Excel.

4.4 Matriz de peligros y eventos peligrosos

La información recopilada y obtenida previamente, en la descripción del Servicio Sanitario Rural (SSR) de la localidad de Pehuén fue procesada y organizada en dos matrices de peligros y eventos peligrosos, recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

Si bien ambas matrices son idénticas, estas se diferencian por los componentes que conforman ambos sistemas. Los componentes para la PTAP son cuenca, captación, tratamiento, desinfección, almacenamiento, redes de conducción, usuarios, mantenimiento del sistema, operación y gestión, administración del servicio ,y por ultimo seguridad y salud operacional. Para el caso de la PTAS sus componentes son usuarios, sistema de alcantarillado, pretratamiento, tratamiento secundario, línea de lodos, desinfección, cuerpo receptor, mantenimiento del sistema, operación y gestión del sistema, administración del servicio y por último seguridad y salud ocupacional.

En la Tabla 5 se presenta la matriz de peligros y eventos peligrosos, en la cual a cada evento peligroso se le asigno un código que lo clasifica según su origen (D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: factores externos). También se le asigno un código para la clasificación del peligro (B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: infraestructura, C: asociado a la cantidad de agua y G: gestión).

Tabla 5. Matriz de identificación de peligros y eventos peligrosos asociados.

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PELIGRO ASOCIADO	ORIGEN EVENTO PELIGROSO					CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO					
			D	O	M	EM	E	B	Q	F	R	I	C

Fuente: Bertram *et al.*, 2009; WHO, 2011.

4.5 Valorización

4.5.1 Valoración de impacto y probabilidad de ocurrencia

Para realizar la valorización del riesgo, se asignó un valor tanto al impacto como a la probabilidad de ocurrencia de cada evento peligroso. La valorización del impacto se llevó a cabo mediante la comparación con referencias bibliográficas y se clasificó en una escala del 1 al 3, siguiendo los criterios que se encuentran detallados en la Tabla 6 para PTAP y en la Tabla 7 para PTAS.

Tabla 6. Criterio para valoración de impacto o gravedad de las consecuencias en PTAP.

INSIGNIFICANTE	MODERADO	ALTO
<ul style="list-style-type: none"> No detectable, distribución de agua segura. Producción sin interrupciones o con interrupciones programadas cumpliendo el volumen requerido. 	<ul style="list-style-type: none"> Incumplimiento de características organolépticas. Posible efecto en la salud a largo plazo. Contaminación microbiológica menor 	<ul style="list-style-type: none"> Enfermedad grave o lesión o incluso la pérdida de la vida. Efecto catastrófico en la salud pública (Posible brote de enfermedades). Posible efecto en la salud a corto plazo.

Fuente: Elaboración propia basado en Amézquita Marroquin, Pérez Vidal, et al. (2014) y OMS, (2009).

Tabla 7. Criterio para valoración de impacto o gravedad de las consecuencias en PTAS.

INSIGNIFICANTE	MODERADO	ALTO
Peligro o eventos peligrosos con efectos nulos o mínimos en la salud (por ej.,	Peligro o evento peligroso que produce efectos irritantes en la salud o una	Evento peligroso que produce una enfermedad grave (por ej., malaria,

irritación, náuseas o dolor de cabeza).	enfermedad leve (por ej., Diarrea, vómitos, infección del tracto respiratorio superior o trauma leve).	esquistosomiasis, diarrea crónica, problemas respiratorios crónicos, envenenamiento agudo), lesión (ej., pérdida de extremidades, quemaduras graves, ahogamiento) o incluso a pérdida de la vida.
-----------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Elaboración propia basado en OMS, 2016

Para valorizar la probabilidad de ocurrencia de cada evento peligroso, se utilizó una escala del 1 al 3, empleando dos métodos distintos. El primer método se basó en entrevistas realizadas a los operadores de las plantas de tratamiento de agua potable y aguas servidas. Estas entrevistas tuvieron lugar en el comité del SSR de Pehuén, llevadas a cabo los días 17 y 18 de octubre del año 2022.

El segundo método utilizado involucró talleres con actores claves. En estos talleres participaron representantes de bomberos, posta de salud, escuela, junta de vecinos y dirigentes de la comunidad. El taller se llevó a cabo en la sede de la junta de vecinos de la localidad de Pehuén el día 8 de noviembre del año 2022.

A continuación, en la Tabla 8 se presentan los criterios utilizados para la valorización de la probabilidad de ocurrencia en ambos sistemas.

Tabla 8. Criterio de probabilidad de ocurrencia

IMPROBABLE	MODERADO	PROBABLE
<ul style="list-style-type: none"> • Ha ocurrido alguna vez. • Frecuencia: Al menos una vez en 5 años 	<ul style="list-style-type: none"> • Ha ocurrido en algunas oportunidades. • Frecuencia: Una o varias veces al año. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ha ocurrido en varias oportunidades y existe la certeza que vuelva a ocurrir. • Frecuencia: Diaria o varias veces al mes.

Fuente: Elaboración propia basado en Amézquita Marroquin, Pérez Vidal, et al. (2014) y OMS, (2009).

La información obtenida se ordenó en la tabla de justificación de impacto y probabilidad de ocurrencia, en la cual se justifica el valor asignado al impacto según la referencia bibliográfica escogida y el valor asignado a la probabilidad de ocurrencia según la información obtenida en talleres, esta tabla se observa en la Figura 10.

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
------------------------	------------------	--------------	---------	----------------------------	-----------------------

Figura 10. Justificación de la valorización de los impactos y probabilidad de ocurrencia

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 Valoración del riesgo

La valoración del riesgo se realizó mediante una adaptación del método semicuantitativo recomendado por la OMS, este método originalmente consiste en la utilización de una matriz de riesgo de 5x5, en la cual se multiplica la probabilidad de ocurrencia por el impacto asociado. La adaptación del método consiste en la utilización de una matriz semicuantitativa de 3x3, en la cual al igual que en la original se multiplica la probabilidad de ocurrencia por el impacto, cabe destacar que esta adaptación fue utilizada y recomendada por la OMS el año 2020, en un estudio realizado para Asian Development Bank. En la Figura 11, se observa la matriz utilizada en el presente estudio.

Matriz de riesgo			Impacto		
			Insignificante	Moderado	Alto
			1	2	3
Probabilidad de ocurrencia	Probable	3	3	6	9
	Moderado	2	2	4	6
	Improbable	1	1	2	3

Figura 11. Matriz de riesgo semicuantitativa de 3x3

Fuente: WHO, 2020.

El valor del riesgo obtenido para cada peligro y evento peligrosos se clasificará como:

- Bajo para valores ≤ 2
- Medio para valores entre 3 y 5
- Alto para valores ≥ 6

Una vez obtenida la valoración del riesgo para cada evento peligroso, tanto para el sistema de tratamiento de agua potable como para el de aguas servidas, se procedió a ordenar la información en la tabla de valoración del riesgo, la cual se observa en la Figura 12 la cual se muestra a continuación.



Figura 12. Tabla de jerarquización de eventos peligrosos según componentes

Fuente: Elaboración propia

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio se basan en la aplicación de las metodologías descritas en los Planes de Seguridad del Agua (PSA) y la guía de la Planificación de la Seguridad del Saneamiento (PSS) de la OMS, específicamente, se realizaron aquellos módulos que tienen como objetivo la descripción integral del sistema de tratamiento de agua potable y aguas servidas, identificación de peligros y eventos peligrosos para finalizar con la valorización del riesgo para cada uno de los eventos peligrosos identificados.

Se describen los sistemas de tratamiento abarcando cada una de sus componentes y etapas. La información fue obtenida en visitas a los sistemas de tratamientos, campañas de muestreo, realización de talleres con actores claves, revisión de entrevistas y revisión de información histórica asociada a la calidad de agua y funcionamiento del SSR.

Luego se identifican los eventos peligrosos y sus peligros asociados a ambos sistemas de tratamiento.

Finalmente se valoriza el riesgo asociado a cada evento peligroso con la finalidad de poder jerarquizar y encontrar aquellos eventos peligrosos más relevantes.

5.1.1 Descripción de los Sistema de abastecimiento de Agua Potable

5.1.1.1 Planta de tratamiento de agua potable

El Servicio Sanitario Rural de la Comunidad de Pehuén se encuentra operando y abasteciendo a la comunidad desde el año 1978 y a la fecha cuenta con un total de 700 arranques. A continuación, se muestra la descripción de cada una de las componentes del sistema.

a) Fuentes de abastecimiento

Este sistema cuenta con dos fuentes de abastecimiento, la primera de ellas de origen subterráneo tiene por nombre fuente subterránea de Pehuén y se ubicada a 100 metros de la planta de tratamiento, cabe destacar que esta es la principal fuente que abastece al sistema. También cuenta con una fuente de origen superficial la cual se ubica a 5 kilómetros de la planta de tratamiento sobre el estero Gorgolén, esta solo se utiliza cuando aumenta la demanda de agua como una fuente secundaria de emergencia.

La fuente subterránea de Pehuén enfrenta problemáticas en el sitio de captación, tales como presencia de ganado en sector, no contar con un cerco perimetral e infraestructura con presencia de oxido. En lo correspondiente a la fuente superficial del estero Gorgolén se observó la presencia de basura en el estero, el estero es uso recreativo de la zona, presencia de animales y crecidas del estero en invierno.

En la Tabla 9 y 10 se presentan las características de ambas fuentes de captación.

Tabla 9. Características de la captación subterránea Pehuén

Fuente Subterránea Pehuén	
Captación	Nº1
Nombre	Fuente Subterránea Pehuén
Tipo de fuente	Pozo de infiltración
Distancia con la planta	100 m
Año de operación	-
Profundidad	-
Volumen de extracción	12,5 m ³ /h
Producción diaria	300 m ³
Hora de máximo consumo	18:00 hrs

Fuente: Proyecto Fonis SA2010142 (2022) Universidad de Concepción.

Tabla 10. Características de la captación superficial Gorgolén

Fuente Superficial Gorgolén	
Captación	Nº2
Nombre	Fuente Superficial Gorgolén
Tipo de fuente	Toma lateral
Distancia con la planta	5 km
Año de operación	2012
Volumen de extracción	8,3 m ³ /h

Producción diaria	200 m ³
Hora de máximo consumo	18:00 hrs

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2022) Universidad de Concepción.

b) Sistema de bombeo

Este sistema cuenta con un total de 3 bombas de tipo sumergibles, las cuales se encargan de llevar el agua obtenida de las fuentes de captación a la planta de tratamiento. La primera de estas bombas la podemos encontrar en la planta de tratamiento de agua potable, esta es la encargada de transportar el agua de la captación subterránea Pehuén hasta el estanque de almacenamiento donde es tratada. Las otras dos bombas se ubican la captación superficial del estero Gorgolén, ambas bombas cumplen con la función del transporte del agua desde la captación hacia la planta de tratamiento.

Tabla 11. Características del sistema de bombeo

Bomba N°1	
Ubicación	Planta de agua potable
Tipo	Sumergible
Ultimo reemplazo	2011
Tiempo de trabajo	10 horas/día
Hora de máxima producción	18:00
Bomba de respaldo	Si
Bomba N°2 y N°3	
Ubicación	Esterio Gorgolén
Tipo	Sumergible
Ultimo reemplazo	2012
Tiempo de trabajo	24 horas/día
Hora de máxima producción	18:00
Bomba de respaldo	Si

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2022) Universidad de Concepción.

c) Filtración y desinfección

La planta cuenta con un sistema de filtración y floculación, si bien en un principio ambos se encontraban inoperativos debido a fallos producto del deterioro y falta de mantención, pero en la última visita realizada el 8 de noviembre, se evidencia que ambos filtros se encuentran operando oportunamente. El agua luego de pasar por

el sistema de filtración se trata mediante la adición de hipoclorito de calcio para desinfectar, el cual se le agrega al llegar al estanque de almacenamiento mediante un dosificador al cual se le realiza mantención día por medio.

Tabla 12. Características de sistema de filtración y desinfección

Sistema de Filtración	
Filtro N°1	Filtro de turbidez (operativo 08/11/2021)
Filtro N°2	Filtro de floculación (operativo 08/11/2021)
Desinfección	
Ubicación sistema de cloración	Estanque de almacenamiento
Sistema de cloración N°1	Dosificador por goteo o flujo constante
Sistema de cloración N°2	Clorinador automático
Tipo de cloro utilizado	Hipoclorito de calcio
Concentración de desinfectante	70%
Presentación de desinfectante	Gránulos

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2022) Universidad de Concepción.

d) Almacenamiento

El estanque de almacenamiento tiene una capacidad de 75.000 Litros, almacenando el agua proveniente de ambas fuentes. Según información recabada, al estanque de almacenamiento se le realizan actividades de limpieza llevadas a cabo por el operario. Por otro lado, una empresa externa se encarga de la mantención del estanque, cabe destacar que estas mantenciones no son de forma periódica ya que dependen de los recursos presentes en el SSR.

Tabla 13. Características del estanque de almacenamiento

Estanque de almacenamiento	
Volumen	75.000 L
Altura	20m-25m
Material de construcción	Metal y hormigón armado
Medidor de nivel de agua	Sensor tipo flotante

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2022) Universidad de Concepción.

e) Red de distribución

La red de distribución se encuentra construida en PVC (Cloruro de polivinilo) y presenta un aproximado de 560 arranques a la fecha, se les realiza mantención solo cuando estas presentan fallos. Se tienen reclamos sobre bajas en la presión del agua en temporada estival y la presencia de tuberías al descubierto.

Tabla 14. Características del sistema de distribución

Sistema de distribución	
Material de la red	PVC (Cloruro de polivinilo)
Extensión de la red	6 km
Numero de arranques	560 aprox

Fuente: Proyecto Fonis SA2010142 (2022) Universidad de Concepción.

f) Monitoreos

Se realizan monitoreos diarios al sistema, en los cuales se mide caudal, cloro residual, consumo de agua y se registran novedades de los procesos. Para realizar estos monitoreos se cuenta con equipos como medidor de cloro HACH, turbidímetro y pH-metro. El cloro libre residual se mide en dos puntos de la red, dos veces al día de lunes a viernes.

g) Seguridad

Los operarios cuentan con los siguientes elementos de protección personal: zapatos de seguridad, arnés de seguridad, línea de vida, overol, botas de agua, traje de lluvia, guantes de goma, guantes de cuero, mascarillas con filtro, cinta de peligro, bloqueador solar y chaleco reflectante. Sin embargo, es importante destacar la falta de importantes elementos de protección como antiparras, casco de seguridad y pechera lavable. Además, se señala la falta de capacitación adecuada, ya que solo reciben visitas ocasionales por parte de la Dirección de Obras Hidráulicas y Seremi de Salud.

5.1.1.2 Calidad de agua potable

Entre los parámetros importantes que establece el Decreto Supremo 735 de Reglamento de los Servicios de Agua Destinados al Consumo Humano, se

identifican los parámetros microbiológicos (presencia de bacterias), parámetros químicos (rangos de sustancias químicas como amoníaco, cloruros, sulfatos, entre otras, así como pH y sólidos disueltos) y los parámetros físicos como sabor, color, turbidez, conductividad eléctrica y entre otras (Conejeros Molina, Hueichaqueo Pichunman et al. 2021).

A continuación, se presentan los resultados de calidad de agua cruda y del agua tratada. Estos datos se obtuvieron mediante la recopilación de información histórica extraída del SSR, revisión de resultados obtenidos por proyecto Fonis y salidas a terreno en las cuales se realizaron muestreos.

5.1.1.3 Agua cruda

a) Análisis de pH

Se establecen límites para pH que van de 6,5 a 8,5 (Decreto Supremo 735, 1969). En este caso, la captación subterránea de Pehuén se encuentra levemente bajo el mínimo permitido, presentando un valor para pH de 6,36. Valores de pH por debajo de 6,5 pueden indicar aguas corrosiva lo que puede movilizar metales en las tuberías (Sigler and Bauder 2017).

Los valores para pH obtenidos en campañas de muestreo y revisión de datos históricos se encuentran en el Anexo 3 y Anexo 8 respectivamente.

b) Análisis de turbidez

La turbidez, expresada generalmente como unidades nefelométricas de turbidez (UNT), describe la pérdida de claridad en el agua causada por partículas en suspensión (por ej., arcilla y sedimentos), precipitados químicos (por ej., manganeso y hierro), partículas orgánicas (por ej., desechos vegetales y organismos (OMS, 2011). El D.S. 735 establece un límite máximo para turbidez de 4 UNT, en la Figura 13 y Figura 14, se observan los resultados para turbidez obtenidos mediante campañas de muestreo y recopilación de datos históricos, respectivamente.

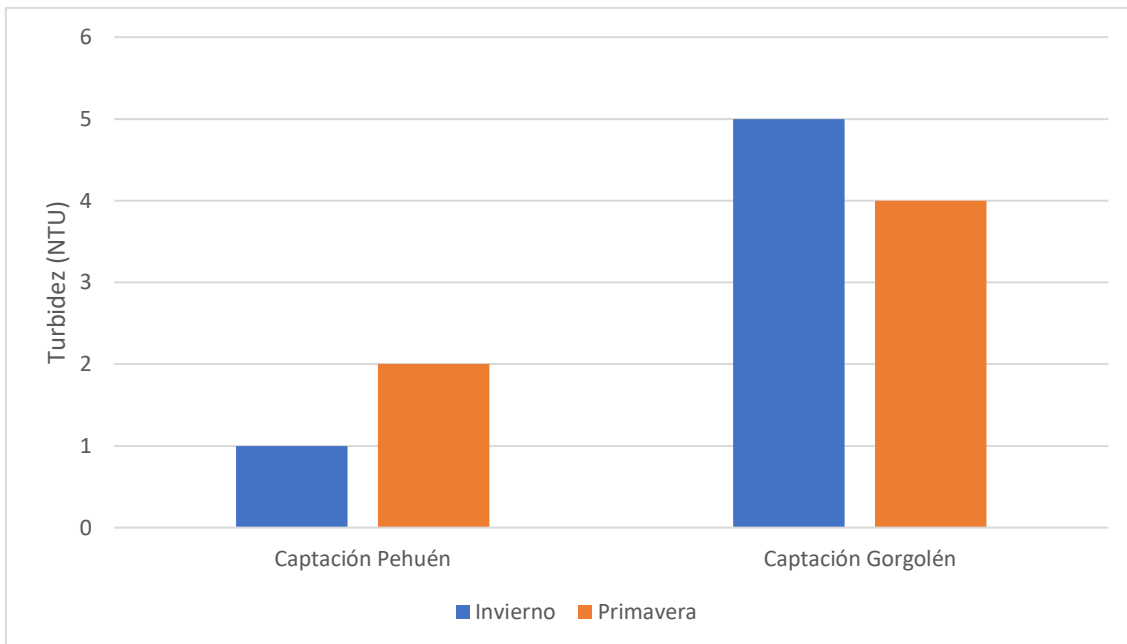


Figura 13. Turbidez durante las campañas de muestreo de invierno (21/07/2021) y primavera (04/11/2021)

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2022) Universidad de Concepción

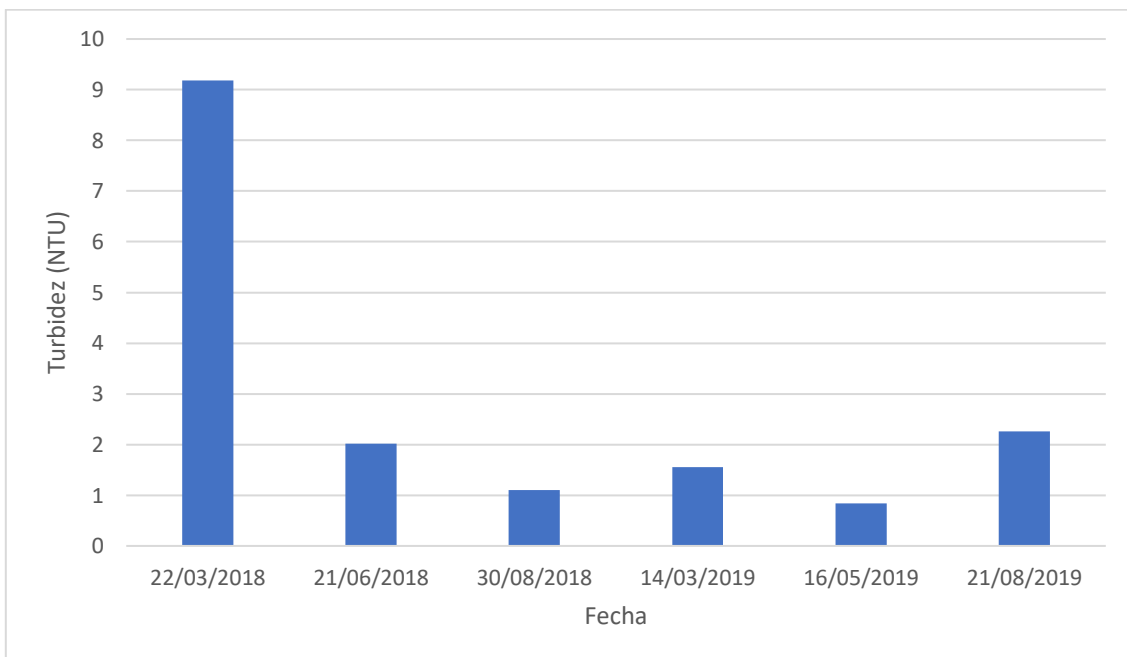


Figura 14. Niveles de turbidez obtenidos mediante datos históricos

Fuente: Biodiversa, 2018

Como se observa la captación superficial del estero Gorgolén supera la norma durante los muestreos de invierno, lo mismo ocurre con los datos históricos en el mes de marzo del 2018.

Elevados niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de cloro (Marcó, Azario et al. 2004).

De igual forma puede producir manchas en los materiales, accesorios y ropa expuestos durante el lavado, además interfiere en la eficacia de los procesos de tratamiento (OMS, 2011).

Los valores para turbidez obtenidos en campañas de muestreo y revisión de datos históricos se encuentran en el Anexo 4, Anexo 5 y Anexo 6 respectivamente.

c) Análisis de coliformes totales

Los coliformes totales corresponden a grupos de bacterias aerobias y anaerobias facultativas, Gram negativo, no formadoras de esporas, fermentadoras de lactosa a 35°C con producción de ácido y gas (NCH 409/1, 2005).

Todas las muestras que se analicen mensualmente en un servicio de agua potable destinada a consumo humano deben estar exentas de *Escherichia Coli*. Para la verificación de este requisito, en las muestras que se haya detectado la presencia de coliformes totales, se debe confirmar adicionalmente la ausencia de *Escherichia Coli* (Decreto Supremo 735, 1969, p.10).

En las Figuras 15 y 16 se presentan los resultados obtenidos para coliformes fecales en agua cruda mediante campañas de muestreo y datos históricos respectivamente.

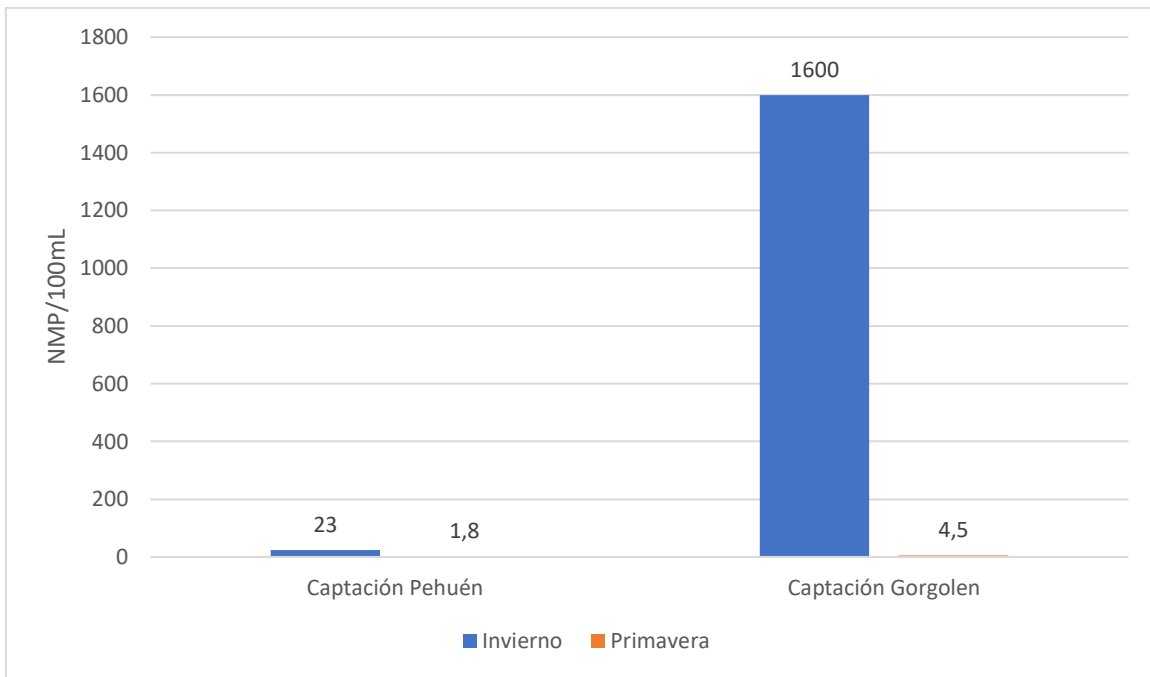


Figura 15. Coliformes totales en agua cruda mediante campañas de muestreo

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2018) Universidad de Concepción.

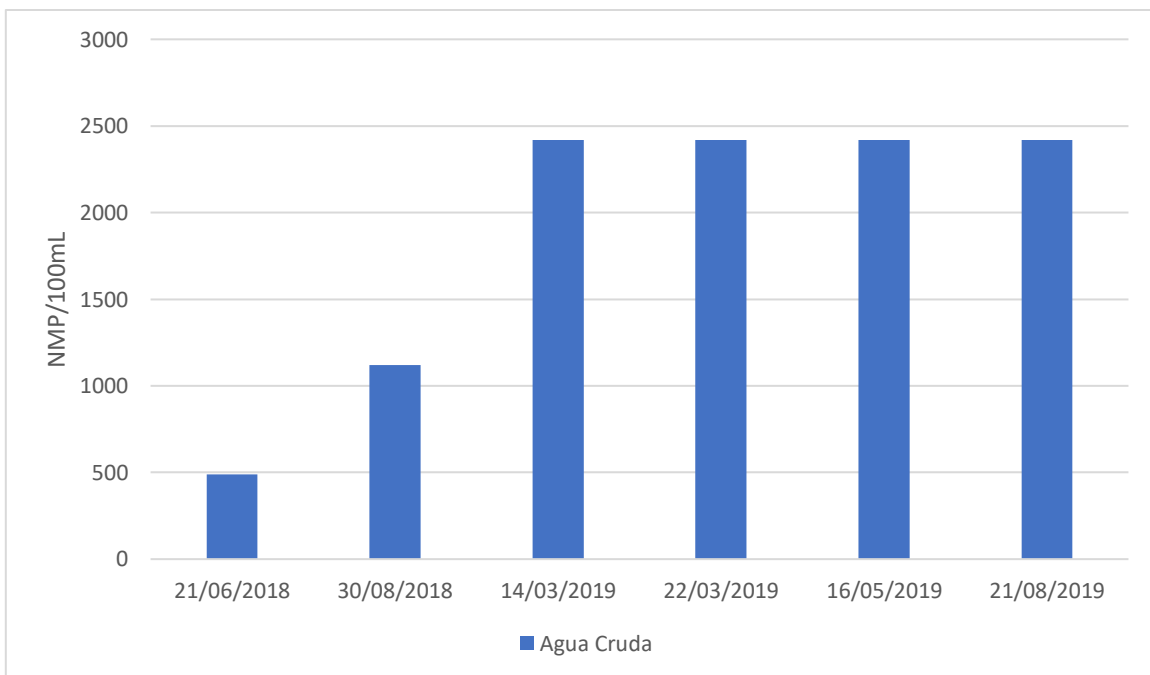


Figura 16. Coliformes Totales en agua cruda mediante datos Históricos

Fuente: BIODIVERSA, (2018-2019)

Se puede observar que en ambos casos tenemos una gran presencia de coliformes totales, lo cual indica la presencia de contaminación bacteriana.

Los valores para coliformes totales obtenidos en campañas de muestreo y revisión de datos históricos se encuentran en el Anexo 6 y Anexo 9.

d) Análisis de coliformes fecales

Los coliformes fecales son microorganismos con una estructura parecida a la de una bacteria común llamada *Escherichia coli* y se transmiten, normalmente, en el intestino del hombre y en el de otros animales. Formas patógenas de *Escherichia* y de otras bacterias se denominan genéricamente coliformes fecales (Molina and Brenes 2010).

En la Figura 17 se presentan los resultados obtenidos en las campañas de muestreo de agua cruda y en la Figura 18 se muestran los resultados obtenidos mediante la recopilación de datos históricos.

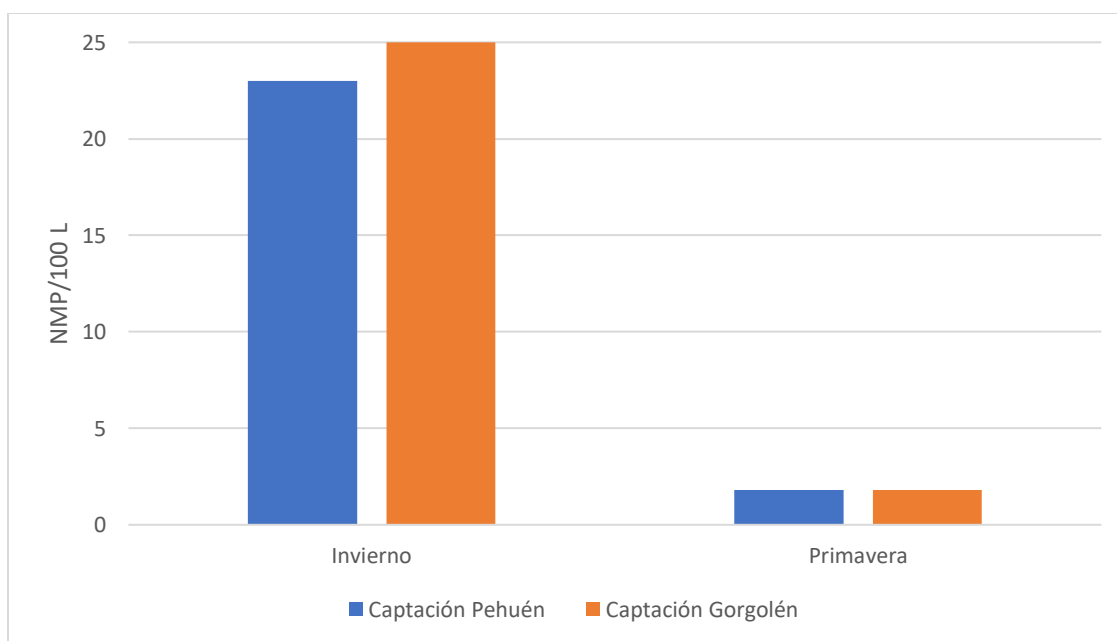


Figura 17. Concentración de coliformes Fecales en agua cruda durante las campañas de muestreo de invierno (21/07/2021) y verano (04/11/2021)

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2022) Universidad de Concepción.

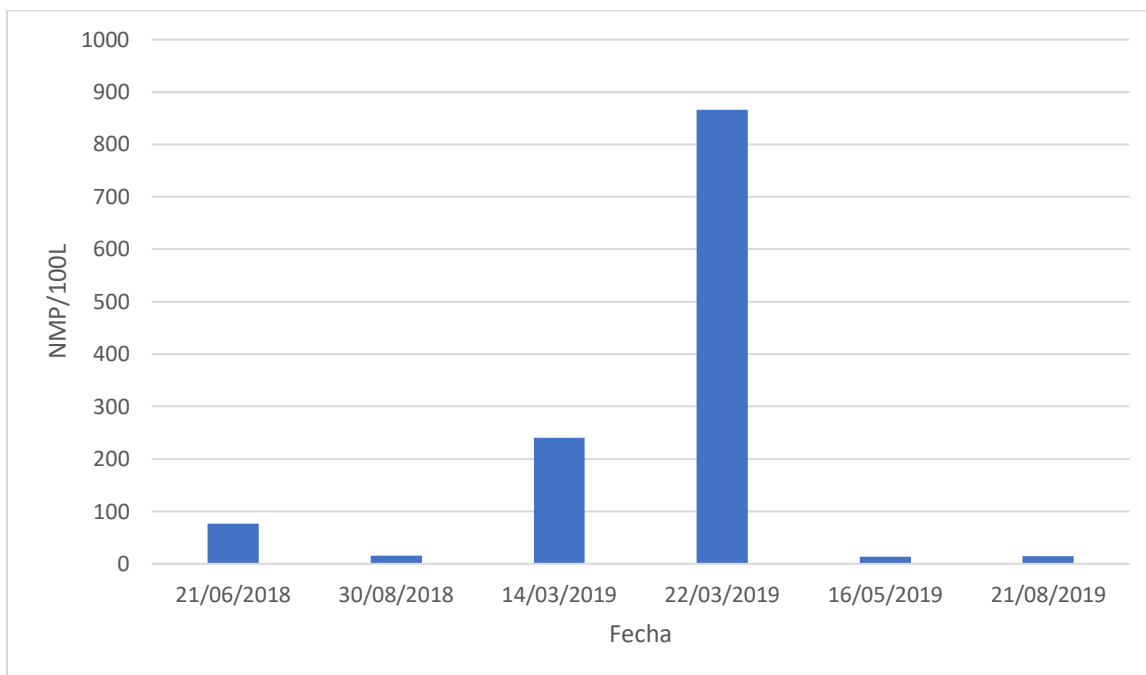


Figura 18. Coliformes fecales en agua cruda mediante datos históricos

Fuente: BIODIVERSA, 2018-2019

Tanto en las campañas de muestreo como en los datos históricos se pueden observar una gran presencia de coliformes fecales.

Los valores para coliformes fecales obtenidos en campañas de muestreo y revisión de datos históricos se encuentran en el Anexo 6 y Anexo 9.

e) Análisis de cobre

Se establece un límite máximo para las concentraciones de cobre de 2,0 mg/L (Decreto Supremo 735, 1969). En el caso estudio según los informes de calidad de agua disponibles y los muestreos realizados en el proyecto no se supera en ningún momento el máximo permitido.

Los valores para cobre obtenidos en campañas de muestreo y revisión de datos históricos se encuentran en el Anexo 4, Anexo 5, Anexo 7.

f) Análisis de hierro

El D.S. 735 establece un límite máximo para las concentraciones de hierro de 0,3 mg/L. En la Figura 19 se presentan los resultados obtenidos para los niveles de hierro en el agua cruda.

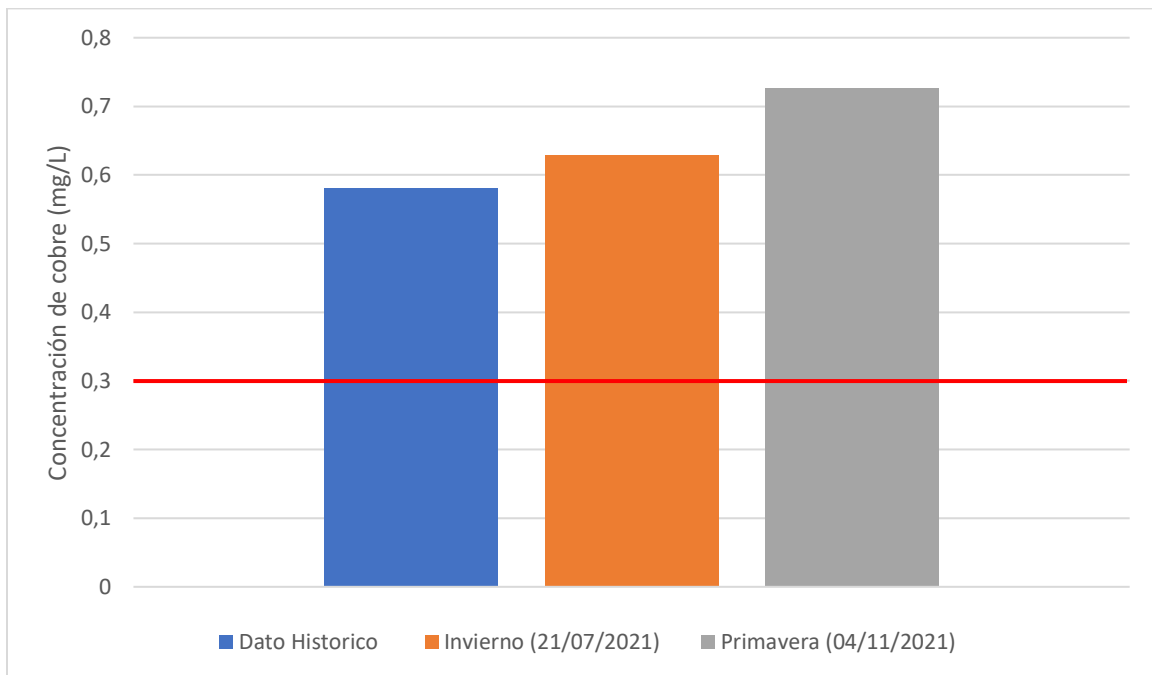


Figura 19. Concentración de Hierro en la captación superficial Gorgolén

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2018) Universidad de Concepción y BIODIVERSA, 2018

Como se puede observar se supera el máximo permitido para hierro establecido por D.S. 735. El hierro puede darle al agua un sabor, olor y color indeseable. Puede causar manchas rojizo-café en la ropa, porcelana, platos, utensilios, vasos, lavaplatos, accesorios de plomería y concreto (McFarland and Dozier 2004).

Los valores para hierro obtenidos en campañas de muestreo y revisión de datos históricos se encuentran en el Anexo 4, Anexo 5 y Anexo 7.

g) Análisis de manganeso

El D.S. 735 establece un límite máximo para las concentraciones de manganeso de 0,1 mg/L. Para el caso estudio no se supera en ninguna medición el límite establecido.

Los valores para manganeso obtenidos en campañas de muestreo y revisión de datos históricos se encuentran en el Anexo 4, Anexo 5 y Anexo 8.

h) Análisis de magnesio

El D.S. 735 establece un límite máximo para las concentraciones de magnesio de 125 mg/L. Para el caso estudio no se supera en ningún caso el límite establecido, los resultados se pueden observar en el anexo 2.

Los valores para magnesio obtenidos en campañas de muestreo y revisión de datos históricos se encuentran en el Anexo 4, Anexo 5 y Anexo 8.

i) Análisis de arsénico

El D.S. 735 establece un límite máximo para las concentraciones de arsénico de 0,01 mg/L. Para el caso estudio no se supera en ningún caso el límite establecido.

Los valores para magnesio obtenidos en campañas de muestreo y revisión de datos históricos se encuentran en el Anexo 4, Anexo 5 y Anexo 7.

j) Análisis de Nitrato y nitrito

El DS 735/MINSAL establece un límite para nitrato de 50 mg/L y para nitrito de 3 mg/L. Para el caso estudio no se supera en ningún caso el límite establecido.

Los valores para nitrito y nitrato obtenidos en campañas de muestreo y revisión de datos históricos se encuentran en el Anexo 4, Anexo 5 y Anexo 8.

k) Cloruro

El D.S. 735 establece un límite máximo para las concentraciones de cloruro de 400 mg/L. Para el caso estudio no se supera en ningún caso el límite establecido.

Los valores para cloruro obtenidos en campañas de muestreo y revisión de datos históricos se encuentran en el Anexo 4, Anexo 5 y Anexo 7.

I) Sulfato

El D.S. 735 establece un límite máximo para las concentraciones de sulfato de 500 mg/L. Para el caso estudio no se supera en ningún caso el límite establecido.

Los valores para sulfato obtenidos en campañas de muestreo y revisión de datos históricos se encuentran en el Anexo 4, Anexo 5 y Anexo 8.

I) Solidos disueltos totales

El D.S. 735 establece un límite máximo para las concentraciones de solidos disueltos totales de 1.500 mg/L.

Los valores para solidos disueltos totales obtenidos en campañas de muestreo y revisión de datos históricos se encuentran en el Anexo 4, Anexo 5 y Anexo 8.

5.1.1.4 Agua tratada

a) Análisis de pH

El pH es uno de los parámetros operativos más importantes, se debe prestar atención al control del pH en todas las etapas del tratamiento del agua para garantizar que su clarificación y desinfección sean satisfactorias (OMS, 2011).

El D.S. 735 acepta un valor máximo para pH de 8,5 y un mínimo de 6,5. Para el caso estudio no se supera en ningún caso el límite establecido, los resultados se pueden observar en el anexo 3.

b) Color verdadero

El color verdadero es una de las propiedades organolépticas del agua, la cual corresponde al color causado por las materias disueltas en el agua, tales como iones metálicos (Hierro, manganeso), taninos, ligninas y otras materias húmicas, y descargas industriales, que se determina luego de eliminar la turbiedad mediante filtración (NCH 409/1, 2005). El límite establecido por D.S. 735 es de 20 uPt-Co.

En la Figura 20 se pueden observar los resultados de color verdadero, obtenidos mediante la revisión de datos históricos entre los años 2018 y 2019.

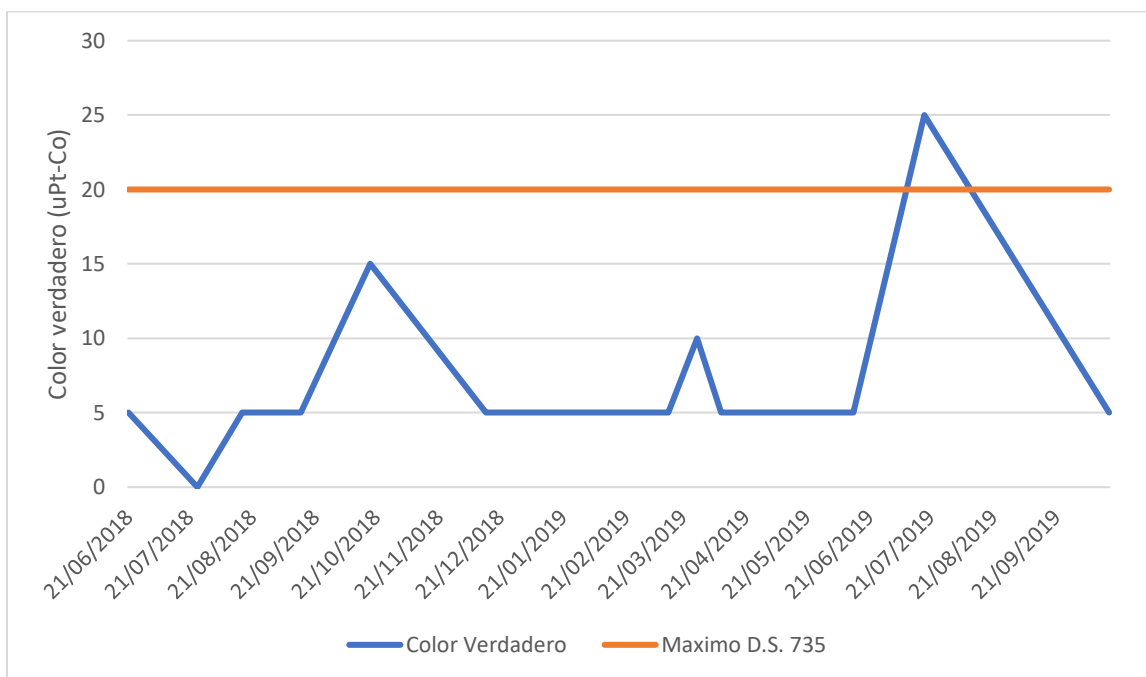


Figura 20. Datos históricos del Color verdadero del agua tratada APR Pehuén.

Fuente: BIODIVERSA, (2018-2019)

En la figura 20 se observa que en una oportunidad se supera el límite de 20 uPt-Co establecido por el D.S. 735, esta corresponde a la medición del 21/07/2019 la cual presenta 25 u Pt-Co.

c) Olor y sabor

Los problemas de sabor y olor asociados con el agua beblible son un gran inconveniente tanto para los proveedores de agua potable como para las empresas embotelladoras, que se acentúan en época estival.

Según el D.S. 735 el agua potable proveniente de los sistemas de abastecimiento debe ser inodora e insípida. Solo en una oportunidad el SSR no cumplió con los

establecido por D.S. 735, presentando olor y sabor. Los problemas de olor y sabor se originan con el desarrollo de microorganismos y/o con la actividad antropogénica.

d) Cloro libre residual

Uno de los indicadores de calidad de agua primordiales corresponde a la concentración de cloro residual, ya que garantiza la inocuidad del agua y su preservación en el tiempo de almacenamiento y su transporte en la red de distribución (OMS, 2006). Según el DS 735, la concentración residual máxima de cloro libre debe ser de 2,0 mg/L en condiciones normales de operación en cualquier punto de la red y la concentración residual mínima debe ser de 0,2 mg/L en cualquier punto de la red.

En la Figura 21 se presentan los valores para cloro libre residual obtenidos mediante la recopilación de datos históricos.

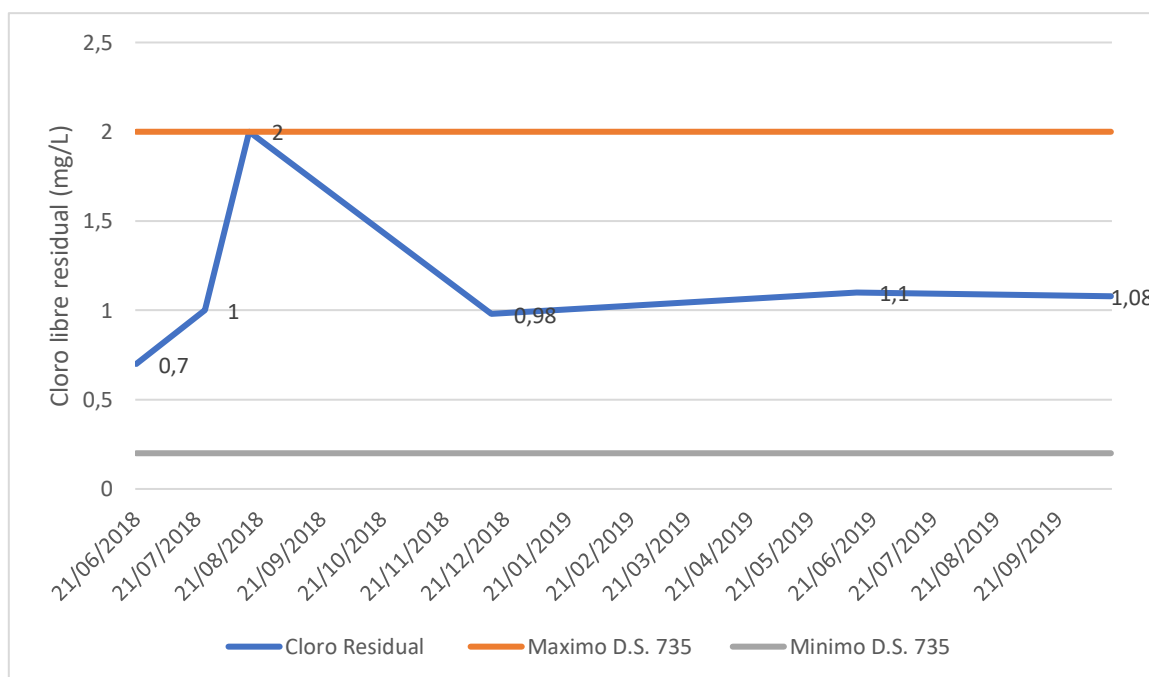


Figura 21. Cloro libre residual mediante datos históricos

Fuente: BIODIVERSA, (2018-2019)

Como se puede observar en la Figura 20 los valores de cloro residual se encuentran dentro de lo permitido por el D.S. 735.

En la Figura 23 y 24 se pueden observar los datos obtenidos para cloro residual, mediante las campañas de muestreo realizadas por equipo FONIS durante las campañas de muestreo de enero del 2022 y en la figura se observa el mapa con ubicación geográfica de los puntos de muestreo.



Figura 22. Ubicación geográfica de puntos de muestro.

Fuente: Elaboración propia mediante software Google Earth basado en información proporcionada por Proyecto Fonis SA20I0142 (2022) Universidad de Concepción

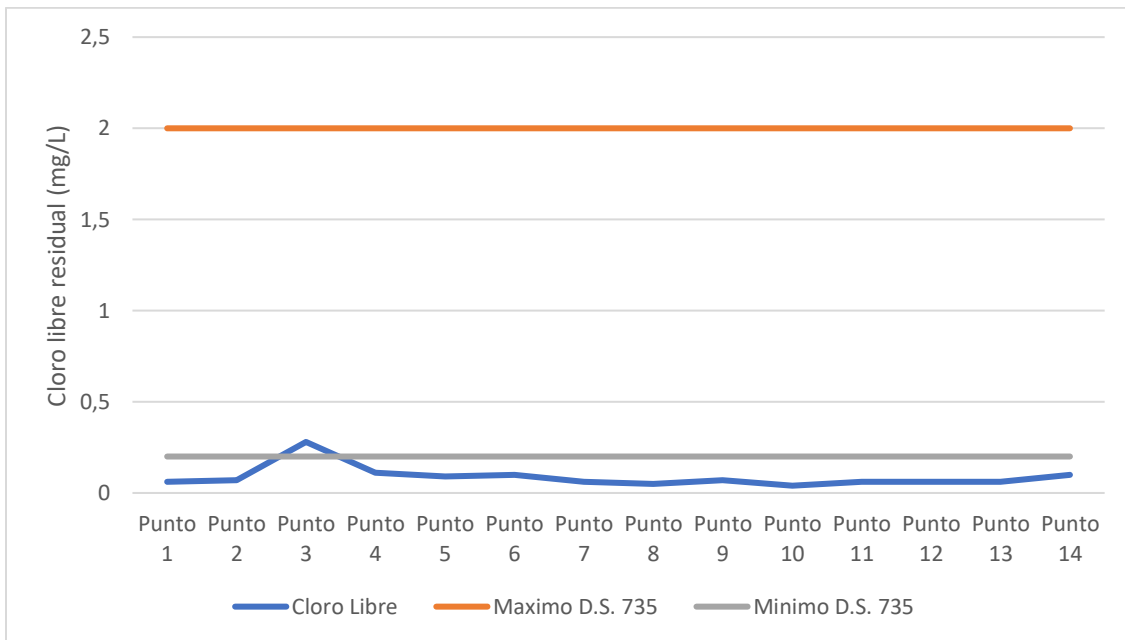


Figura 23. Concentración de cloro libre residual en la campaña de muestreo enero 2022.

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2022) Universidad de Concepción y BIODIVERSA, 2018

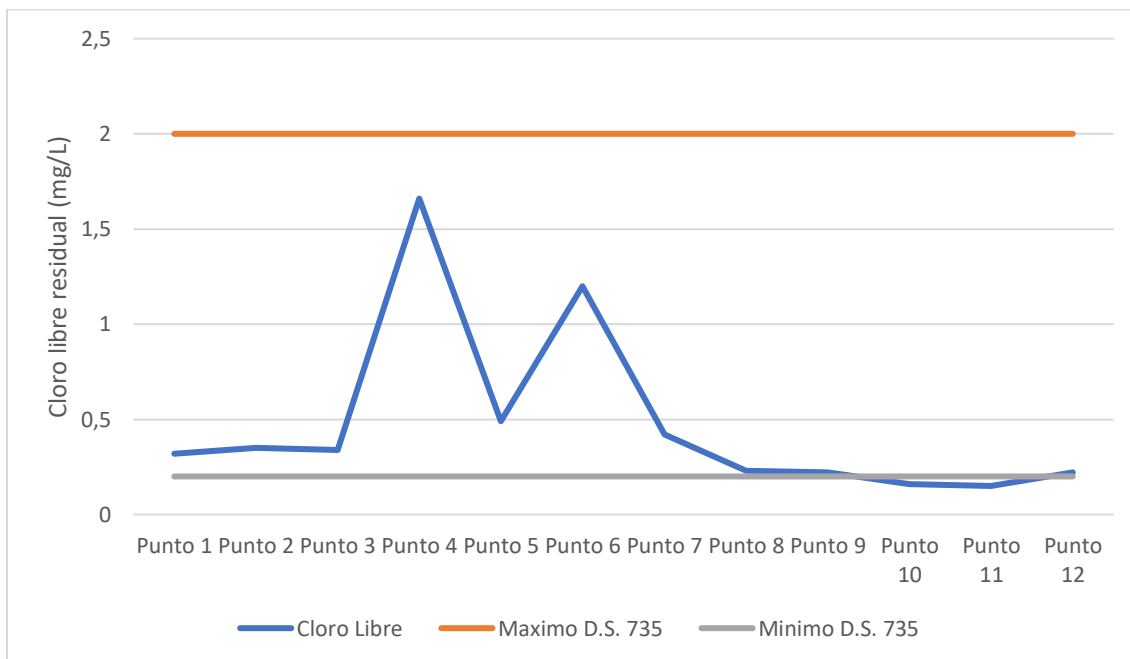


Figura 24. Resultados de cloro residual campaña de muestreo abril 2022.

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2022) Universidad de Concepción y elaboración propia.

Al analizar la Figura 23, se observa que todos los puntos de muestreo, con excepción del punto 3, se encuentran por debajo del límite mínimo establecido por D.S. 735. Esta situación se debe a un corte de suministro eléctrico, el cual dejó fuera de servicio a la bomba cloradora al momento del muestreo. Por otro lado, en la Figura 28 solo dos puntos de los doce se encuentran bajo el límite permitido.

Bajos niveles de cloro libre nos indican una desinfección deficiente durante la etapa de conducción y la posible formación de biopelículas bacterianas.

e) Turbidez

La turbiedad media mensual debe ser menor o igual a 2 UNT, obtenida como promedio aritmético de todas las muestras puntuales analizadas en el mes (Decreto Supremo 735, 1969).

De todas las muestras que se analicen mensualmente, la turbiedad puede superar el valor de 4 UNT en una muestra, cuando se hayan analizado menos de 20 muestras en el mes y en el 5% de las muestras, cuando se hayan analizado 20 o más muestras en el mes. También se destaca que ninguna muestra puede superar las 20 UNT (Decreto Supremo 735, 1969, p.9).

En la Figura 25 se presentan los resultados obtenidos mediante la recopilación de datos históricos recopilados del caudal de salida del estanque de almacenamiento del SSR. Por otro lado, en la figura 26 se presenta la revisión de campañas de muestreo realizadas por proyecto FONIS y resultados de campañas de muestreo realizadas por equipo FONIS en conjunto conmigo, la ubicación geográfica de los puntos de muestreo se puede observar en la figura 27.

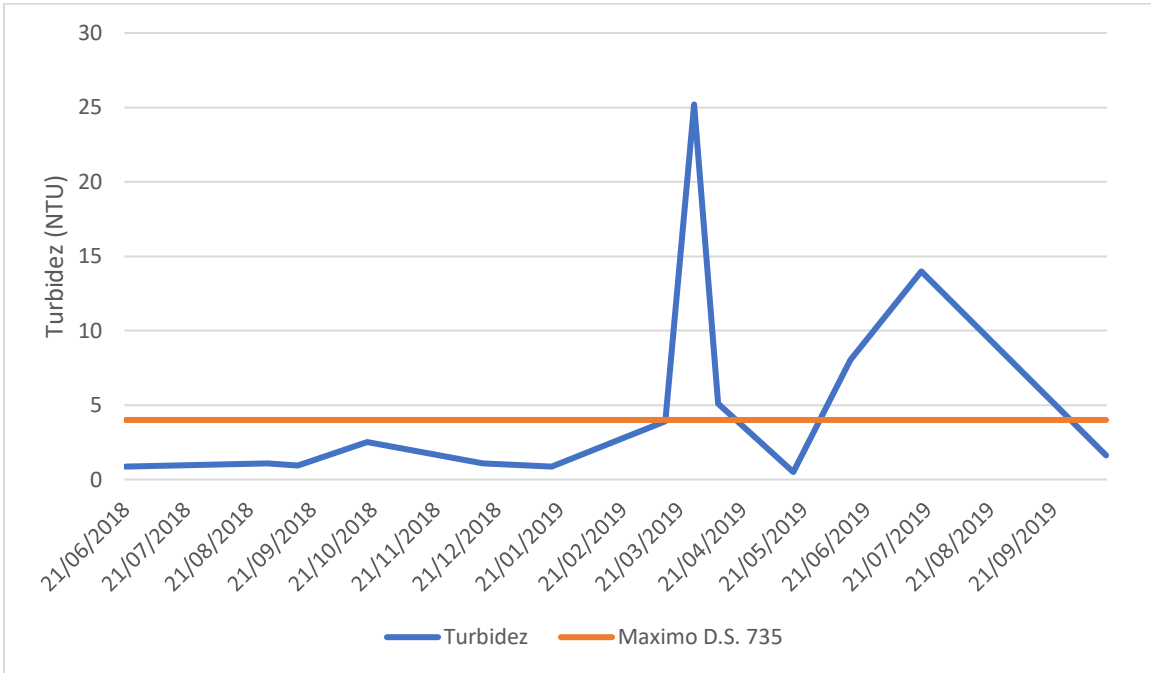


Figura 25. Turbidez mediante datos históricos durante el periodo 2018-2019.

Fuente: BIODIVERSA, (2018-2019)

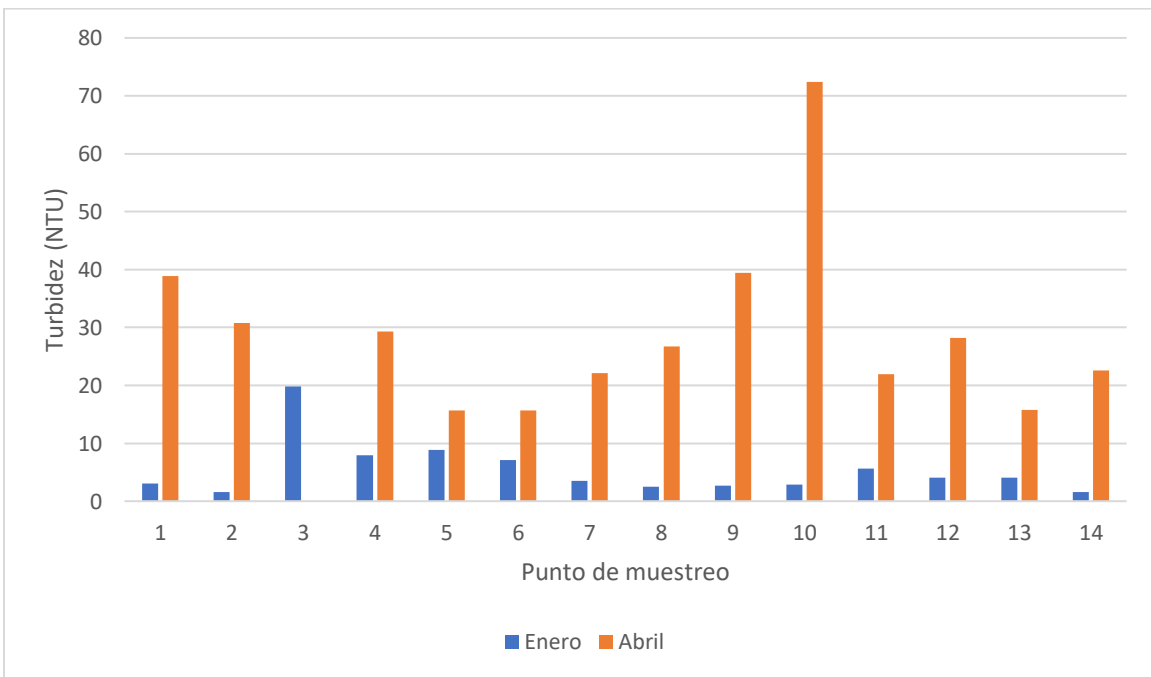


Figura 26. Turbidez obtenida mediante campañas de muestreo en verano y primavera 2022.

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2022) Universidad de Concepción y elaboración propia.

Al analizar la figura 24, se puede apreciar que la norma establecida se supera en 4 ocasiones. Por otro lado, al examinar la figura 30, se constata que la norma es superada en todos los puntos muestreados, obteniendo en el mes de enero una media aritmética de 5,35 UNT y en abril 27,12 UNT.

Elevados niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de cloro (Marcó, L. et al, 2004).

f) Coliformes Fecales y coliformes totales

Los coliformes fecales son bacterias causantes de diarreas y malestares estomacales leves. Si una muestra de agua contiene microorganismos indicadores es evidencia de contaminación y existe la posibilidad de que haya otros microorganismos patógenos en el agua (Tomasini Ortiz 2001).

El D.S. 735 dicta, que de todas las muestras que se analicen mensualmente en un servicio de agua potable destinada a consumo humano, deben estar exentas de *Escherichia coli*.

En los informes de calidad de agua, el cual se encuentra en el anexo 2, se señala la presencia de coliformes fecales y coliformes totales en dos oportunidades, estas corresponden a los muestreos realizados los días 14 y 28 de marzo del año 2019.

5.1.1.5 Percepción

A continuación, se muestran los resultados obtenidos mediante la revisión de instrumentos de consulta (Entrevistas). Estos fueron aplicados con la finalidad de conocer la percepción de la comunidad de Pehuén sobre el servicio entregado por el SSR.

Para los aspectos generales de la población muestreada y funcionamiento de PTAP se revisaron desde la pregunta 1 a la 28 (En el anexo 10 se pueden ver estas entrevistas).

5.1.1.5.1 Aspectos generales de la población muestreada PTAP

Tabla 15. Características generales de la población muestreada

Edad de la población			
Rango Etario	15-29	30-59	> 60
Frecuencia	-	-	-
Porcentaje	7,7%	58,1%	34,2%
Genero de la población			
Genero	Masculino		Femenino
Frecuencia			
Porcentaje	35,5%		64,5%
Pueblos originarios			
Pueblo originario	Ninguno	Mapuche	Otros
Frecuencia	99	56	-
Porcentaje	63,9%	36,1%	-
Viviendas por terreno			
Nº de viviendas	1	2	3 o mas
Frecuencia	137	15	3
Porcentaje	88,4%	9,7%	1,9%
Personas por vivienda			
Nº de personas	1-2	3-4	5-6
Frecuencia	50	80	25
Porcentaje	32,3%	51,6%	16,1%
Medidores por vivienda			
Nº de medidores	1		>1
Frecuencia	137		18
Porcentaje	88%		12%
Baños por vivienda			
Nº de baños	1	2	4
Frecuencia	121	32	2
Porcentaje	78,1%	20,6%	1,3%

Proyecto Fonis SA20I0142 (2022) Universidad de Concepción

En la Figura 27, se presenta la percepción de la comunidad acerca de la atención y respuesta oportuna a los requerimientos de la comunidad por parte del SSR.

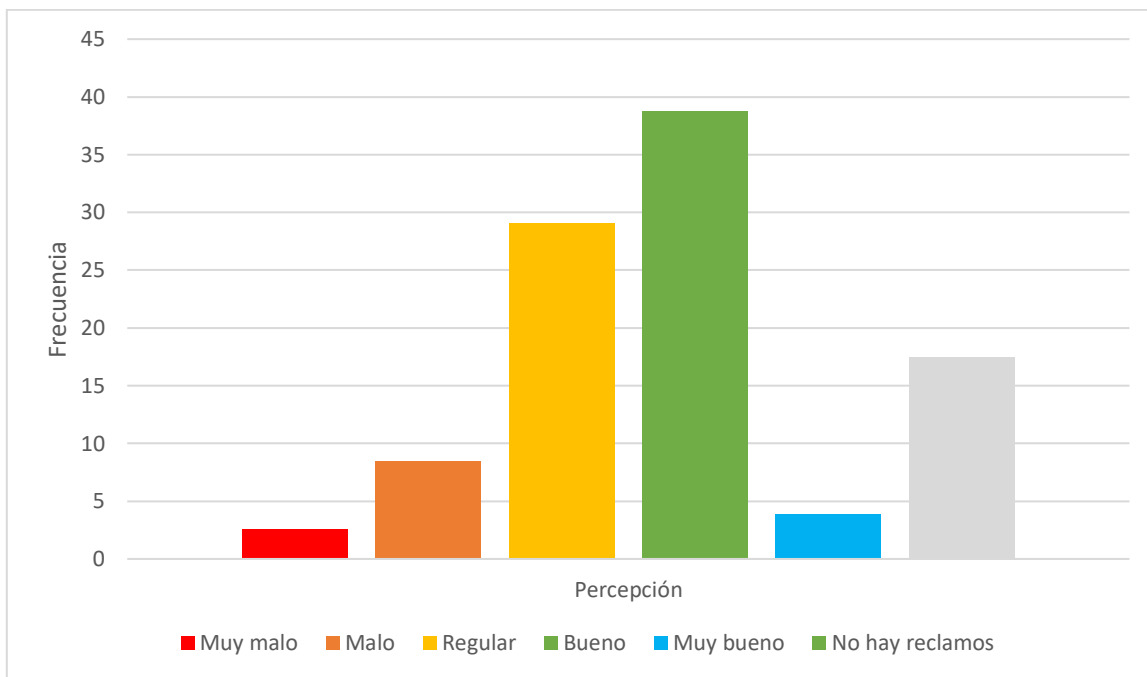


Figura 27. Percepción sobre atención y respuestas del SSR

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2022) Universidad de Concepción

Las fuentes o medios de comunicación con la cual la población se informa acerca de las novedades del SSR son mediante conversación con vecinos (20,6%), medio de comunicación escritos (3,2%), internet (1,9%), redes sociales (42,6%), asistencia a asambleas (7,1%), teléfono (5,8%), no se informan (10,3) y otras (8,5%). Un gran porcentaje se entera mediante conversaciones y redes sociales.

5.1.1.5.2 percepción sobre el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable

En el **anexo 11** se pueden observar con mayores detalles las respuestas entregadas por la población entrevistada.

Del uso que se le da al agua proporcionada por el SSR solo el 58,7% la utiliza para beber o alimentarse. Lo que demuestra una gran desconfianza por parte de la población.

El 77,42% de la población muestreada evalúa la calidad de agua entregada por el SSR como regular o buena.

En la Figura 28 se presentan los eventos en los cuales la población percibe turbidez, malos olores y mal sabor.

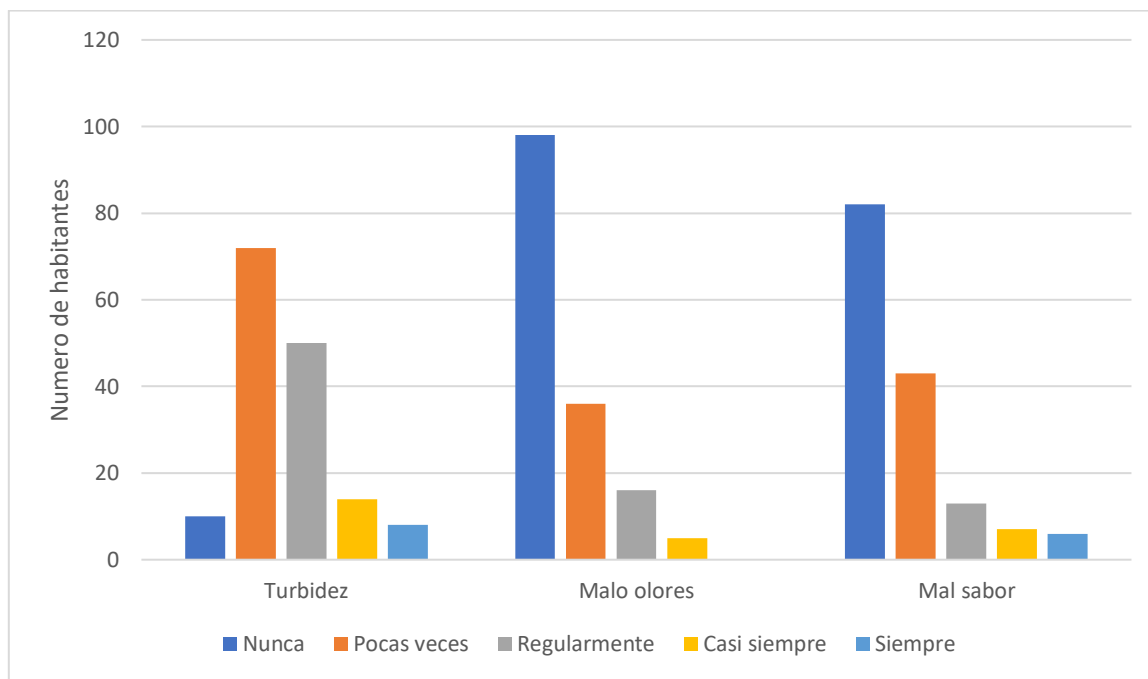


Figura 28. percepción de turbidez, malos olores y más sabor en el agua del SSR

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2022) Universidad de Concepción

En la Figura 27 se puede observar la percepción de turbidez, malos olores y mal sabor, estos datos pueden reflejar el por qué solo el 58,7% utiliza el agua para beber o alimentarse. Esta baja confianza en el SSR puede generar que la población utilice métodos adicionales.

Como métodos adicionales empleados por la comunidad antes del consumo del agua podemos encontrar Hervirla (47,74%), los demás emplean métodos como agregar cloro o lejía, colarla y filtros de agua. La utilización de estos métodos se debe en mayor medida a la desconfianza del SSR (41,77%) y a la presencia de eventos de turbiedad (21,52%).

Otro aspecto importante para tener en cuenta son los cortes de suministro, el 54,2% reporta tener casi nunca corte de agua, seguido por un 27,2% que dice tener cortes

regularmente. La duración de los cortes según el 82% como máximo un día y el método más utilizado para abastecerse de agua es guardar antes del corte.

El 65,81% dice nunca o casi nunca haber recibido información sobre el uso responsable del agua y solo el 7,1% afirma recibir siempre esta información.

5.1.2 Sistema de tratamiento de Aguas Servidas

5.1.2.1 Planta de Tratamiento de Aguas Servidas

El Sistema Sanitario Rural de la Comunidad de Pehuén cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) que opera mediante Biodiscos. Esta planta fue construida el año 2011 por la empresa DLC y entró en operación a partir del año 2012. Está diseñada para prestar el servicio a 2.000 personas o 300 familias.

El cuerpo receptor del efluente resultante de la PTAS es el Estero Yeneco, al cual llega mediante un canal.

5.1.2.1.1 Sistema de alcantarillado

El sistema de alcantarillado cuenta con 300 uniones domiciliarias. Estas se encuentran construidas en PVC y HDP, con diámetros para la red principal de entre 200mm a 180mm y para las uniones domiciliarias diámetros de 110mm.

El sistema cuenta con un total de 49 cámaras de inspección, pero se cree que pueden haber más (no se sabe el número total de cámaras de inspección).

5.1.2.1.2 Tratamiento primario y tratamiento secundario

En primera instancia el agua que entra por el afluente pasa por las rejillas de desbaste, las cuales se utilizan para evitar la acumulación de sólidos.

Luego se utiliza una cámara de separación de arenas y grasas, estas se encargan de separar los siguientes elementos:

- Bloques de grasas y aceites.

- Paños, pañales, géneros, telas y calcetines.
- Toallas húmedas.
- Animales.

Estos objetos al ser retirados del sistema se disponen en el camión municipal de la basura.

El tratamiento primario finaliza con un filtro rotatorio, el cual se encarga en mayor medida de la eliminación de partículas suspendidas.

Luego para el tratamiento secundario se emplea un sistema de biodiscos, los cuales son instalaciones que contienen una biopelícula que consume la materia orgánica presente en el agua del afluente y se encargan de reducir el contenido de materia orgánica (DBO y DQO).

5.1.2.1.3 Desinfección

El sistema de desinfección utilizado en la planta con hipoclorito de calcio. Este cuenta con un estanque de 150 litros que se recarga diariamente y se aplica mediante un dosificador automático. La concentración de cloro a la salida de la planta tiene que ser de 0,4 ml.

El cloro se compra con una frecuencia de una vez al año (10 tambores de 800 kg, para ambas plantas), el proveedor de cloro es la empresa INDEX.

5.1.2.1.4 Emisiones

a) Lodos

Al mes se producen aproximadamente 400 Kg de lodo, con un promedio de 13,5 Kg/día, estos se tratan con floculantes catiónicos luego se extraen de la planta mediante una bomba de extracción de lodos y son almacenados en una cancha de secado. Finalmente, son retirados de forma mensual por el camión de basura municipal y tiene como disposición final un lugar establecido por la Municipalidad de Lebu.

b) Agua residual

El medidor de caudal en el efluente no se encuentra operativo, pero se estima que el caudal de salida es de 183 m³/día, el cuerpo receptor es el Estero Yeneco y no se cuenta con ningún mecanismo para verificar su inocuidad.

5.1.2.1.5 Monitoreo del sistema

a) Caudales de entrada y salida

Los medidores de caudales no se encuentran funcionando desde hace 5 años, por lo tanto, no se tienen registros de flujo recientes.

b) Análisis de calidad de agua

Los análisis de calidad de aguas servidas se realizaron en el afluente (aguas servidas tratadas). Las muestras son tomadas por el operario de PTAS, se guardan en envases entregados por Biodiversa y transportadas en un cooler hacia el laboratorio correspondiente. Cabe destacar que estas muestras se miden dos veces al año.

Los parámetros analizados son:

- Oxígeno disuelto (OD)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Sólidos suspendidos volátiles (SSV)
- Nutrientes (Fosforo y nitrógeno)
- Aceites y grasas
- Bacteriológicos

c) Olores y vectores

La PTAS no cuenta con ningún sistema para el control o abatimiento de olores.

5.1.2.1.6 Mantenimiento del sistema

A continuación, en la Tabla 16 se presentan las características de las mantenciones del sistema, pasando por sus componentes, cada cuanto se realiza y quien las realiza.

Tabla 16. Mantenciones del sistema

COMPONENTE	FRECUENCIA DE MANTENCION	ENCARGADO DE LAS MANTENCIONES
Rejillas desbaste	Diario	Operario
Bombas	Mensual	Operario
Sedimentadores	Diario	Operario
Biodiscos	Mensual	Operario
Canchas de secado	Cada dos semanas	Operario
Tablero eléctrico	Cuando lo requiere	técnico externo

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2022) Universidad de Concepción

Cabe destacar que se requiere ayuda de externos en caso de tener problemas en los Biodiscos, como por ejemplo desgastes de pernos que puedan generar caídas. También se lubrican las bombas y motores cada cinco años.

Las actividades de mantención que es están bajo la responsabilidad del operario de PTAS son:

- Desmalezamiento de recintos
- Mantenimiento de cercos, casetas y otras infraestructuras
- Mantención de válvulas
- Limpieza de equipos dosificadores
- Calibración de equipos e instrumentos en la planta

Los repuestos e insumos con lo que cuenta el servicio son gasfitería (Tuberías, codos, coplas y PVC), Bombas sumergibles, guantes de cabritilla, hipoclorito de calcio para efluente, productos de limpieza para oficinas y floculantes para lodo. Los inventarios de stock de repuestos y manuales de instrucción los tiene el área de administración.

5.1.2.1.7 Gestión y situaciones de emergencia en el sistema

a) Gestión operacional

Se cuenta con dos manuales escritos los cuales se encuentran en la planta, el primero de ellos es un manual de operaciones, pero el operario indica que “no se ocupa ya que el operario de PTAS conoce muy bien el sistema” y el segundo es un manual de calibración de biodiscos el cual el operario indica si utilizar.

b) Gestión ante situaciones de emergencia y fallas técnicas

A continuación, en la Tabla 17 se señalan las principales fallas y emergencias que se han registrado impidiendo el correcto funcionamiento de la planta.

Tabla 17. Fallas y emergencias

EMERGENCIAS/ FALLAS	FRECUENCIA	PROTOCOLO/ MANUAL/INS TRUCTIVO	ENCARGADO	ACCIONES A TOMAR
Cortes de electricidad	Frecuente	No	Operario	Generador manual
Corte de cadena del biodisco	Puntual	No	Externo	
Rebalse por lluvias	Anual	No	Operario	Enviar agua al estanque biológico (Bombas)
Obstrucciones de alcantarillado	Frecuente	No	Operario	Operario desobstruye

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2022) Universidad de Concepción

5.1.2.1.8 Operario y su relación con el servicio

El operario de PTAS inicio su labor en el año 2012, como requisitos previos se le solicito conocimientos sobre electricidad y gasfitería. Antes de ingresar a este trabajo ya contaba con experiencia previa aprendiendo las labores de manera autodidacta.

Las funciones que realiza el operario de la planta son:

- Operación de la planta
- Mantención
- Toma de muestra de agua
- Limpieza de recinto

a) Seguridad ocupacional

Los operarios no perteneces a ninguna mutual de seguridad, en el caso de accidentes laborales se acude directamente a urgencias y se le avisa al Comité. En el caso de tener licencia el operario de PTAS es reemplazado por el operario de PTAP.

A continuación, en la Tabla 18 se presentan los EPP con los que cuenta el operario, su estado y la cantidad:

Tabla 18. Elementos de protección personal

ELEMENTO DE PROTECCION PERSONAL	TIENE SI/NO	CANTIDAD	ESTADO
Zapatos de seguridad	Sí	3	Normal
Arnés de seguridad	Sí	1	Normal
Estructuro o línea de vida	Sí	1	Normal
Overol	No	-	-
Botas de agua	Sí	1	Normal
Traje de lluvia	Sí	2	Normal
Guantes de goma	Sí	2	Normal
Guantes de cuero	Sí	2	Normal
Mascarillas	Sí	1 caja	Normal
Casco de seguridad	No	-	-
Antiparras	Sí	1	Normal
Cinta de peligro	No	-	-
Bloqueador solar	Sí	1	Normal
Pechera lavable	No	-	-
Chaleco reflectante	Sí	1	Normal
Tapones auditivos	No	-	-

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2022) Universidad de Concepción

En lo que corresponde a salud y bienestar, el operario no ha recibido ningún tipo de vacuna.

Tampoco cuenta con capacitaciones y asesorías, la última que recibió fue en el año 2012 cuando se inauguró la planta, esta fue una charla sobre enfermedades infecciosas.

5.1.2.1.9 Normativa

El operario conoce la normativa de que las aguas deben salir cloradas y desinfectadas por el efluente.

La planta recibe visitas por parte de Seremi de Salud tres veces al año con la finalidad de tomar muestras. También recibe visitas de la municipalidad en casos puntuales.

5.1.2.2 Calidad del agua en afluente y efluente

Los resultados para calidad de agua potable se pueden observar con mayor detalle en los anexos 13, 14, 15, 16 y 17.

5.1.2.2.1 Parámetros In-Situ

A continuación, en la Tabla 19 se presentan los resultados obtenidos para pH, conductividad y temperatura en el afluente y efluente durante las campañas de muestreo realizadas por el equipo Fonis durante las campañas de muestreo de primavera e invierno PTAS.

Tabla 19. Parámetros In-Situ PTAS en primavera

Fecha	Muestra	pH	Conductividad (μS/cm)	Temperatura (°C)
Invierno (21/07/2022)	Afluente	8,11	829	12,8
	Efluente	7,17	1220	12,2
Primavera (04/11/2021)	Afluente	7,86	928	14,5
	Efluente	7,95	651	15,4

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2021) Universidad de Concepción

Los límites establecidos por el DS 90/2001 para a la descarga de residuos líquidos a cuerpos fluviales para pH y temperatura son los siguientes:

- pH: 6-8,5
- Temperatura: 35°C

Como se puede observar estos parámetros en el afluente y efluente tanto para invierno como para primavera se encuentran dentro de lo establecido por DS 90/2001.

5.1.2.2.2 Parámetros fisicoquímicos en afluente y efluente.

A continuación, en las Tablas 20 y 21, se presentan los resultados obtenidos para los parámetros fisicoquímicos en el afluente y efluente durante las campañas de muestreo de invierno (21/07/2021) y primavera (04/11/2021).

Tabla 20. Parámetros fisicoquímicos PTAS durante el invierno (21/07/2021)

PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR EFLUENTE	VALOR AFLUENTE	MAX D.S. 90/2001
DBO ₅	mgO ₂ /L	405,4	57,2	35
DQO	mgO ₂ /L	1280	135	-
Fosforo total	mg/L	12,6	13,63	10
Grasas y aceites	mg/L	31,9	<2,0	20
Hidrocarburos fijos	mg/L	144,0	<10,0	10
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	124,48	71,9	50
Poder espumógeno	mm	10	17	7

Solidos suspendidos totales	mg/L	990	28,4	80
-----------------------------	------	-----	------	----

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2021) Universidad de Concepción

Tabla 21. Parámetros fisicoquímicos PTAS durante la primavera (04/11/2021).

PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR EFLUENTE	VALOR AFLUENTE	MAX D.S. 90/2001
DBO ₅	mgO ₂ /L	635	<2,0	35
DQO	mgO ₂ /L	852	28	-
Fosforo total	mg/L	9,67	2,88	10
Grasas y aceites	mg/L	61,7	<2,0	20
Hidrocarburos fijos	mg/L	<10,0	<10,0	10
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	78,47	30,43	50
Poder espumógeno	mm	32	<2,0	7
Solidos suspendidos totales	mg/L	448	6,8	80

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2021) Universidad de Concepción

a) DBO₅

La demanda bioquímica de oxígenos, DBO, se define como la cantidad de oxígeno usado por los microorganismos no fotosintéticos a una temperatura de 20°C, para metabolizar los compuestos orgánicos degradables biológicamente (Osorio and Peña 2014).

El DBO₅ corresponde al DBO a los 5 días a una temperatura de 20°C (DS 2090/2001).

Como se puede observar en la Tabla X, se supera la norma en las mediciones realizadas durante el invierno. Cabe destacar que altos niveles de DBO en el agua conlleva a un alto consumo de oxígeno, pudiendo matar a la fauna acuática por asfixia.

b) DQO

La Demanda Química de Oxígeno, DQO, corresponde a la cantidad de oxígeno requerida para oxidar completamente por medios químicos los compuestos orgánicos a CO₂ y H₂O (Osorio and Peña 2014).

Como se puede observar en la Tabla X, no se supera la norma en ninguna de las mediciones.

c) Fosforo total

El fosforo en las aguas servidas se puede presentar combinado con materia orgánica, proteínas y aminoácidos (polifosfatos) o también en forma inorgánica como ortofosfato, donde aproximadamente el 70% se encuentra como P inorgánico y el 30% como P orgánico (Valsami-Jone, 2004).

Como se puede observar en la Tabla X, se supera la norma durante las campañas de muestreo de invierno.

d) Grasas y aceites

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos por ácidos grasos de origen animal y vegetal, como también por hidrocarburos derivados del petróleo. Una de sus características principales es son uno de los componentes de las aguas residuales con más tendencia a oxidarse.

Como se puede observar en la Tabla X, no se supera la norma en ninguna de las mediciones.

e) Hidrocarburos fijos

No se supera la norma establecida para hidrocarburos fijos.

f) Nitrógeno Total Kjeldahl

se supera la norma establecida para Nitrógeno Total Kjeldahl durante las campañas de muestreo de invierno.

g) Poder espumógeno

se supera la norma establecida para poder espumógeno durante las campañas de muestreo de invierno.

h) Sólidos Suspendidos Totales

No se supera la norma establecida para hidrocarburos fijos.

5.1.2.2.3 Parámetros microbiológicos

En las Tablas 22 y 23 se pueden observar los resultados obtenidos para coliformes fecales y coliformes totales durante las campañas de muestreo de invierno y primavera respectivamente.

Tabla 22. Coliformes fecales durante campañas de muestreo

FECHA	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR AFLUENTE	VALOR EFLUENTE
Invierno	Coliformes	NMP/100L	92×10^5	<1,8
Primavera	Fecales	NMP/100L	$1,6 \times 10^6$	<1,8

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2021) Universidad de Concepción

Tabla 23. Coliformes totales durante campañas de muestreo

FECHA	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR AFLUENTE	VALOR EFLUENTE
Invierno	Coliformes	NMP/100L	>1.600	<1,8
Primavera	Fecales	NMP/100L	$>1,6 \times 10^6$	<1,8

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2021) Universidad de Concepción

El máximo permitido por el DS 90/2001 para a la descarga de residuos líquidos a cuerpos fluviales para coliformes es de 1000 NMP/100L, para coliformes totales no se especifica.

5.1.2.3 Percepción

A continuación, se muestran los resultados obtenidos mediante la revisión de instrumentos de consultas aplicados a la comunidad con la finalidad de conocer la percepción de esta hacia el servicio entregado por el SSR. Cabe destacar que estas entrevistas fueron realizadas por proyecto Fonis durante el verano del año 2021-2022.

5.1.2.3.1 Aspectos generales de la población muestreada PTAS

En la figura 29, se presenta un análisis de los diferentes sistemas de eliminación de excretas utilizados en la localidad, junto con el porcentaje de la población que los emplea.

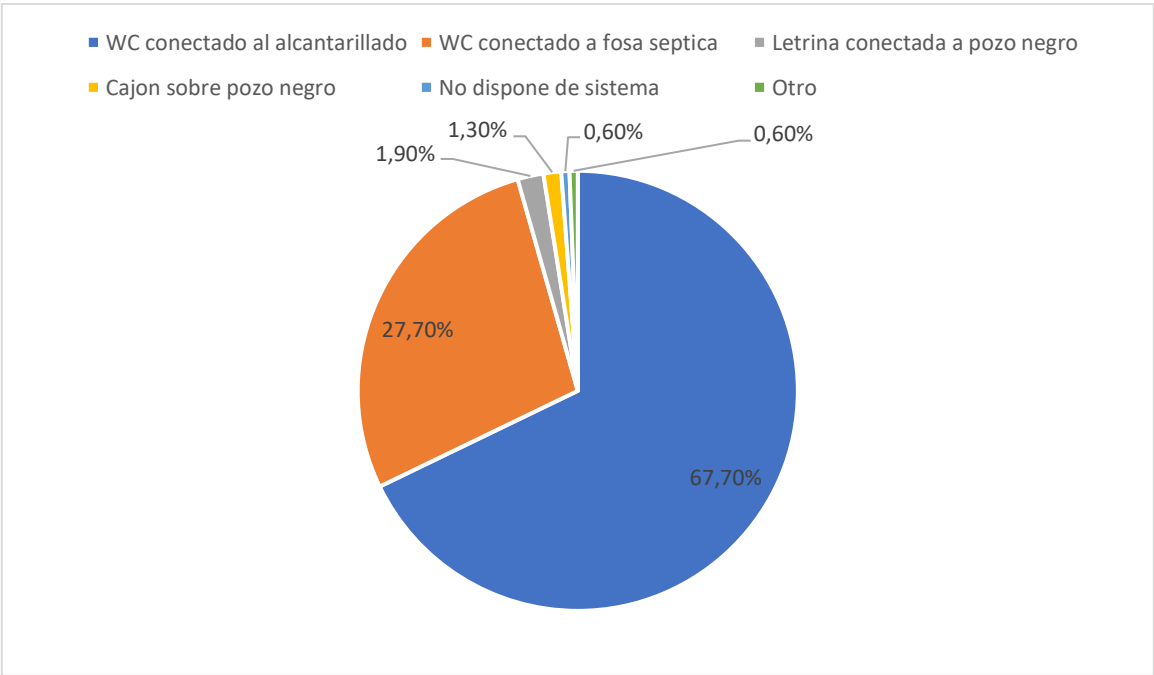


Figura 29. Sistema de eliminación de excretas utilizado

Fuente: Proyecto Fonis SA20I0142 (2021-2022) Universidad de Concepción

Como se observa en la Figura 29, el 67,7% de la población está conectada a la red de alcantarillado del SSR. De igual manera, el 27,7% de la población cuenta con un sistema de fosa séptica para el tratamiento de excretas. Finalmente se identifica que el 4,4% de la población no dispone de ningún sistema de tratamiento.

En lo correspondiente a la frecuencia de mantención del sistema de excretas, solo se tiene información de 38 personas, ya que son menos los casos en que los encuestados no cuentan con alcantarillado. Los resultados muestran que, en la mayoría de los casos, la mantención de los sistemas de eliminación de excretas se realiza pocas veces (17 menciones), donde en 7 casos los encuestados contratan una empresa de mantención y en 6 casos lo realizan ellos mismos. En segundo lugar, hay 14 casos en los que se realiza mantención regularmente, en 8 casos el/la responsable es una empresa de mantención que el/la encuestada contrata y hay 5 menciones a que la mantención la hacen ellos mismos (Proyecto Fonis SA20I0142, 2021).

5.1.2.3.2 Percepción sobre el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas servidas.

En lo correspondiente al sistema de alcantarillado, la mayoría de las personas en la localidad de Pehuén nunca ha tenido desbordes o rebalses en su sistema de eliminación de excretas, correspondiente a 125 de los 155 casos que componen la muestra, mientras que 13 encuestados dan cuenta que tiene desbordes a veces, 8 casos frecuentemente y en 8 casos siempre tienen rebalses (Proyecto Fonis SA20I0142, 2021).

Según la información proporcionada, por 29 personas que sufren desbordes de aguas servidas, 23 de ellas han reportado que estos desbordes ocurren dentro de sus casas. Dentro de las observaciones, las personas mencionan que es el agua de las lavadoras que hace que se rebalse dentro y fuera de las casas sus sistemas de eliminación de excretas (Proyecto Fonis SA20I0142, 2021). Según la información adicional, los otros desbordes de aguas servidas se presentan en sitios vecinos, en la calle y otros lugares.

En lo correspondiente a la época en la cual se presentan estos desbordes, según los datos recopilados de los 29 encuestados que sufren de estos, se observa que 24 de ellos indicaron que los desbordes de aguas servidas son mas frecuentes durante el invierno, mientras que 5 personas señalaron que estos ocurren durante el verano. En cuanto a las observaciones a esta pregunta, las personas encuestadas, específicamente habitantes del sector Villa La Esperanza, mencionaron que los desbordes son durante todo el año, pero se intensifican en invierno (Proyecto Fonis SA20I0142, 2021).

Estos rebalses según 13 de los encuestados ocurren debido a la obstrucción del sistema de alcantarillado, 12 indican que se debe a la mala evacuación de las aguas lluvias, 1 al uso incorrecto del sistema de alcantarillado y 2 personas precisan que esto ocurre al drenaje de fosas en zonas donde no hay servicio de alcantarillado.

5.2 Determinación peligros y eventos peligrosos

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en la determinación de peligros y eventos peligrosos para los sistemas de tratamiento de agua potable y aguas servidas, en cada uno de sus componentes. Estos resultados se obtuvieron mediante el análisis de la información recopilada en la sección 5.1

5.2.1 Sistema de tratamiento de agua potable

A continuación, en la tabla 24 se presentan los resultados de la identificación de eventos peligroso y peligros para el sistema de tratamiento de agua potable. En total se identificaron 62 eventos peligrosos con 98 peligros asociados. Cada evento peligroso se clasificó según su origen siendo D: Diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: Factores externos. Asimismo, los peligros fueron clasificados en categorías las cuales son B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: infraestructura, C: asociado a la cantidad de agua y G: gestión.

Tabla 24. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de agua potable en el SSR de Pehuén

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PELIGRO ASOCIADO	ORIGEN EVENTO PELIGROSO					CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO						
			D	O	M	E	E	B	Q	F	R	I	C	G
CUENCA	Cambio de uso de suelo	Alteración de la calidad del agua	E										B, Q, C	
		Disminución del volumen del agua												
	Geología	Alteración de la calidad de agua	E											Q
		Aumento sostenido de los niveles de hierro y/o manganeso												
	Disminución de precipitaciones / sequía	Disminución del volumen del agua	E											C, B, Q
		Variaciones en la calidad del agua												
	Eventos extremos de precipitación	Contaminación del agua por arrastre de sedimentos	E, EM											B, Q
		Aumento en la turbidez												
	Aumento en la urbanización	Aumento en la demanda en el servicio	E											C, Q, B
		Contaminación del agua por escorrentía (Ej.: Lavado de calles, presencia de aceites, grasas, entre otros)												
	Microbasurales	Contaminación del agua y suelo (Infiltración)	E											B, Q
		Presencia de vectores												
	Plantación y explotación forestal	Disminución del volumen del agua	E											C, I, Q, B
		Ocurrencia de incendios												
Contaminación por agroquímicos, fertilizantes químicos y biológicos (Aero fumigación)														
Aumento en la turbidez y alteración del pH del agua.														

Origen evento peligroso: D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: factores externos;
Clasificación del peligro: B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: infraestructura y C: asociado a la cantidad de agua y G: Gestión.

Tabla 24. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de agua potable en el SSR de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PELIGRO ASOCIADO	ORIGEN EVENTO PELIGROSO					CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO						
			D	O	M	EM	E	B	Q	F	R	I	C	G
CAPTACIÓN GORGOLÉN	Presencia de basura en riberas del estero	Presencia de vectores	E									B, Q, I		
		Contaminación del agua												
		Ocurrencia de incendios												
	Uso recreativo en la zona	Exposición a agentes patógenos	E										B, Q	
		Contaminación del agua por residuos												
	Presencia de animales (Patos, ganado, perros y otros)	Contaminación del agua por patógenos	E										B	
Crecidas del estero	Daños en la infraestructura (Ej.: Inundación de la caseta eléctrica)	E										I		
CAPTACIÓN PEHUÉN	Presencia de ganado en el sector	Contaminación del agua	E										B, I	
		Daño en la infraestructura												
	Infraestructura deteriorada (Oxidación)	Contaminación del agua	M											B, Q, I, C
		Fisuras/rupturas en la infraestructura												
		Fugas de agua												
	Zona de captación sin cerco/ muro	Daños en la infraestructura por vandalismo o acto malicioso	D, E											I, B, Q
Contaminación del agua y daño a la infraestructura por acceso de terceros y/o animales.														
Pozo de la captación descubierto	Contaminación del agua	D, M										B, Q		
TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN	Filtro floculodecantador sin operar (No hay floculodecantador)	Presencia de hierro en el agua potable	O										Q	

Origen evento peligroso: D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: factores externos;
Clasificación del peligro: B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: infraestructura y C: asociado a la cantidad de agua y G: Gestión.

Tabla 24. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de agua potable en el SSR de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PELIGRO ASOCIADO	ORIGEN EVENTO PELIGROSO					CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO				
			D	O	M	EM	E	B	Q	F	R	I
TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN	Filtro de turbidez nuevo sin operar	Presencia de turbidez en el agua potable	O					B, Q				
	Cerco perimetral del recinto abierto	Daños en la infraestructura por acceso de terceros y/o animales al recinto.	D, O					I				
	Presencia de basura y escombros en el recinto	Presencia de vectores	M					B, Q, F				
	Tuberías al descubierto	Daños/fugas y fisuras en la tubería	D					I, C				
	Presencia de ganado en el recinto	Contaminación del agua	O, E					B, I				
		Daños en la infraestructura										
	Falla en el sistema de bombeo	Interrupción del suministro de agua	O, M, EM					C				
	Desprogramación del equipo clorador por cortes frecuentes de luz	Interrupción en la desinfección del agua.	O, M					B				
	Obstrucción de la manguera dosificadora	Interrupción de la desinfección del agua	M					B				
	Falla en el sistema de dosificación de cloro	Agua potable con concentración de cloro sobre o bajo la norma	M, EM					B, Q				
Ausencia de cuadernos de registros operacionales (Filtros, dosificadores de cloro, etc.)	Respuesta o procedimiento incorrecto ante una falla/emergencia ocurrida en la planta	O					G					
ALMACENAMIENTO DEL AGUA	Estanque de almacenamiento presenta corrosión y oxidación	Contaminación del agua	M					Q, I, C				
		Mayor probabilidad de agrietamiento y fugas										

Origen evento peligroso: D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: factores externos;
Clasificación del peligro: B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: infraestructura y C: asociado a la cantidad de agua y G: Gestión.

Tabla 24. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de agua potable en el SSR de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PELIGRO ASOCIADO	ORIGEN EVENTO PELIGROSO					CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO									
			D	O	M	EM	E	B	Q	F	R	I	C	G			
ALMACENAMIENTO DEL AGUA	Falta periodicidad en la mantención y limpieza del estanque de almacenamiento	Contaminación del agua por biopelículas y acumulación de sólidos			M							B	Q				
	Medidores de presión en mal estado	Ausencia de información relevante			M									I	G		
	Ausencia o mal estado de medidor de caudal	Ausencia de información relevante			D, M										I	G	
REDES DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN	Filtración y/o roturas de la red	Fluctuación de presión															
		Contaminación por agentes biológicos y/o físicos			D, EM, E								B	Q, I, C			
	Realización de obras civiles cercanas a la red	Ausencia de agua por cortes programados o rupturas de la red			E											C	
	Vandalismo	Daños en las redes			E											I	
	Conexiones anexas del usuario no registrada	Fluctuación de presión				E											B, Q, C
		Contaminación en el agua				E											B, Q, C
	Disminución de presión en temporada estival	Acceso al agua en un volumen insuficiente			D, E											C	
	Rebalses frecuentes de fosas sépticas en población villa esperanza	Contaminación del agua potable de la red de distribución				E											B, F
		Efectos en la salud y bienestar de la comunidad				E											B, F
Evento no identificado* (Caso puntual año 2019)	Presencia de coliformes fecales en agua potable				D, O											B	

Origen evento peligroso: D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: factores externos;
Clasificación del peligro: B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: infraestructura y C: asociado a la cantidad de agua y G: Gestión.

Tabla 24. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de agua potable en el SSR de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PELIGRO ASOCIADO	ORIGEN EVENTO PELIGROSO					CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO						
			D	O	M	EM	E	B	Q	F	R	I	C	G
REDES DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN	Aumento de hierro en agua cruda (Sobre lo permitido en DS735)	Efectos organolépticos indeseados	O, E										Q, I, G	
		Daños en la infraestructura de la población abastecida												
		Acumulación en tuberías de la red												
		Sumario sanitario												
	Niveles de turbidez elevados	Disminución de cloro en agua potable	D, O, E											Q, B
		Efectos en la salud y bienestar de la población abastecida												
	Tuberías al descubierto	Daños/fugas y fisuras en la tubería	D											
Ausencias de mediciones de presión mínimas y máximas en la red	Falta de información relevante	O												G
USUARIOS	Percepción frecuente de turbidez en invierno	Desconfianza del servicio	D, E											F, G
		Gastos en fuentes de agua alternativas (Ej.: Botellas de agua mineral)												
		Efecto en la calidad de vida												
	Uso de tratamiento adicional en el agua (Ej.: Cloración)	Consumo de agua con sobre dosificación de cloro	E											Q
	Cortes de suministro no programados	Interrupción del acceso al servicio	EM											C
	Medidores en mal estado (Cobros incorrectos)	Lectura de consumo inadecuado	M											I
	Uso de punteras y pozos norias para riego de jardín, huertas y lavado de ropa	contaminación de agua de consumo	E											
Consumo de alimentos posiblemente contaminados														

Origen evento peligroso: D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: factores externos;
Clasificación del peligro: B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: infraestructura y C: asociado a la cantidad de agua y G: Gestión.

Tabla 24. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de agua potable en el SSR de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PELIGRO ASOCIADO	ORIGEN EVENTO PELIGROSO					CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO						
			D	O	M	E	M	B	Q	F	R	I	C	G
USUARIOS	Caso de diagnóstico de enfermedades gastrointestinales	Desconfianza de la inocuidad del servicio				EM							G	
	Conexiones domiciliarias en mal estado	Falla en las lecturas de agua				M, E							I, G	
		Contaminación del agua												
	Filtraciones y/o fugas de agua en la infraestructura	Pérdida de agua				M							C	
MANTENCIÓN DEL SISTEMA	Ausencia de registro de mantenencias realizadas	Respuesta o procedimiento incorrecto ante una falla/emergencia ocurrida en la planta				M							G	
	Mantenimiento poco frecuente del estanque de almacenamiento	Contaminación del agua				M							B, Q	
	Falta de mantenimiento en tableros eléctricos	Aumento de la frecuencia de cortes de suministro					M							C, F
		Ocurrencia de siniestros												
		Efecto en la salud de los trabajadores												
OPERACIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA	Falta de seguimiento en otros parámetros de calidad de agua potable relevantes (Ej.: Hierro y turbidez)	Respuesta o procedimiento incorrecto ante una falla/emergencia ocurrida en la planta				O							G, Q, B	
		Parámetros fuera de lo normado												
	Proyectos inmobiliarios en la localidad	Aumento de la demanda del servicio												
Intervención en la matriz por obras de construcción (Ej.: Roturas)						E							C, I	

Origen evento peligroso: D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: factores externos;
Clasificación del peligro: B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: infraestructura y C: asociado a la cantidad de agua y G: Gestión.

Tabla 24. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de agua potable en el SSR de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PELIGRO ASOCIADO	ORIGEN EVENTO PELIGROSO					CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO				
			D	O	M	EM	E	B	Q	F	R	I
OPERACIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA	Ausencia de protocolos y procedimientos operacionales de emergencias y frente a desastres naturales	Respuesta o procedimiento incorrecto ante una falla/emergencia ocurrida en la planta	O, EM					I, C, G				
		Perdida de infraestructura										
		Interrupción del servicio										
	Ausencia de generadores ante cortes de suministro eléctrico (Frecuente)	Interrupción del servicio	D, EM					C, B				
Desprogramación del equipo dosificador de cloro												
ADMINISTRACIÓN DEL SERVICIO	Falta de recursos económicos para mejoramientos y compra de actualización de equipos	Deficiencia operacional del sistema	O, M					G				
	Ausencia de registros de reclamos y eventos por usuarios afectados	Deficiencia operacional del sistema	O					G				
	Falta de herramientas y capacitación para la implementación de la ley 20.998	Falta en el cumplimiento de la Normativa asociada a la Ley 20.998	O					G				

Origen evento peligroso: D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: factores externos;
Clasificación del peligro: B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: infraestructura y C: asociado a la cantidad de agua y G: Gestión.

Tabla 24. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de agua potable en el SSR de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PELIGRO ASOCIADO	ORIGEN EVENTO PELIGROSO					CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO						
			D	O	M	E M	E	B	Q	F	R	I	C	G
SEGURIDAD Y SALUD OPERACIONAL	Limpieza de estanques a alto nivel	Caídas de alto nivel			M									F
	Manipulación de desinfectantes sin EPP adecuados	Intoxicación y/o irritación por agente desinfectante en trabajador/trabajadora			O									F
	Falta de disponibilidad a servicios higiénicos en instalaciones de la PTAS	Incumplimiento a Normativa D.S. 594 (Condiciones sanitarias básicas)			O									G

Origen evento peligroso: D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: factores externos; **Clasificación del peligro:** B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: infraestructura y C: asociado a la cantidad de agua y G: Gestión.

Fuente: Elaboración propia basado en datos recopilados de Fonis (2019-2022), Biodiversa (2021-2022) y salidas a terreno.

En la figura 30 se presenta el porcentaje de eventos peligrosos identificados por cada componente. Los componentes en cuales más eventos peligrosos se identificaron corresponden a tratamiento y desinfección junto con redes de conducción y distribución, presentando cada uno 11 eventos peligrosos (17,5%). En tratamiento y desinfección los problemas se originan debido a problemas de operación y en infraestructura, por otro lado, en conducción y distribución los problemas se originan debido a factores externos al sistema.

También cabe destacar los eventos peligrosos identificados en las captaciones, las cuales representan al 12,7% del total (Captación Gorgolén + Pehuén). Si bien las problemáticas que afectan a las captaciones son distintas debido al tipo de captación, en ambas se deben a la infraestructura y a la falta de información sobre el correcto uso del sistema.

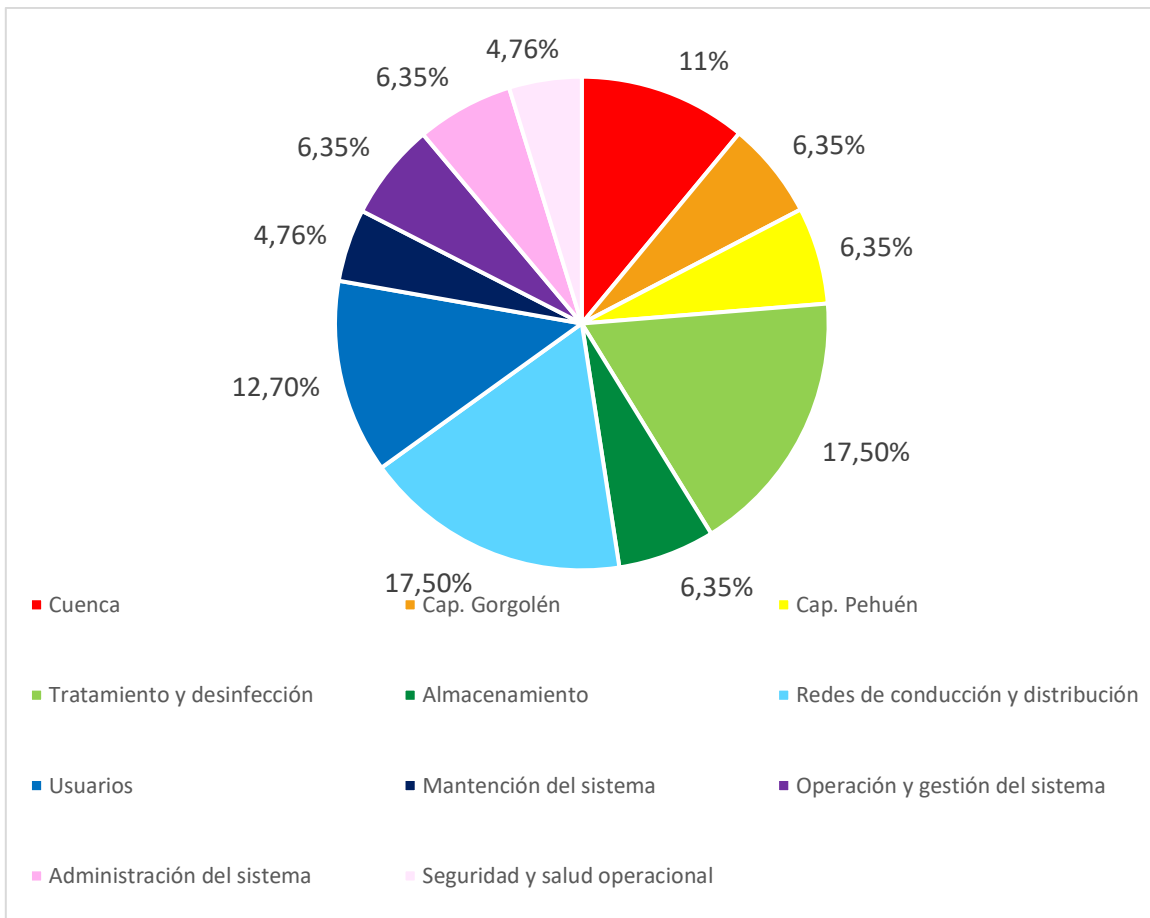


Figura 30. Porcentaje de eventos peligrosos por componentes del sistema de tratamiento de agua potable

Fuente: Elaboración propia

En la figura 31, se presenta el porcentaje de origen de los eventos peligrosos. Como se puede observar, el más alto corresponde a factores externos, presentando un 32,15% del total. Esta problemática se debe a diversos factores, siendo los principales climáticos (sequía y eventos extremos de precipitación), erosión de los suelos, obras civiles cercanas y falta de información sobre el correcto uso de las instalaciones.

También cabe destacar a aquellos cuyo origen es el mantenimiento, los cuales presentan un 22,62% del total. Se evidencia falta de mantención en tableros eléctricos, estanques de almacenamiento, medidores (Caudal y presión) y

dosificadores de cloro, por lo tanto, es necesario la realización de mantenciones preventivas, con la finalidad de evitar problemas a futuro y no sólo actuar cuando se presentan fallas.

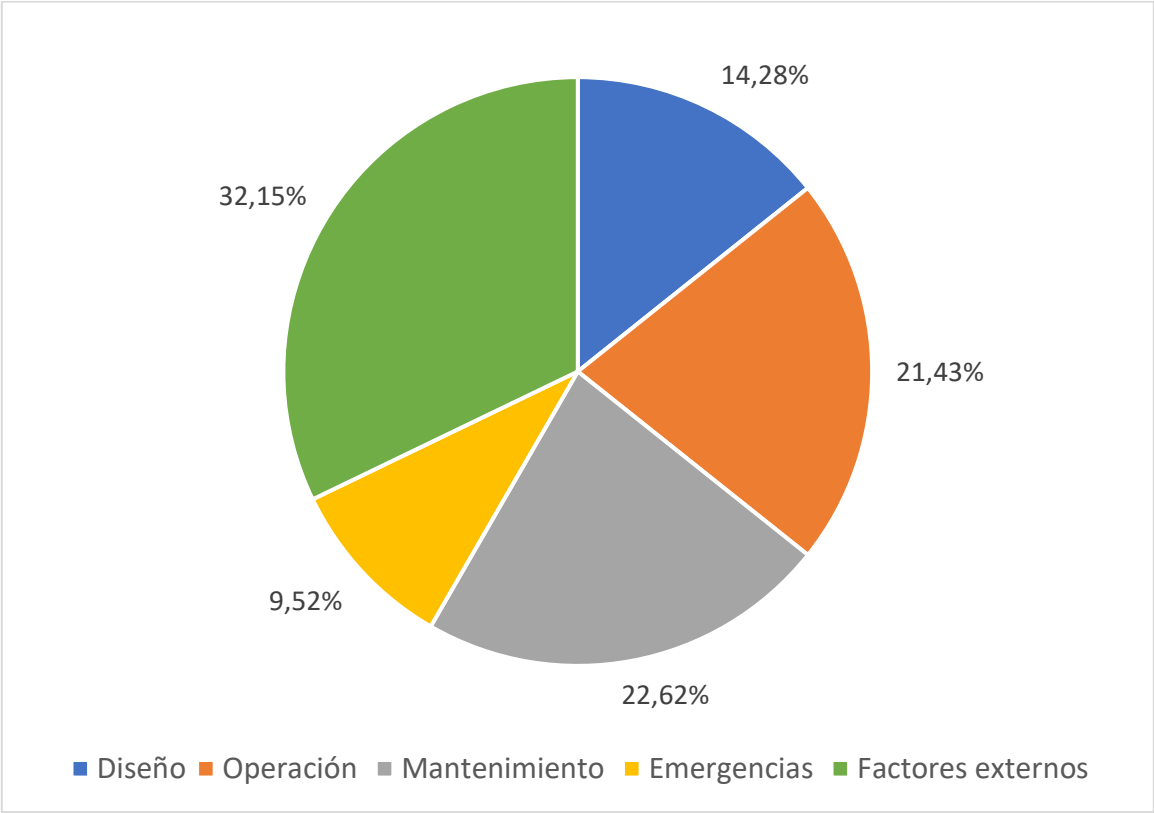


Figura 31. Porcentaje del origen de los eventos peligrosos en sistema de tratamiento de agua potable

Fuente: Elaboración propia

En la figura 32, se indica el porcentaje de la clasificación del peligro. Como se puede observar, el más alto corresponde a los de origen biológico los cuales representan al 25,7% del total. Esto se debe en gran parte a que los eventos peligrosos identificados tienen como resultado la proliferación bacteriana, ya sea por fallas en la etapa de desinfección o la entrada de estas al sistema.

Por otro lado, los peligros químicos tienen una alta prevalencia, representando al 23% del total. Si bien el origen de estos es bastante similar a los biológicos (rupturas

en redes y mal uso de instalaciones), estos también se deben a la presencia de corrosión y óxido.

Por lo tanto, para ambos es necesario tomar acciones como evitar dejar tuberías al descubierto, mantener las zonas cercanas a captaciones e instalaciones libres de basura, reemplazo de infraestructura dañada (rupturas, oxido y corrosión), chequeos constantes a los dosificadores y mantener los filtros operativos.

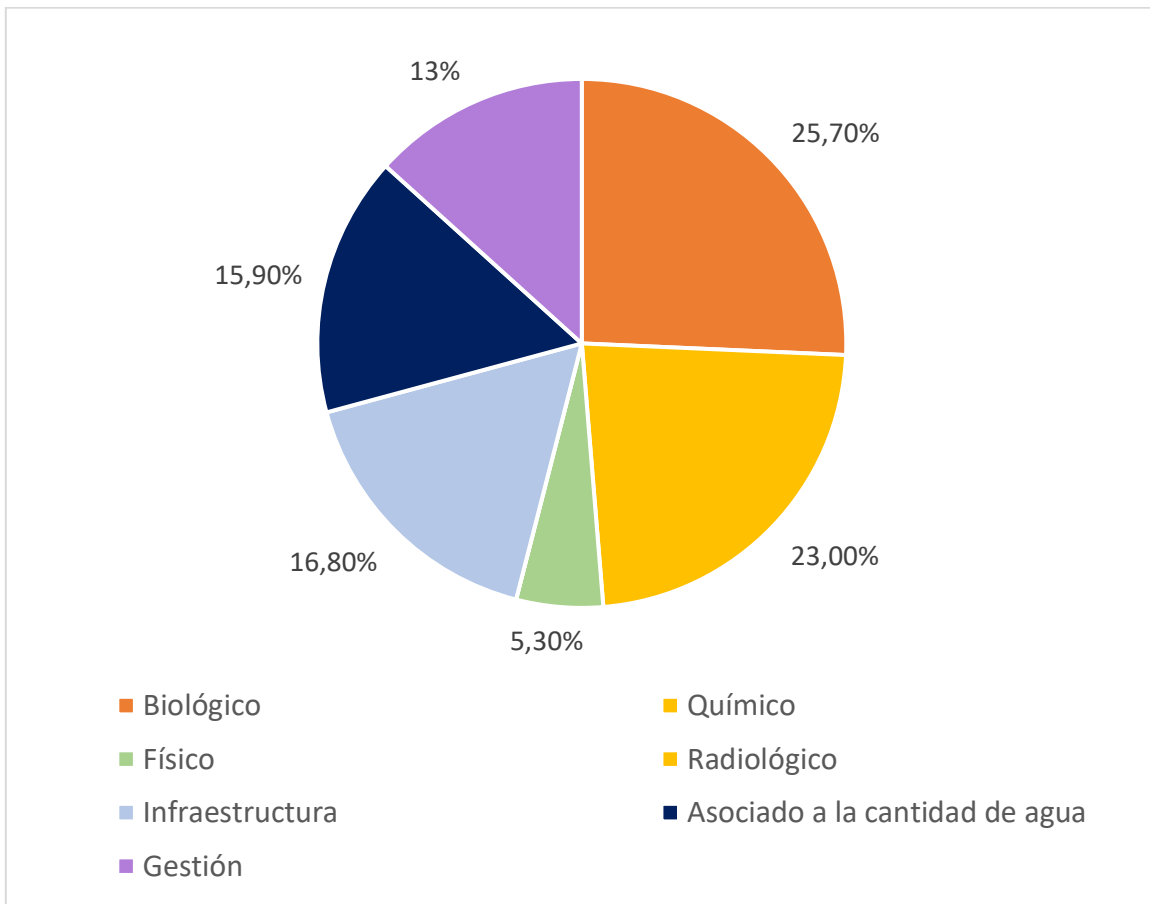


Figura 32. Porcentaje de la clasificación del peligro en sistema de tratamiento de agua potable

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Sistema de tratamiento de aguas servidas

En la Tabla 25, se puede observar la identificación de eventos peligrosos y peligros asociados a cada uno de los 11 componentes del sistema de tratamiento de aguas servidas, también se muestra el origen del evento peligroso y la clasificación del peligro.

Tabla 25. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de aguas servidas en el SSR de Pehuén

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PELIGRO ASOCIADO	ORIGEN DEL EVENTO PELIGROSO					CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO				
			D	O	M	EM	E	B	Q	F	R	I
USUARIOS	Disposición de objetos obstructivos por el sistema de excreta	Roturas y obstrucción de matriz	E					I, B				
		Desborde de AS										
	Percepción de olores provenientes de la PTAS (Viviendas cercanas a la PTAS)	Consecuencias en la salud y bienestar de la población	O					F, B				
		Aumento de la presencia de vectores										
	Desbordes e inundaciones frecuentes en la población villa esperanza (136 viviendas a 500 m de la PTAS)	Aumento en la presencia de vectores	D					B, F				
		Efectos en la salud de la población										
		Emanación de olores										
		Contaminación cruzada en redes de agua potable										
	Uso de lodos deshidratados sin autorización sanitaria (D.S. 4, MINSAL) proveniente de la PTAS para hortalizas (vecinos)	Posible consumo de hortalizas contaminadas	O					B				
	Presencia de vectores en sectores cercanos a la PTAS	Exposición a enfermedades	M					B				

Origen evento peligroso: D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: factores externos;
Clasificación del peligro: B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: infraestructura, C: asociado a la cantidad de agua y G: Gestión.

Tabla 25. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de aguas servidas en el SSR de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PELIGRO ASOCIADO	ORIGEN DEL EVENTO PELIGROSO					CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO						
			D	O	M	E	E	B	Q	F	R	I	C	G
SISTEMA DE ALCANTARILLADO	Obstrucción de cámaras de inspección en época invernal	Olores molestos												
		Efectos en salud y bienestar de la población												
		Contaminación cruzada en redes de agua potable												
	Obstrucción de la red (Ej.: Residuos domiciliarios, animales faenados y materiales de construcción)	Roturas y rebaleses en la red												
		Exposición con las aguas servidas												
		Contaminación cruzada con las redes de agua potable												
		Emanación de olores molestos												
	Roturas de matriz por maquinaria pesada	Exposición a agentes patógenos												
	Conexión de la población villa esperanza	Aumento en el caudal del efluente												
	Emanación de malos olores	Consecuencias en la salud y bienestar de la población												
Aumento en la presencia de vectores														
PRETRATAMIENTO	Obstrucción de rejas de sólidos gruesos	Ocurrencia de rebaleses												
	Rebaleses en época de invierno	Exposición a agentes patógenos												
TRATAMIENTO SECUNDARIO	Medidores de caudal en mal estado	Falta de información relevante												

Origen evento peligroso: D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: factores externos;
Clasificación del peligro: B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: infraestructura, C: asociado a la cantidad de agua y G: Gestión.

Tabla 25. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de aguas servidas en el SSR de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PELIGRO ASOCIADO	ORIGEN DEL EVENTO PELIGROSO					CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO						
			D	O	M	E	E	B	Q	F	R	I	C	G
TRATAMIENTO SECUNDARIO	Fallas operacionales en los biodiscos (Desgranajes, desgaste de pernos y cortes de cadenas, otros)	Interrupción del servicio					M, O							I, G, B
	Desestabilización de lodos activados	Deficiencia operacional					O							F, G
		Generación de olores												
	Falla de bombas	Interrupción del servicio					M							I
LÍNEA DE LODOS	Falta de registro de la cantidad de lodos generados	Falta de información relevante					O							G
	Falta de registro de caracterización de lodos generados (Calidad)	Falta de información relevante					O							G
	Falta de registro de la disposición de lodos generados	Falta de información relevante					O							G
DESINFECCIÓN	Desprogramación del equipo clorador por corte de luz	Efluentes sin desinfección					E, D, O							B
	Obstrucción de manguera dosificadora	Efluente sin desinfección					M							B

Origen evento peligroso: D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: factores externos; **Clasificación del peligro:** B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: infraestructura, C: asociado a la cantidad de agua y G: Gestión.

Tabla 25. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de aguas servidas en el SSR de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PELIGRO ASOCIADO	ORIGEN DEL EVENTO PELIGROSO					CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO							
			D	O	M	E	M	B	Q	F	R	I	C	G	
CUERPO RECEPTOR	Posible descarga de efluente sin desinfección y/o con incumplimientos de parámetros de descarga (D.S.90)	Contaminación del agua y suelo	E										B, Q		
		Contaminación en predios de habitantes aledaños curso abajo													
MANTENCIÓN DEL SISTEMA	Mantenimiento y arreglo de generador eléctrico depende de un tercero desde Lebu	interrupción del servicio ante emergencias	M											I, G	
	Falta de mantención del recinto; presencia de escombros y restos de materiales	Presencia de vectores	M											B, F	
		Incidentes/accidente ocupacional													
	Falta de mantención del sistema de biodiscos por falta de recursos	Interrupción del servicio	M											I, G	
Falta de mantención de las cámaras de inspección	Posibles roturas, fugas, fisuras sin identificar	M												I	
OPERACIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA	Monitoreo de parámetros fisicoquímicos de agua dos veces al año	Falta de control operacional	O											G	
		Falta de información relevante													
	Ausencia de control de parámetros en reactor biológico	Falta de información relevante	O												G
		Deficiencia operacional													

Origen evento peligroso: D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: factores externos;
Clasificación del peligro: B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: infraestructura, C: asociado a la cantidad de agua y G: Gestión.

Tabla 25. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de aguas servidas en el SSR de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PELIGRO ASOCIADO	ORIGEN DEL EVENTO PELIGROSO					CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO						
			D	O	M	E	E	B	Q	F	R	I	C	G
OPERACIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA	Eventos en la operación que generen olores molestos en condiciones ambientales desfavorables	Olores o compuestos odoríferos que afectan la salud y calidad de vida de la población		O										F
	Falta de capacitación del operario	Respuesta o procedimientos incorrecto ante una falla/emergencia ocurrida en la planta		O										G
	Falta de protocolos frente a desastres naturales (Incendios, terremotos)	Ocurrencia de emergencias/accidentes		O, EM, E										F, I
	Falta de registros y documentos relevantes (Resoluciones sanitarias, registro de inventarios y equipos)	Respuesta o procedimientos incorrectos ante una falla/emergencia ocurrida en la planta		O										G
ADMINISTRACIÓN DEL SERVICIO	Falta de recursos económicos para compra, mejoramiento y actualización de equipos/instrumentos	Operación no optima de la planta		E										G
	Administrativas sin equipamiento adecuados para sus labores	Efectos en la salud y bienestar		E										F

Origen evento peligroso: D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: factores externos;
Clasificación del peligro: B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: infraestructura, C: asociado a la cantidad de agua y G: Gestión.

Tabla 25. Identificación de eventos peligrosos y peligros en el sistema de tratamiento de aguas servidas en el SSR de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PELIGRO ASOCIADO	ORIGEN DEL EVENTO PELIGROSO					CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO						
			D	O	M	E	E	B	Q	F	R	I	C	G
SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL	Operarios sin vacuna	Efectos en la salud y bienestar		E										F, B
	Exposición a agentes patógenos	Efectos en la salud y bienestar		O										F, B
	No uso o uso inadecuado de los EPP	Incidentes y/o accidentes ocupacionales		O										F
	Caídas de alto nivel en labores de operación y mantención del servicio	Efectos en la salud y bienestar		O										F
	Ausencia de conocimientos de los riesgos asociados a la actividad laboral	Incidentes y/o accidentes ocupacionales		E										F

Origen evento peligroso: D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias y E: factores externos; **Clasificación del peligro:** B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: infraestructura, C: asociado a la cantidad de agua y G: Gestión.

Se identificaron un total de 39 eventos peligrosos en las 11 componentes que conforman el sistema de tratamiento de aguas servidas.

En la figura 33 se presenta el porcentaje de eventos peligrosos identificados. De lo observado en la figura 33, el componente en el cual más eventos peligrosos se identificaron corresponde a operación y gestión, presentando un total de 6 eventos peligrosos lo que corresponde al 15,4% del total. Esto se debe en mayor medida a la falta de monitoreo, capacitaciones, protocolos frente a desastres y falta de registro o documentos relevantes.

Un componente adicional que genera preocupación corresponde a seguridad y salud ocupacional, el cual representa el 12,8% del total. Este aspecto es de suma importancia, ya que está directamente relacionado con el salud y bienestar de los

operarios. Es fundamental destacar y poner énfasis en este punto, con el objetivo de mejorar las condiciones de seguridad y salud en el entorno laboral.



Figura 33. Porcentaje de eventos peligrosos por componentes del sistema de tratamiento de aguas servidas

Fuente: Elaboración propia

En la figura 34, se indica el porcentaje de origen de los eventos peligrosos. Como se observa el más alto corresponde a operación, representando al 39,58% del total.

También cabe destacar aquellos eventos peligrosos originados por mantenimiento, los cuales presentan un 29,17% del total. De la información analizada se puede observar falta de mantenimiento en diferentes partes del sistema como por ejemplo tableros eléctricos, estanques de almacenamiento, medidores (Caudal / presión) y

dosificador de cloro, por lo tanto, se recomienda la realización de revisiones y programas de mantención.

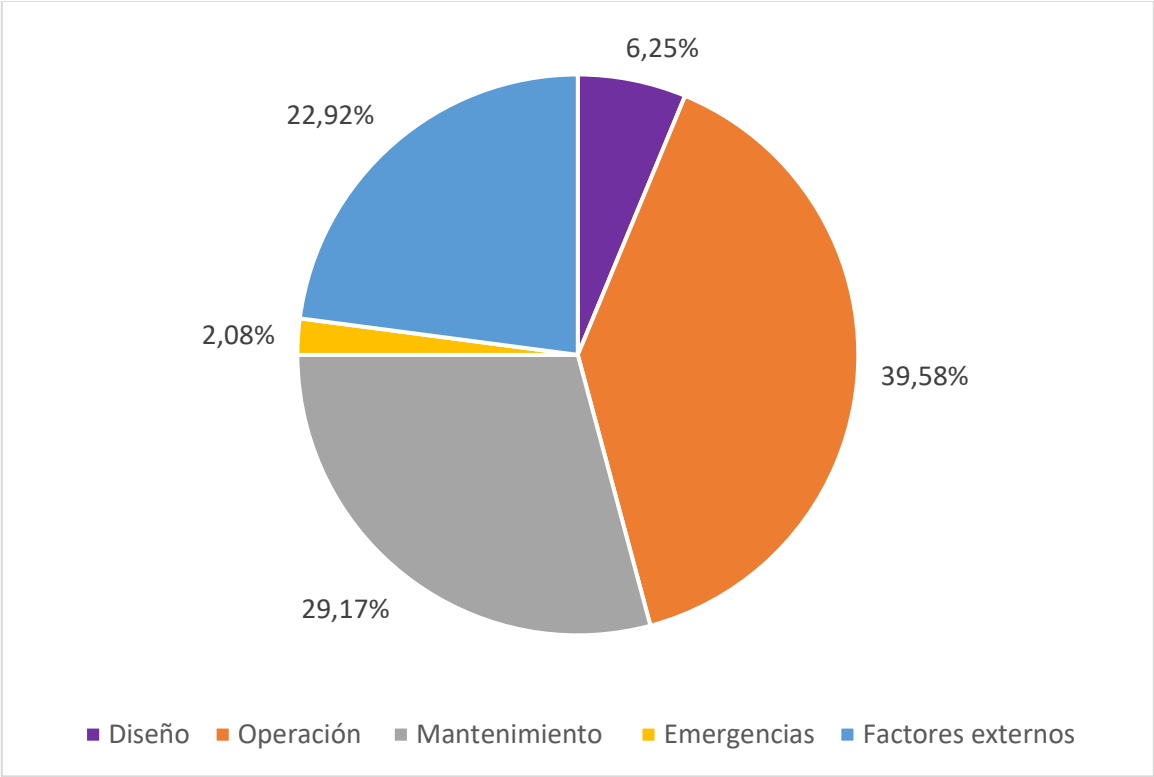


Figura 34. Porcentaje del origen de los eventos peligrosos en sistema de tratamiento de aguas servidas

Fuente: Elaboración propia

En la figura 35, se presenta el porcentaje de la clasificación del peligro. Como se observa, el más alto corresponde, al igual en la PTAP, a los peligros de origen biológico los cuales representan al 30% del total. Esto se debe en gran parte a que los eventos peligrosos identificados tienen como resultado la exposición de la población o el personal a agentes patógenos.

Por otro lado, los peligros físicos representan el 25% del total, esto debido a que los eventos peligrosos identificados resultan en peligros como incidentes o accidentes (laborales/población), efectos en la salud (Operarios/población), emergencias y la emanación de olores.

Por último, cabe destacar a la clasificación de gestión la cual representa al 21,7% del total.

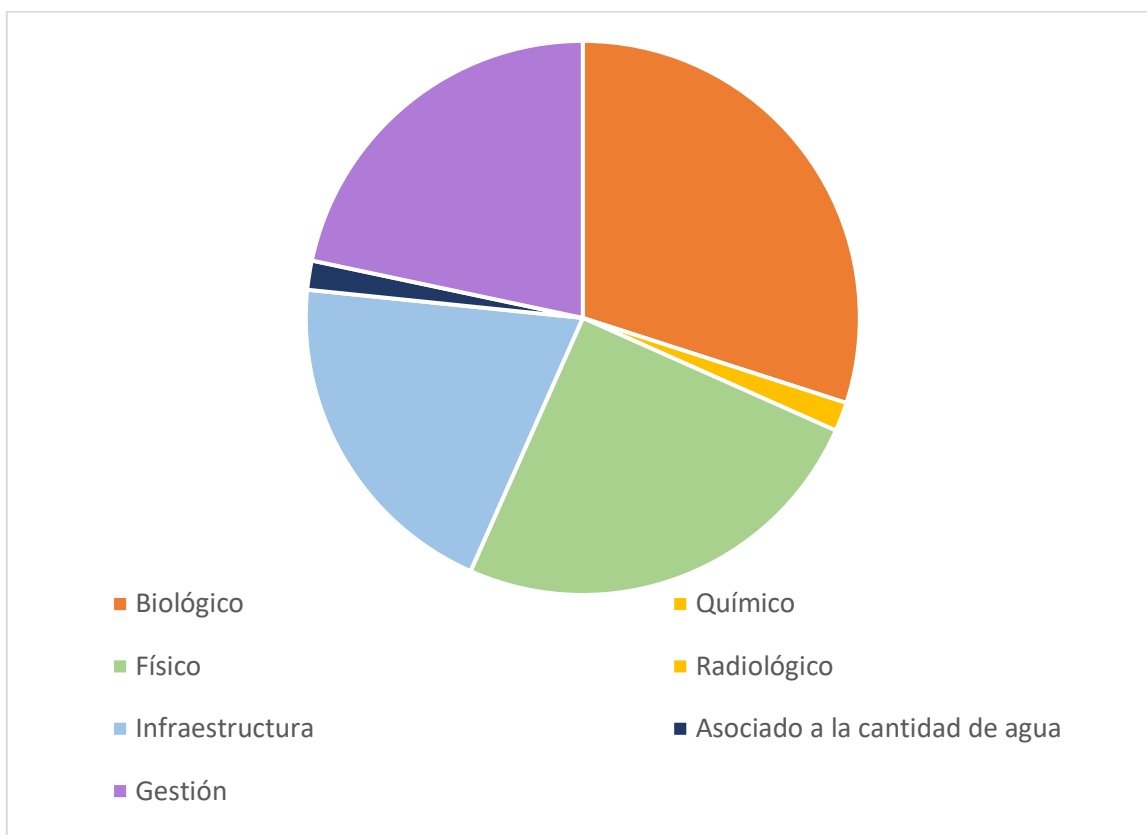


Figura 35. Porcentaje de la clasificación del peligro en sistema de tratamiento de aguas servidas

Fuente: Elaboración propia

5.3 Valoración del riesgo mediante matriz semicuantitativa

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la valorización de los eventos peligrosos identificados en el punto anterior para el sistema de tratamiento de agua potable y el sistema de tratamiento de agua servidas.

Los valores de probabilidad de ocurrencia se estimaron mediante un análisis de la información recopilada durante las entrevistas y los talleres con actores claves sobre el funcionamiento del SSR. Por otro lado, los valores de impacto se obtuvieron a través de una exhaustiva revisión de información bibliográfica.

5.3.1 Valoración del riesgo en PTAP

Para la valoración de impacto se asignaron valores del 1 al 3, según las directrices estipuladas en la tabla x, catalogando como:

- 1: Insignificante
- 2: Moderado
- 3: Alto

en la tabla 26 se muestran las directrices utilizadas para la valorización de impacto para los eventos peligrosos:

Tabla 26. Directrices para la valorización de impacto en PTAP

Insignificante	Moderado	Alto
<ul style="list-style-type: none">• No detectable, distribución de agua segura.• Producción sin interrupciones o con interrupciones programadas cumpliendo el volumen requerido.	<ul style="list-style-type: none">• Incumplimiento de características organolépticas• Posible efecto en la salud a largo plazo.• Contaminación microbiológica menor.	<ul style="list-style-type: none">• Enfermedad grave o lesión o incluso la pérdida de la vida.• Efecto catastrófico en la salud pública (Posible brote de enfermedades).• Posible efecto en la salud a corto plazo.

Fuente: elaboración propia basado en Amézquita Marroquín, Pérez Vidal, et al. (2014) y OMS, (2009).

Para la valoración de probabilidad de ocurrencia al igual que en impacto, se asignaron valores del 1 al 3, según las directrices estipuladas en la tabla x, catalogando como:

- 1: Improbable
- 2: Moderado
- 3: Probable

en la tabla 27 se muestran las directrices utilizadas para la valorización de probabilidad de ocurrencia:

Tabla 27. Directrices para la valorización de probabilidad de ocurrencia en PTAP

Improbable	Moderado	Probable
<ul style="list-style-type: none"> • Ha ocurrido alguna vez • Frecuencia: Al menos una vez en 5 años 	<ul style="list-style-type: none"> • Ha ocurrido en algunas oportunidades • Frecuencia: Una o varias veces al año 	<ul style="list-style-type: none"> • Ha ocurrido en varias oportunidades y existe la certeza de que vuelva a ocurrir • Frecuencia: Diaria o varias veces al mes

Fuente: elaboración propia basado en Amézquita Marroquín, Pérez Vidal, et al. (2014) y OMS, (2009).

A continuación, en la tabla 28 se presentan los resultados obtenidos durante la valorización de probabilidad de ocurrencia e impacto en cada uno de los 62 eventos peligrosos identificados en el sistema de tratamiento de agua potable del SSR de Pehuén, junto con su justificación según corresponda.

Tabla 28. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de agua potable del SSR de la localidad de Pehuén

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
CUENCA	Cambio de uso de suelo	1	2	hay un proyecto de urbanización y actividad forestal presente.	Un aumento en la urbanización puede traer consigo una mayor generación de residuos y desechos sólidos y líquidos, los cuales pueden contaminar las fuentes de agua.
	Geología	3	1	Las características geológicas se encuentran siempre presentes.	La composición química del agua depende en gran manera de la geología del terreno ⁷ .
	Disminución de precipitaciones / sequía	2	3	Han disminuido los volúmenes de agua, se presentan algunos pozos secos.	El cambio climático puede tener un impacto en la disponibilidad y calidad del suministro. (PSA)
	Eventos extremos de precipitación	2	2	Se presentan menos precipitaciones, pero con más intensidad. (Durante mes de invierno).	Mucha lluvia puede aumentar la escorrentía y generar turbiedad en el cuerpo de agua
	Aumento en la urbanización	1	1	Solo se presenta un proyecto de urbanización.	Modificación de los volúmenes de agua que escurren o anegan la superficie.
	Microbasurales	3	3	Gran presencia de microbasurales en varias zonas de la cuenca.	Cuando llueve, el agua arrastra los lixiviados por vía de infiltraciones superficiales hacia las napas subterráneas (9)
	Plantación y explotación forestal	3	3	Gran presencia de actividad forestal la cual ha ido en aumento desde los años 80.	Los pesticidas y fertilizantes pueden provocar efectos agudos y crónicos en la comunidad (4).

Tabla 28. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de agua potable del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
CAPTACIÓN GORGOLÉN	Presencia de basura en riberas del estero	2	3	Con las crecidas del río durante el invierno se puede ver presencia de basura.	La basura presente en la ribera del estero puede contaminar el cuerpo de agua debido a la escorrentía
	Uso recreativo en la zona	2	2	Durante el verano se suele utilizar con uso recreativo.	Estas actividades no se puedan gestionar de forma que se mantengan en niveles suficientemente bajos para evitar la contaminación excesiva. (Manual PSS)
	Presencia de animales (Patos, ganado, perros y otros)	2	3	Presencia de perros y patos algunas veces en el año.	Contaminación difusa de cuerpos de agua principalmente con nutrientes y contaminación biológica por patógenos ¹ . (se han encontrado animales muertos flotando en la captación)
	Crecidas del estero	2	2	Todos los inviernos hay un problema de crecida.	Las crecidas del estero pueden dañar/destruir la infraestructura y originar contaminación cruzada.
CAPTACIÓN PEHUÉN	Presencia de ganado en el sector	1	3	No hay presencia de ganado en el sector.	Contaminación difusa de cuerpos de agua principalmente con nutrientes y contaminación biológica por patógenos ¹ .
	Infraestructura deteriorada (Oxidación)	1	3	La infraestructura no se encuentra oxidada (mantención regular)	El óxido en la infraestructura puede provocar cortes en suministro y contaminación química.
	Zona de captación sin cerco/ muro	3	1	La captación no cuenta con cerco.	Posibles casos de vandalismo y entrada de animales al recinto.
	Pozo de la captación descubierto	1	3	El pozo de captación se encuentra con tapa y cerrado.	Se puede provocar contaminación biológica como por ejemplo la caída de algún animal.
TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN	Filtro floculodecantador sin operar (No hay floculodecantador)	1	2	El filtro floculo decantador se encuentra operativo.	No ocurre separación por decantación de los sólidos en suspensión. (8)

Tabla 28. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de agua potable del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN	Filtro de turbidez nuevo sin operar	1	2	El filtro de turbidez se encuentra operativo en épocas de lluvia.	Características organolépticas indeseadas
	Cerco perimetral del recinto abierto	1	1	El cerco perimetral del recinto se encuentra cerrado.	Posibles casos de vandalismo.
	Presencia de basura y escombros en el recinto	2	2	Se ve poca presencia de basura.	La presencia de basura y escombros pueden atraer vectores.
	Tuberías al descubierto	3	2	Hay presencia de tuberías al descubierto las cuales llevan años de esa forma.	Posibles rupturas en la red (entrada de contaminación y cortes en el suministro).
	Presencia de ganado en el recinto	1	3	El ganado no circula por esa zona	Contaminación difusa de cuerpos de agua principalmente con nutrientes y contaminación biológica por patógenos ¹ .
	Falla en el sistema de bombeo	1	2	La última falla y mantención del sistema de bombeo fue hace 3 años	Al fallar el sistema de bombeo se interrumpe el abastecimiento por tiempo indefinido hasta que esta sea reparada o reemplazada.
	Desprogramación del equipo clorador por cortes frecuentes de luz	1	3	El equipo clorador no ha presentado fallas por desprogramación.	Las fallas en los equipos de desinfección son catalogadas como graves.
	Obstrucción de la manguera dosificadora	3	3	La manguera dosificadora se obstruye por lo menos una vez al mes.	Las fallas en los equipos de desinfección son catalogadas como graves.
	Falla en el sistema de dosificación de cloro	3	3	No se especifican fallos	Las fallas en los equipos de desinfección son catalogadas como graves.

Tabla 28. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de agua potable del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN	Ausencia de cuadernos de registros operacionales (Filtros, dosificadores de cloro, etc.)	1	1	El operador cuenta con un cuaderno en el cual se registra las medidas de cloro, caudal, etc.	No se presentan efectos en la salud, distribución de agua segura.
ALMACENAMIENTO DEL AGUA	Estanque de almacenamiento presenta corrosión y oxidación	3	2	El estanque presenta corrosión y oxido (lleva así por años).	Esto puede afectar a la salud, la aceptación pública del suministro de agua y el costo de proveer agua digna de confianza (5)
	Falta periodicidad en la mantención y limpieza del estanque de almacenamiento	3	3	No se cuenta con un protocolo de mantención del estanque.	Posible presencia de toxinas y floraciones de algas, estratificación.
	Medidores de presión en mal estado	1	1	Los medidores de presión se encuentran operativos.	No se presentan efectos en la salud, distribución de agua segura.
	Ausencia o mal estado de medidor de caudal	3	1	Se desconoce la presencia de un medidor de caudal.	No se presentan efectos en la salud, distribución de agua segura.
REDES DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN	Filtración y/o roturas de la red	3	2	No se tiene información sobre rupturas en la red	Las fugas son una fuente potencial de microorganismos patógenos y ocasionan una gran parte de las pérdidas de agua.
	Realización de obras civiles cercanas a la red	3	2	Se encuentran trabajando en reparación de calles.	Se pueden generar rupturas en la red siendo estas una fuente potencial de microorganismos patógenos y ocasionar cortes en el suministro.

Tabla 28. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de agua potable del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
REDES DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN	Vandalismo	1	1	No hay presencia de vandalismo en las redes.	No se presentan efectos en la salud, distribución de agua segura.
	Conexiones anexas del usuario no registrada	3	2	No se tiene conocimiento.	Las conexiones no autorizadas generan que el suministro no sea uniforme permitiendo la entrada de contaminantes microbiológicos y químicos.
	Disminución de presión en temporada estival	2	1	Durante los meses de verano disminuye la presión.	La disminución de la presión del agua no tiene efectos significativos sobre la salud de la población.
	Rebalses frecuentes de fosas sépticas en población villa esperanza	2	3	Ocurre varias veces en el año sobre todo en invierno.	La contaminación por efluentes de aguas residuales provenientes de fosas sépticas se clasifica como crítica
	Evento no identificado* (Caso puntual año 2019)	1	3	Caso puntual (menos de una vez al año)	La presencia de coliformes fecales es una amenaza crítica.
	Aumento de hierro en agua cruda (Sobre lo permitido en DS735)	3	2	Se supera en varios puntos de muestreo	A pesar de su baja toxicidad, la exposición a altas concentraciones y de forma sostenida, afecta a la salud ¹¹ .
	Niveles de turbidez elevados	2	2	Ocurre sobre todo en invierno en presencia de precipitaciones.	Una elevada turbidez provoca una desinfección ineficaz y desconfianza por parte de la población ³ .
	Tuberías al descubierto	3	2	Hay presencia de tuberías al descubierto	Estas son una fuente potencial de rupturas en la red las cuales pueden permitir la entrada de microorganismos patógenos y ocasionar pérdidas de agua.

Tabla 28. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de agua potable del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
REDES DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN	Ausencias de mediciones mínimas y máximas en la red	2	1	Se mide solo cloro residual en dos puntos por día de lunes a viernes	No se presentan efectos en la salud, distribución de agua segura.
USUARIOS	Percepción frecuente de turbidez en invierno	2	2	Presencia de turbidez durante los meses de invierno.	Una elevada turbidez provoca una desinfección ineficaz ³ . También existe una gran probabilidad de que el agua contenga sustancias tóxicas.
	Uso de tratamiento adicional en el agua (Ej.: Cloración)	3	3	Se compra agua externa y el agua del SSR se hierve antes de consumir.	El exceso de cloro puede resultar tóxico para el consumo ² .
	Cortes de suministro no programados	2	3	Los cortes de suministro no siempre se avisan.	Los cortes de suministro pueden llegar a durar un día.
	Medidores en mal estado	2	1	Durante todo el año se presentan medidores en mal estado.	Al tener medidores dañados, se estarán realizando mediciones incorrectas pudiendo pagar un sobrecargo por parte del usuario.
	Uso de punteras y pozos norias para riego de jardín, huertas y lavado de ropa	1	1	Poco uso de punteras y norias.	No se presentan efectos en la salud, distribución de agua segura.
	Caso de diagnóstico de enfermedades gastrointestinales	2	3	Estas enfermedades son más recurrentes en invierno debido a eventos de turbidez	Efecto en la salud a corto plazo

Tabla 28. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de agua potable del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
USUARIOS	Conexiones domiciliarias en mal estado	2	2	Ocurre frecuentemente (más de una vez al mes)	Al tener filtraciones en las instalaciones domésticas, estas serán registradas por el medidor y se estará pagando por agua a la que no se le está dando uso. Las fugas son una fuente potencial de contaminación.
	Filtraciones y/o fugas de agua en la infraestructura	1	2	Rara vez	Las fugas son una fuente potencial de microorganismos patógenos y ocasionan una gran parte de las pérdidas de agua.
MANTENCIÓN DEL SISTEMA	Ausencia de registro de mantenciones realizadas	3	1	No se cuenta con registro de mantenciones.	No se presentan efectos en la salud, distribución de agua segura.
	Mantenimiento poco frecuente del estanque de almacenamiento	3	3		Posible presencia de toxinas y floraciones de algas, estratificación.
	Falta de mantenimiento en tableros eléctricos	3	3	No se está en conocimiento si se ha realizado mantención.	Esto puede provocar un choque eléctrico (Efectos de tipo nervioso, contracción muscular, desvanecimiento y paro cardíaco) 6
OPERACIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA	Falta de seguimiento en otros parámetros de calidad de agua potable relevantes (Ej.: Hierro y turbidez)	1	2	Se mide cloro, turbidez y hierro.	Carencia de información sobre la presencia de agentes patógenos, desechos que requieren oxígeno, sustancias químicas, sedimentos, etc. (10)
	Proyectos inmobiliarios en la localidad	1	2	Solo se habla de un proyecto inmobiliario en ejecución.	Los proyectos inmobiliarios ocasionan rupturas en las redes

Tabla 28. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de agua potable del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
OPERACIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA	Ausencia de protocolos y procedimientos operacionales de emergencias y frente a desastres naturales	3	3	No se cuenta con protocolos ante desastres naturales.	Posible insuficiencia de agua en todo el SSR en un lapso mayor a 12 horas.
	Ausencia de generadores ante cortes de suministro eléctrico (Frecuente)	3	3	Solo la PTAS cuenta con un generador eléctrico.	Se evidencian cortes con una duración mayor a 12 horas
ADMINISTRACIÓN DEL SERVICIO	Falta de recursos económicos para mejoramientos y compra de actualización de equipos	3	1	Se carece de recursos económicos, solo lo justo para el funcionamiento del sistema.	Distribución de agua segura.
	Ausencia de registros de reclamos y eventos por usuarios afectados	1	1	Se cuenta con un libro de reclamos	Es importante saber la percepción de la población, pero no afecta directamente en la calidad del servicio, distribución de agua segura.
	Falta de herramientas y capacitación para la implementación de la ley 20.998	3	1	No se cuenta con conocimientos sobre la ley 20.998	Distribución de agua segura.

Tabla 28. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de agua potable del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
SEGURIDAD Y SALUD OPERACIONAL	Limpieza de estanques a alto nivel	1	3	El operador no realiza actividades a alto nivel.	Actividades a alto nivel pueden provocar caídas (Lesiones de carácter grave o muerte)
	Manipulación de desinfectantes sin EPP adecuados	2	3	El operador no utiliza antiparras ni mascarilla, solo pechera.	El hipoclorito de calcio en contacto con la piel puede generar graves irritaciones y quemaduras en los ojos y la piel.
	Falta de disponibilidad a servicios higiénicos	3	1	No se cuenta con servicios higiénicos en PTAP.	Distribución de agua segura.

Fuente: (Alfaro and Salazar 2005), (Esquerdo, Ocasio et al.), (Marcó, Azario et al. 2004), (Martin Martin 1998), (Jordan Ramirez and Oñate Amaya 2010), (Tacora Villegas 2016), (Chaves, Izário Filho et al.), (Pascual, Etchegoyen et al. 2010), (MEXICANO 2008), (Negrón Martínez 2014), (Barragán 2010), (Amézquita Marroquín, Pérez Vidal et al. 2014), (González, Quesada et al.), (Amariles Guzmán and Parra Chaparro 2019), (Ruiz Verástegui and Chavez Llanos 2020), (Gatto D'Andrea, Iribarnegaray et al. 2012) y (Pérez 2012)

A continuación, en la figura 36 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la valorización probabilidad de ocurrencia e impacto.

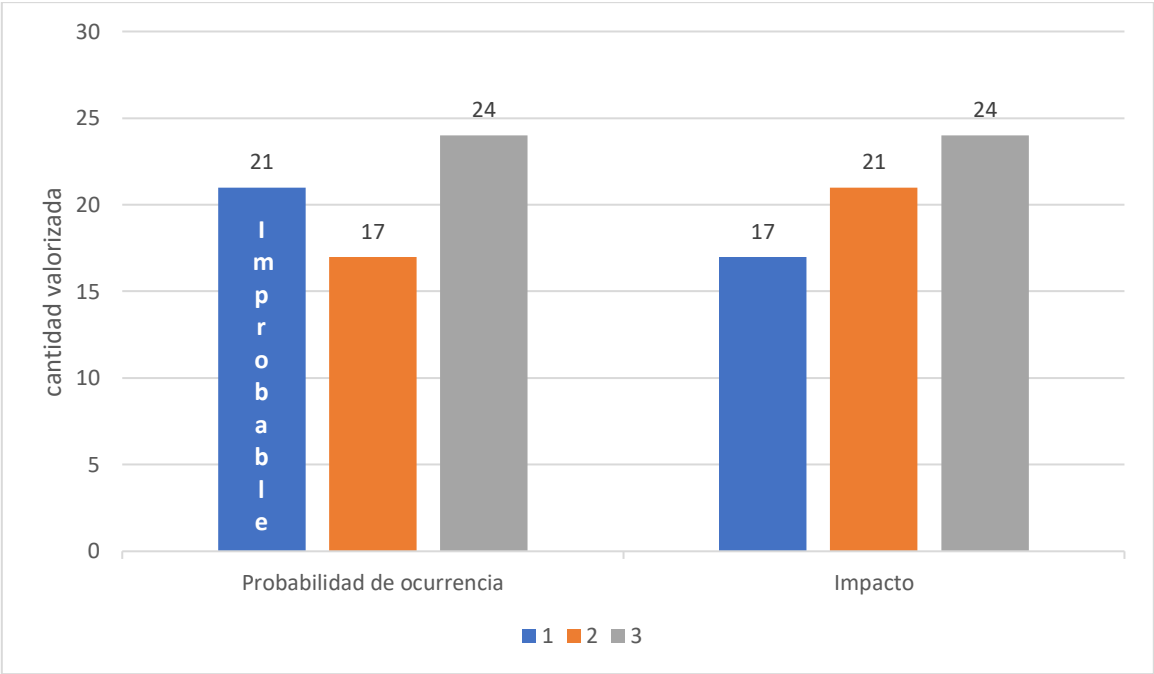


Figura 36. Probabilidad de ocurrencia e impactos en PTAP

Fuente: Elaboración propia

Como se observa el valor predominante tanto para probabilidad de ocurrencia como para el impacto es 3, los cuales se clasifican como “probable” y “alto” respectivamente. Esto nos puede indicar que hay una alta posibilidad de obtener riesgos clasificados como “alto”. En la tabla 29 se presentan los resultados finales de la valorización del riesgo, los cuales se obtuvieron al multiplicar los valores de probabilidad de ocurrencia con los de impacto, obteniendo resultados y catalogando el riesgo como bajo (1-2), medio (3-5) y alto (6-9).

Estos resultados nos permiten obtener una perspectiva más completa sobre el riesgo presente en cada uno de los eventos peligrosos y nos sirven como guía para la implementación de estrategias de gestión y de mitigación.

Tabla 29. Valoración y clasificación del riesgo para el sistema de tratamiento de agua potable

COMPONENTE	EVENTO PELIGROSO	VALORIZACIÓN DEL RIESGO			CLASIFICACIÓN
		P	I	R	
CUENCA	Cambio de uso de suelo	1	2	2	BAJO
	Geología	3	1	3	MEDIO
	Disminución de precipitaciones / sequía	2	3	6	ALTO
	Eventos extremos de precipitación	2	2	4	MEDIO
	Aumento en la urbanización	1	1	1	BAJO
	Microbasurales	3	3	9	ALTO
	Plantación y explotación forestal	3	3	9	ALTO
CAPTACIÓN GORGOLÉN	Presencia de basura en riberas del estero	2	3	6	ALTO
	Uso recreativo en la zona	2	2	4	MEDIO
	Presencia de animales (Patos, ganado, perros y otros)	2	3	6	ALTO
	Crecidas del estero	2	2	4	MEDIO
CAPTACIÓN PEHUÉN	Presencia de ganado en el sector	1	3	3	MEDIO
	Infraestructura deteriorada (Oxidación)	1	3	3	MEDIO
	Zona de captación sin cerco/ muro	3	1	3	MEDIO
	Pozo de la captación descubierto	1	3	3	MEDIO
TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN	Filtro floculodecantador sin operar (No hay floculodecantador)	1	2	2	BAJO
	Filtro de turbidez nuevo sin operar	1	2	2	BAJO
	Cerco perimetral del recinto abierto	1	1	1	BAJO
	Presencia de basura y escombros en el recinto	2	2	4	MEDIO
	Tuberías al descubierto	3	2	6	ALTO
	Presencia de ganado en el recinto	1	3	3	MEDIO
	Falla en el sistema de bombeo	1	2	2	BAJO
	Desprogramación del equipo clorador por cortes frecuentes de luz	1	3	3	MEDIO
	Obstrucción de la manguera dosificadora	3	3	9	ALTO
	Falla en el sistema de dosificación de cloro	3	3	9	ALTO

Tabla 29. Valoración y clasificación del riesgo para el sistema de tratamiento de agua potable (Continuación)

COMPONENTE	EVENTO PELIGROSO	VALORIZACIÓN DEL RIESGO			CLASIFICACIÓN
		P	I	R	
TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN	Ausencia de cuadernos de registros operacionales (Filtros, dosificadores de cloro, etc.)	1	1	1	BAJO
ALMACENAMIENTO DEL AGUA	Estanque de almacenamiento presenta corrosión y oxidación	3	2	6	ALTO
	Falta periodicidad en la mantención y limpieza del estanque de almacenamiento	3	3	9	ALTO
	Medidores de presión en mal estado	1	1	1	BAJO
	Ausencia o mal estado de medidor de caudal	3	1	3	MEDIO
REDES DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN	Filtración y/o roturas de la red	3	2	6	ALTO
	Realización de obras civiles cercanas a la red	3	2	6	ALTO
	Vandalismo	1	1	1	BAJO
	Conexiones anexas del usuario no registrada	3	2	6	ALTO
	Disminución de presión en temporada estival	2	1	2	BAJO
	Rebalses frecuentes de fosas sépticas en población villa esperanza	2	3	6	ALTO
	Evento no identificado* (Caso puntual año 2019)	1	3	3	MEDIO
	Aumento de hierro en agua cruda (Sobre lo permitido en DS735)	3	2	6	ALTO
	Niveles de turbidez elevados	2	2	4	MEDIO
	Tuberías al descubierto	3	2	6	ALTO
	Ausencias de mediciones mínimas y máximas en la red	2	1	2	BAJO
USUARIOS	Percepción frecuente de turbidez en invierno	2	2	4	MEDIO
	Uso de tratamiento adicional en el agua (Ej.: Cloración)	3	3	9	ALTO
	Cortes de suministro no programados	2	3	6	ALTO
	Medidores en mal estado	2	1	2	BAJO
	Uso de punteras y pozos norias para riego de jardín, huertas y lavado de ropa	1	1	1	BAJO

Tabla 29. Valoración y clasificación del riesgo para el sistema de tratamiento de agua potable (Continuación)

COMPONENTE	EVENTO PELIGROSO	VALORIZACIÓN DEL RIESGO			CLASIFICACIÓN
		P	I	R	
USUARIOS	Caso de diagnóstico de enfermedades gastrointestinales	2	3	6	ALTO
	Conexiones domiciliarias en mal estado	2	2	4	MEDIO
	Filtraciones y/o fugas de agua en la infraestructura	1	2	2	BAJO
MANTENCIÓN DEL SISTEMA	Ausencia de registro de mantenencias realizadas	3	1	3	MEDIO
	Mantenimiento poco frecuente del estanque de almacenamiento	3	3	9	ALTO
	Falta de mantención en tableros eléctricos	3	3	9	ALTO
OPERACIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA	Falta de seguimiento en otros parámetros de calidad de agua potable relevantes (Ej.: Hierro y turbidez)	1	2	2	BAJO
	Proyectos inmobiliarios en la localidad	1	2	2	BAJO
	Ausencia de protocolos y procedimientos operacionales de emergencias y frente a desastres naturales	3	3	9	ALTO
	Ausencia de generadores ante cortes de suministro eléctrico (Frecuente)	3	3	9	ALTO
ADMINISTRACIÓN DEL SERVICIO	Falta de recursos económicos para mejoramientos y compra de actualización de equipos	3	1	3	MEDIO
	Ausencia de registros de reclamos y eventos por usuarios afectados	1	1	2	BAJO
	Falta de herramientas y capacitación para la implementación de la ley 20.998	3	1	3	MEDIO
SEGURIDAD Y SALUD OPERACIONAL	Limpieza de estanques a alto nivel	1	3	3	MEDIO
	Manipulación de desinfectantes sin EPP adecuados	2	3	6	ALTO
	Falta de disponibilidad a servicios higiénicos	3	1	3	MEDIO

Fuente: Elaboración propia basado en Chacón Herrera, A. (2018)

De la información obtenida en la Tabla 29, podemos observar que, de todos los eventos peligrosos analizados, se puede determinar lo siguiente:

Un 38,7% de los eventos (24 en total) son clasificados con riesgo alto. Esto indica que representan una amenaza significativa y requieren de atención inmediata y acciones preventivas o correctivas.

El 33,9% de los eventos (21 en total) se clasifican como riesgo medio. Estos eventos implican un nivel intermedio de riesgo, si bien no son tan críticos como aquellos clasificados como riesgo alto, pero aun necesitan la adopción de medidas de control y/o acciones de gestión o de intervención física, a medio y largo plazo (Editora do ministerio do saúde, 2012).

Por último, el 27,4% de los eventos (17 en total) se clasifican con un riesgo bajo. Estos pueden requerir cierta atención, pero no son tan urgentes o críticos como los otros eventos con clasificación mayor, se pueden controlar mediante procedimientos de rutina.

En la figura 37 se presenta un análisis de la cantidad y el porcentaje de clasificación del riesgo en cada componente del sistema, proporcionando una visión general de cómo se distribuye el riesgo.

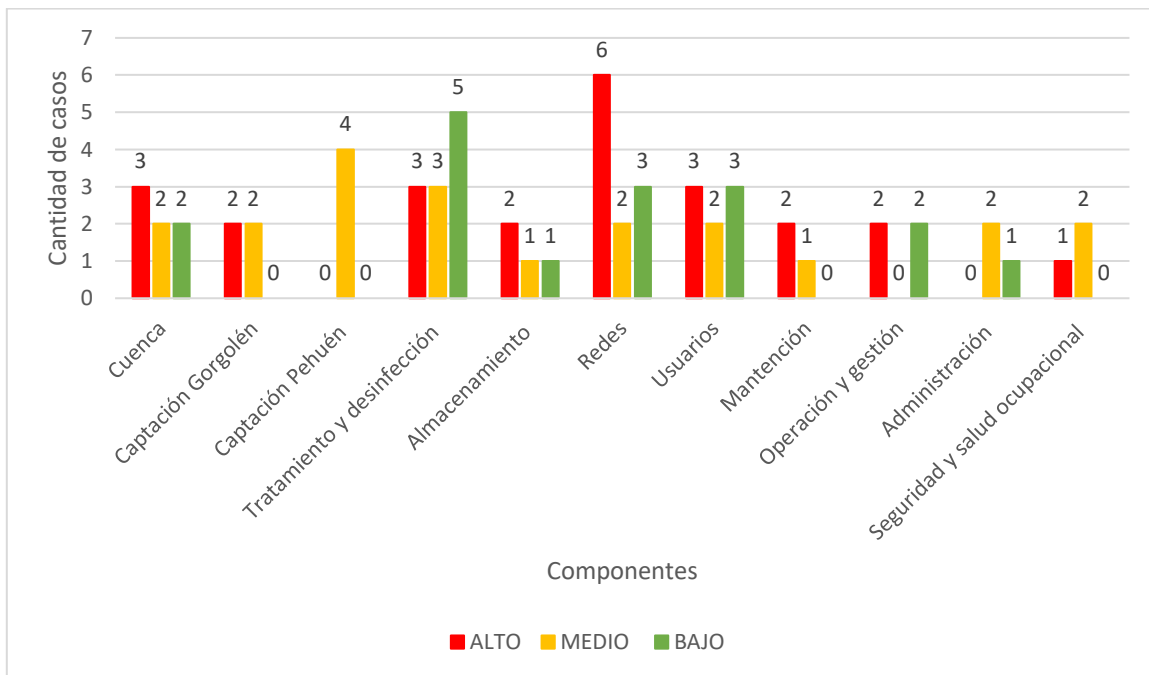


Figura 37. Nivel de riesgo en cada componente de PTAP

Fuente: Elaboración propia

Se evidencia que el componente de redes de conducción y distribución es el que presenta la mayor cantidad de eventos peligrosos clasificados con un riesgo alto. Esta situación se atribuye a la filtración o roturas de la red, realización de obras cercanas civiles cercanas a la red, conexiones anexas del usuario no registrada, rebalses frecuentes de la red de aguas servidas, aumento de hierro en el agua cruda y presencia de tuberías al descubierto. Es importante destacar que algunas de estas problemáticas no solo se limitan únicamente a las redes de conducción y distribución, ya que también se presentan en otros componentes, como usuarios y tratamiento y desinfección.

Después de analizar los componentes de cuenca, usuarios y tratamiento y desinfección, se ha observado que los tres presentan de manera igualitaria tres eventos clasificados como de alto riesgo. En cuanto a cuenca, estos eventos principalmente a factores externos, como la disminución de las precipitaciones, presencia de plantaciones forestales y la existencia de microbasurales. En el caso

de tratamiento y desinfección, los eventos de alto riesgo se originan por la presencia de tuberías expuestas y fallos en el sistema de dosificación del cloro. Por otro lado, en el componente de usuarios, se identificó que los eventos de alto riesgo están relacionados con el uso de tratamientos adicionales en el agua, cortes de suministro no programados y la aparición de enfermedades gastrointestinales.

Dentro de estos, es necesario destacar el componente de almacenamiento, ya que toda el agua del sistema se almacena ahí antes de ser distribuida y se ha observado la presencia de oxido y corrosión en el estanque. Es necesario tomar medidas como lavado y desinfección de tanque de almacenamiento mínimo 4 veces/año y monitoreo de calidad del agua a la entrada y salida de los estanque de almacenamiento (Amézquita Marroquín, Pérez Vidal et al. 2014).

Finalmente, los componentes de captación Pehuén y administración no presentan eventos peligrosos clasificados como altos. Esto indica que, en términos de riesgo, estos componentes se encuentran en una situación favorable y no requieren medidas inmediatas.

5.3.1 Valoración del riesgo en PTAS

Para la valoración de impacto se asignaron valores del 1 al 3, según las directrices estipuladas en la tabla 30, catalogando como:

- 1: Insignificante
- 2: Moderado
- 3: Grave

A continuación, en la tabla 30 se muestran las directrices utilizadas para la valorización de impacto para los eventos peligrosos:

Tabla 30. Directrices para la valorización de impacto en PTAS

Insignificante	Moderado	Grave
Peligro o eventos peligrosos con efectos nulos o mínimos en la salud (por ej., irritación, náuseas, dolor de cabeza).	Peligro o evento peligroso que produce efectos limitantes en la salud o una enfermedad leve (por ej., Diarrea, vómitos, infección del tracto respiratorio superior, trauma leve).	Evento peligroso que produce una enfermedad grave (por ej., malaria, esquistosomiasis, diarrea crónica, problemas respiratorios crónicos, envenenamiento agudo, lesión (por ej., pérdida de extremidades, quemaduras graves, ahogamiento) o incluso la pérdida de la vida.

Fuente: elaboración propia basado en OMS, 2016

Para la valoración de probabilidad de ocurrencia al igual que en impacto, se asignaron valores del 1 al 3, según las directrices estipuladas en la tabla x, catalogando como:

- 1: Improbable
- 2: Moderado
- 3: Probable

En la tabla 31 se muestran las directrices utilizadas para la valorización de probabilidad de ocurrencia:

Tabla 31. Directrices para la valorización de probabilidad de ocurrencia en PTAS

Improbable	Moderado	Probable
<ul style="list-style-type: none"> • Ha ocurrido alguna vez • Frecuencia: Al menos una vez en 5 años 	<ul style="list-style-type: none"> • Ha ocurrido en algunas oportunidades • Frecuencia: Una o varias veces al año 	<ul style="list-style-type: none"> • Ha ocurrido en varias oportunidades y existe la certeza de que vuelva a ocurrir • Frecuencia: Diaria o varias veces al mes

Fuente: elaboración propia basado en Amézquita Marroquín, Pérez Vidal, et al. (2014) y OMS, (2009).

A continuación, en la tabla 32 se observan los resultados obtenidos y la justificación proporcionada para la valorización de probabilidad de ocurrencia e impacto en cada uno de los eventos peligrosos identificados en el sistema de tratamiento de agua potable del SSR de Pehuén.

Tabla 32. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de aguas servidas del SSR de la localidad de Pehuén

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
USUARIOS	Disposición de objetos obstructivos por el sistema de excreta	3	3	Ocurre todos los días.	Posible colapso o fisura colapsar tanto en el domicilio como en el sistema de alcantarillado, pudiendo exponer a la población al contacto con aguas servidas (consecuencia grave).
	Percepción de olores provenientes de la PTAS (Viviendas cercanas a la PTAS)	1	2	No hay reclamos por olores últimamente (Ultimo reclamo al inicio de pandemia).	Los malos olores pueden manifestar diferentes dolencias en la población tales como dolor de cabeza, diarrea, falta de apetito, náuseas, dolores estomacales, problemas a la piel y alergias.
	Desbordes e inundaciones frecuentes en la población villa esperanza (136 viviendas a 500 m de la PTAS)	2	3	Ha ocurrido en algunas oportunidades en el pasado de manera frecuente, actualmente solo se rebalsa en conexiones no autorizadas	Los desbordes generan olores desagradables y proliferación de enfermedades.
	Uso de lodos deshidratados sin autorización sanitaria (D.S. 4, MINSAL) proveniente de la PTAS para hortalizas (vecinos)	2	3	Solo una persona retira lodos con una frecuencia de dos veces al año.	Los lodos pueden contener altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos (EPT) tanto para los cultivos como para los consumidores de los productos mismos.
	Presencia de vectores en sectores cercanos a la PTAS	3	3	Presencia de ratones en la planta y sectores aledaños.	La zoonosis son enfermedades transmitidas de animales (vectores hacia los humanos), la más conocida en ratas es el hantavirus el cual presenta una letalidad de 70%.

Tabla 32. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de aguas servidas del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
SISTEMA DE ALCANTARILLADO	Obstrucción de cámaras de inspección en época invernal	2	3	Todos los inviernos se obstruye por lo menos una cámara.	La obstrucción de las redes puede provocar rebalses los cuales pueden tener como resultados enfermedades infecciosas y gastrointestinales
	Obstrucción de la red (Ej.: Residuos domiciliarios, animales faenados y materiales de construcción)	3	3	Ratones muertos obstruyen la red todas las semanas.	La obstrucción de las redes puede provocar rebalses los cuales pueden tener como resultados enfermedades infecciosas y gastrointestinales.
	Roturas de matriz por maquinaria pesada	1	3	No se presentan roturas por maquinaria pesada.	Se pueden contaminar las redes de distribución de agua potable. Contacto directo de la población con las aguas servidas.
	Conexión de la población villa esperanza	3	1	La conexión a este sector se va a efectuar	Aumento del caudal de entrada a la PTAS, complicaciones en la operación.
	Emanación de malos olores	1	2	Los malos olores emanan de conexiones domiciliarias (WC obstruidos) o de cámaras obstruidas.	Los malos olores pueden manifestar diferentes dolencias en la población tales como dolor de cabeza, diarrea, falta de apetito, náuseas, dolores estomacales, problemas a la piel y alergias.
PRETRATAMIENTO	Obstrucción de rejillas de sólidos gruesos	3	3	Ocurre normalmente una vez por semana	Posibles rebalses en la PTAS, generando focos infecciosos que se esparcen al mezclarse con aguas lluvia pudiendo contaminar las redes de agua potable y riesgo para los operarios.

Tabla 32. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de aguas servidas del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
PRETRATAMIENTO	Rebalses en época de invierno	2	3	En el último año la planta se rebalsó dos veces en eventos de precipitaciones extremas.	Los rebalses de aguas servidas generan focos infecciosos los cuales se esparcen al mezclarse con aguas lluvia pudiendo contaminar las redes de agua potable.
TRATAMIENTO SECUNDARIO	Medidores de caudal en mal estado	3	1	Los medidores de caudal se encuentran malos y sin dar lecturas desde hace 6 años.	Al no controlar el caudal, no se puede saber la cantidad de agua que está siendo tratada en un periodo de tiempo. No permite toma de decisiones correctamente.
	Fallas operacionales en los biodiscos (Desgranajes, desgaste de pernos y cortes de cadenas, otros)	2	3	Se caen los ejes de los biodiscos, esto ocurre por lo menos una vez al año.	Cuando se producen daños en estos componentes, los desagües son descargados directamente a los cuerpos de agua generando impactos ambientales y en la salud pública
	Desestabilización de lodos activados	3	3	No se cuenta con la información sobre la desestabilización de lodos	Cuando se producen daños en estas componentes, los desagües son descargados directamente a los cuerpos de agua generando impactos ambientales y en la salud pública.
	Falla de bombas	2	3	Las bombas fallan 1 vez cada 2 años. Las bombas sumergibles pueden fallar 1 vez al año.	Posible generación de rebalses, los rebalses de aguas servidas generan focos infecciosos los cuales se esparcen al mezclarse con aguas lluvia pudiendo contaminar las redes de agua potable.

Tabla 32. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de aguas servidas del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
LÍNEA DE LODOS	Falta de registro de la cantidad de lodos generados	1	1	Se llevan registros de lodos por petición del SEREMI.	El no llevar un registro de lodos, no afecta en la salud de la población.
	Falta de registro de caracterización de lodos generados (Calidad)	3	2	No cuenta con información sobre este registro	Es importante tener el registro de caracterización, con la finalidad de determinar un manejo de forma segura.
	Falta de registro de la disposición de lodos generados	3	1	No se tiene información sobre este registro	El no llevar un registro de lodos, no afecta en la salud de la población.
DESINFECCIÓN	Desprogramación del equipo clorador por corte de luz	2	3	Ocurre algunas veces al año	Cuando se producen daños en estos componentes, los desagües son descargados directamente a los cuerpos de agua generando impactos ambientales y en la salud pública.
	Obstrucción de manguera dosificadora	2	3	No es tan frecuente	Cuando se producen daños en estos componentes, los desagües son descargados directamente a los cuerpos de agua generando impactos ambientales y en la salud pública.
CUERPO RECEPTOR	Posible descarga de efluente sin desinfección y/o con incumplimientos de parámetros de descarga (D.S.90)	2	3	Se han descargados efluentes sin tratamiento, específicamente cuando se sueltan los biodiscos, pero este efluente siempre va con cloro.	Cuando se producen daños en estos componentes, los desagües son descargados directamente a los cuerpos de agua generando impactos ambientales y en la salud pública.

Tabla 32. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de aguas servidas del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
MANTENCIÓN DEL SISTEMA	Mantenimiento y arreglo de generador eléctrico depende de un tercero desde Lebu	1	3	La municipalidad envía un técnico el cual repara y realiza mantenimientos al generador.	Al carecer de suministro eléctrico se puede paralizar el sistema generando un colapso del mismo, lo que puede resultar en descargas de aguas servidas sin tratamiento al cuerpo receptor.
	Falta de mantenimiento del recinto; presencia de escombros y restos de materiales	1	2	No hay problemas de basura, escombros y materiales en el recinto.	La presencia de basura y escombros pueden atraer vectores.
	Falta de mantenimiento del sistema de biodiscos por falta de recursos	3	3	No se le ha realizado mantenimiento a los biodiscos desde que se puso en marcha la planta, hace 6 años se realizó un reajuste en los biodiscos.	Cuando se producen daños en estos componentes, los desagües son descargados directamente a los cuerpos de agua generando impactos ambientales y en la salud pública.
	Falta de mantenimiento de las cámaras de inspección	3	1	No se realiza mantenimiento a las cámaras de inspección.	El mantenimiento de estas cámaras ayuda a un mejor funcionamiento y prevención de problemas mayores, pero no afectan directamente la salud de la población.
OPERACIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA	Monitoreo de parámetros fisicoquímicos de agua dos veces al año	1	3	Se realizan muestreos completos 2 veces al año por parte de la SEREMI.	Estos monitoreos nos permiten determinar si se cumple con la norma establecida y evaluar el impacto ambiental de las aguas residuales al ser liberadas al medio ambiente.

Tabla 32. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de aguas servidas del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
OPERACIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA	Ausencia de control de parámetros en reactor biológico	3	3	Solo se mide cloro y consumo de luz diario.	No se sabe si el funcionamiento del reactor es óptimo y si el efluente cumple con la norma establecida.
	Eventos en la operación que generen olores molestos en condiciones ambientales desfavorables	1	2	Solo se generaron olores molestos al inicio de la pandemia (exceso de desinfectantes y obstrucción).	Los malos olores pueden manifestar diferentes dolencias en la población tales como dolor de cabeza, diarrea, falta de apetito, náuseas, dolores estomacales, problemas a la piel y alergias.
	Falta de capacitación del operario	2	2	Solo capacitaciones normativas por parte de la DOH y una pequeña capacitación cuando se puso en marcha la planta.	Personal capacitado y experimentado para el diagnóstico y prevención de fallas es indispensable, para la detección de anomalías y su oportuna corrección. (1)
	Falta de protocolos frente a desastres naturales (Incendios, terremotos)	3	3	No se cuenta con procedimientos escritos ni estructurados.	Eventos como terremotos y tsunamis pueden provocar derrames y escurrimiento de aguas servidas hacia la calle o el interior de las viviendas (ESBBIO).
	Falta de registros y documentos relevantes (Resoluciones sanitarias, registro de inventarios y equipos)	1	1	Toda la información se encuentra en el comité.	No se presentan efectos negativos en la salud, pero es necesario contar con esta información por cumplimiento de la ley 20.998

Tabla 32. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de aguas servidas del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
ADMINISTRACIÓN DEL SERVICIO	Falta de recursos económicos para compra, mejoramiento y actualización de equipos/instrumentos	3	1	Faltan recursos económicos, se tiene lo justo para realizar mejoras.	No se presentan efectos negativos en la salud de la población.
	Administrativas sin equipamiento adecuados para sus labores	1	1	Se cuentan con los equipos para desarrollar la labor	No se presentan efectos en la salud
SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL	Operarios sin vacuna	3	3	Los operarios no han recibido ningún tipo de vacuna	La SISS exige las siguientes vacunas: hepatitis (A y B), tétano e influenza. Enfermedades como la hepatitis pueden causar insuficiencia hepática ⁽³⁾
	Exposición a agentes patógenos	3	3	Exposición constante a agentes patógenos.	Los agentes patógenos son una fuente potencial de infección y enfermedades ⁽⁴⁾
	No uso o uso inadecuado de los EPP	2	3	Solo cuando se realizan actividades de mantención	El no uso puede ocasionar lesiones o enfermedades
	Caídas de alto nivel en labores de operación y mantención del servicio	1	3	Solo hay registro de una caída de alto nivel, mitigado por arnés y línea de vida	Caídas a alto nivel pueden tener desenlaces fatales

Tabla 32. Matriz de evaluación de riesgo para el sistema de tratamiento de aguas servidas del SSR de la localidad de Pehuén (Continuación)

COMPONENTE DEL SISTEMA	EVENTO PELIGROSO	PROBABILIDAD	IMPACTO	JUSTIFICACIÓN PROBABILIDAD	JUSTIFICACIÓN IMPACTO
SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL	Ausencia de conocimientos de los riesgos asociados a la actividad laboral	3	3	El operario no ha recibido capacitaciones, cursos o inducciones sobre los riesgos laborales	Trabajadores informados sobre los riesgos potenciales en su lugar de trabajo pueden tomar las medidas necesarias para prevenir accidentes y lesiones.

Fuente: Behling, Marín et al. 2003, de la Unión Europea 2007, Salcedo-Pérez, Vázquez-Alarcón et al. 2007, Fuenzalida 2012, Taco Cando 2012, Gutiérrez Cevallos and Naranjo Yoza 2014, Betancur Pérez 2017, Sebastián, Javier et al. 2018

en la figura 38 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la valorización probabilidad de ocurrencia e impacto.

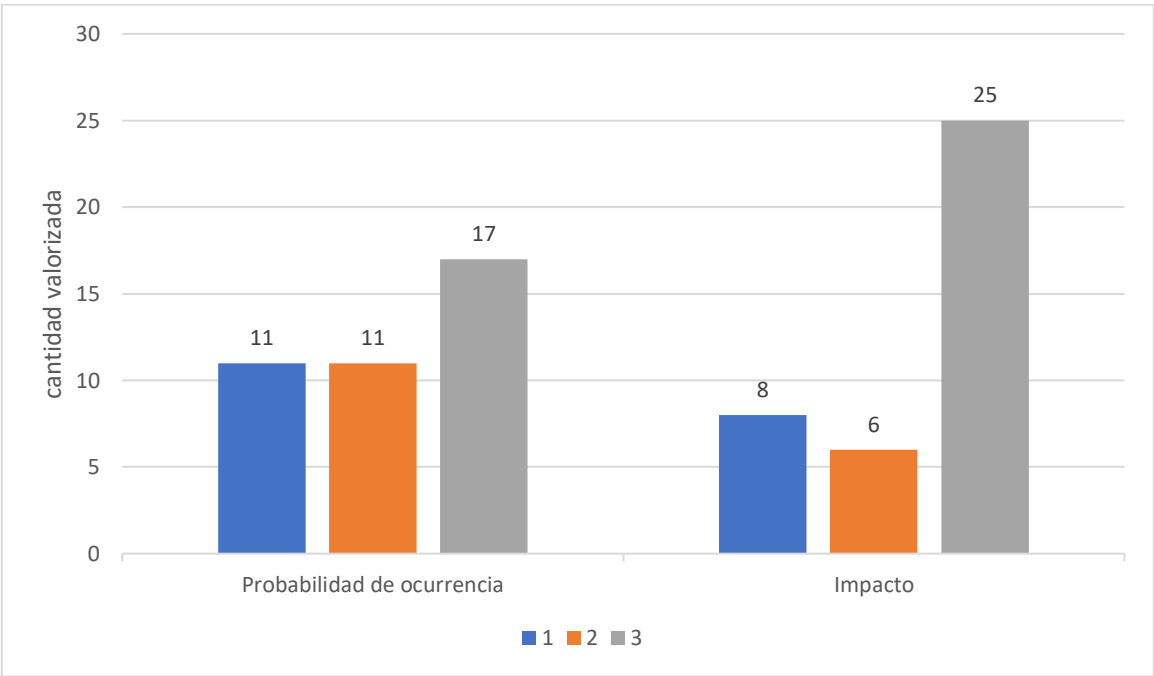


Figura 38. resultados obtenidos en la valorización probabilidad de ocurrencia e impacto.

Fuente: Elaboración propia

Al igual que en el sistema de tratamiento de agua potable, se ha observado que tanto la probabilidad de ocurrencia como el impacto tienen un valor predominante de tres, lo cual los clasifica como “probable” y “grave” respectivamente. Esto sugiere que existe una alta posibilidad de enfrentar riesgos clasificados como “altos”. La tabla 33 muestra los resultados finales de la valorización del riesgo, utilizando la misma metodología que en la PTAP, donde se categoriza el riesgo como bajo (1-2), medio (3-5) y alto (6-9).

Tabla 33. Valoración y clasificación del riesgo para el sistema de tratamiento de aguas servidas

COMPONENTE	EVENTO PELIGROSO	VALORIZACIÓN DEL RIESGO			BAJO
		P	I	R	MEDIO
					ALTO
USUARIOS	Disposición de objetos obstructivos por el sistema de excreta	3	3	9	ALTO
	Percepción de olores provenientes de la PTAS (Viviendas cercanas a la PTAS)	1	2	2	BAJO
	Desbordes e inundaciones frecuentes en la población villa esperanza (136 viviendas a 500 m de la PTAS)	2	3	6	ALTO
	Uso de lodos deshidratados sin autorización sanitaria (D.S. 4, MINSAL) proveniente de la PTAS para hortalizas (vecinos)	2	3	6	ALTO
	Presencia de vectores en sectores cercanos a la PTAS	3	3	9	ALTO
SISTEMA DE ALCANTARILLADO	Obstrucción de cámaras de inspección en época invernal	2	3	6	ALTO
	Obstrucción de la red (Ej.: Residuos domiciliarios, animales faenados y materiales de construcción)	3	3	9	ALTO
	Roturas de matriz por maquinaria pesada	1	3	3	MEDIO
	Conexión de la población villa esperanza	3	1	3	MEDIO
	Emanación de malos olores	1	2	2	BAJO
PRETRATAMIENTO	Obstrucción de rejillas de sólidos gruesos	3	3	9	ALTO
	Rebalses en época de invierno	2	3	6	ALTO
TRATAMIENTO SECUNDARIO	Medidores de caudal en mal estado	3	1	3	MEDIO
	Fallas operacionales en los biodiscos (Desgranajes, desgaste de pernos y cortes de cadenas, otros)	2	3	6	ALTO
	Desestabilización de lodos activados	3	3	9	ALTO
	Falla de bombas	2	3	6	MEDIO
LINEA DE LODOS	Falta de registro de la cantidad de lodos generados	1	1	1	BAJO
	Falta de registro de caracterización de lodos generados (Calidad)	3	2	6	ALTO
	Falta de registro de la disposición de lodos generados	3	1	3	MEDIO
DESINFECCIÓN	Desprogramación del equipo clorador por corte de luz	2	3	6	ALTO
	Obstrucción de manguera dosificadora	2	3	6	ALTO
CUERPO RECEPTOR	Posible descarga de efluente sin desinfección y/o con incumplimientos de parámetros de descarga (D.S.90)	2	3	6	ALTO

Tabla 33. Valoración y clasificación del riesgo para el sistema de tratamiento de aguas servidas (Continuación)

COMPONENTE	EVENTO PELIGROSO	VALORIZACIÓN DEL RIESGO			BAJO
		P	I	R	MEDIO
					ALTO
MANTENCIÓN DEL SISTEMA	Mantenimiento y arreglo de generador eléctrico depende de un tercero desde Lebu	1	3	3	MEDIO
	Falta de mantenimiento del recinto; presencia de escombros y restos de materiales	1	2	2	BAJO
	Falta de mantenimiento del sistema de biodiscos por falta de recursos	3	3	9	ALTO
	Falta de mantenimiento de las cámaras de inspección	3	1	3	MEDIO
OPERACIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA	Monitoreo de parámetros fisicoquímicos de agua dos veces al año	1	3	3	MEDIO
	Ausencia de control de parámetros en reactor biológico	3	3	9	ALTO
	Eventos en la operación que generen olores molestos en condiciones ambientales desfavorables	1	2	2	BAJO
	Falta de capacitación del operario	2	2	4	MEDIO
	Falta de protocolos frente a desastres naturales (Incendios, terremotos)	3	3	9	ALTO
	Falta de registros y documentos relevantes (Resoluciones sanitarias, registro de inventarios y equipos)	1	1	1	BAJO
ADMINISTRACIÓN DEL SERVICIO	Falta de recursos económicos para compra, mejoramiento y actualización de equipos/instrumentos	3	1	3	MEDIO
	Administrativas sin equipamiento adecuados para sus labores	1	1	1	BAJO
SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL	Operarios sin vacuna	3	3	9	ALTO
	Exposición a agentes patógenos	3	3	9	ALTO
	No uso o uso inadecuado de los EPP	2	3	6	ALTO
	Caídas de alto nivel en labores de operación y mantenimiento del servicio	1	3	3	MEDIO
	Ausencia de conocimientos de los riesgos asociados a la actividad laboral	3	3	9	ALTO

Fuente: Elaboración propia basado en Chacón Herrera, A. (2018)

A analizar la información de la tabla 33 se ha determinado que un 53,9% de los eventos, es decir, un total de 21 eventos son clasificados como riesgo alto. Además, el 25,6% de los eventos, lo que equivale a un total de 11 eventos, se clasifican como riesgo medio. Por último, el 20,5% de los eventos, lo cual representa 8 eventos en total, se clasifican como riesgo bajo.

Es fundamental destacar que la mitad de los eventos identificados se clasifican como riesgo alto, lo cual implica una alta probabilidad de ocurrencia de eventos adversos con un impacto grave. Por lo tanto, es crucial garantizar que los recursos financieros y los esfuerzos se centren en abordar los riesgos más altos con la máxima urgencia y prioridad. Para realizar esto es necesario ver aquellos componentes que presentan más riesgos clasificados como altos.

En la figura 39 se presenta un análisis de la cantidad y el porcentaje de clasificación del riesgo en cada componente del sistema, proporcionando una visión general de cómo se distribuye el riesgo.

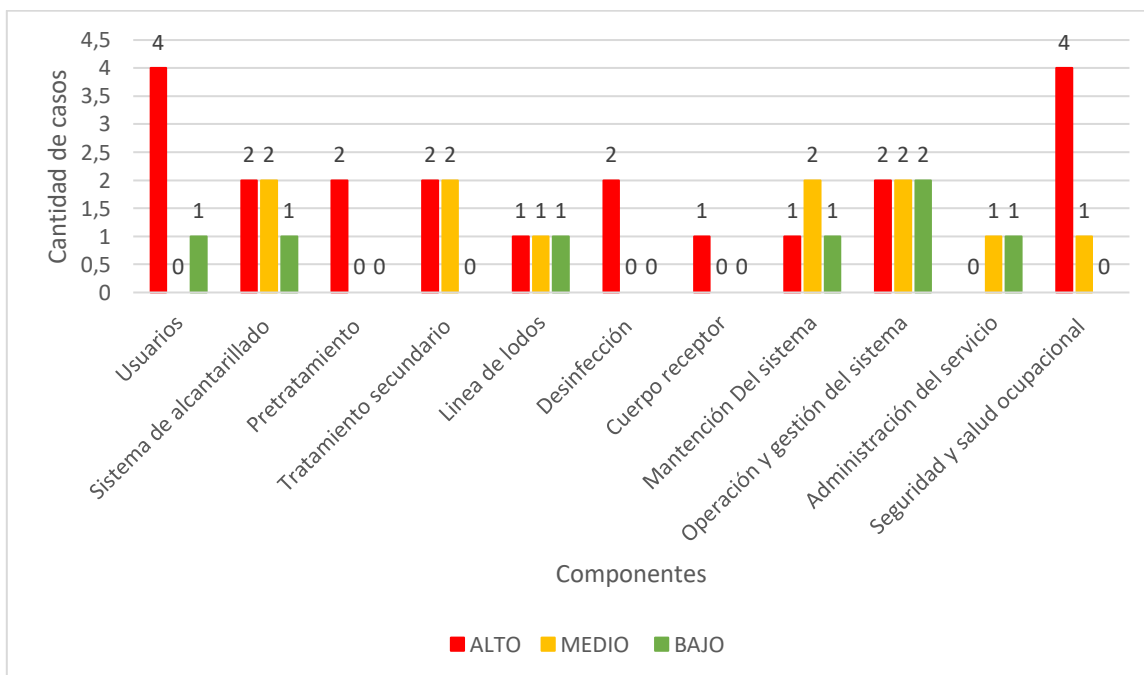


Figura 39. Análisis de la cantidad y el porcentaje de clasificación del riesgo en cada componente del sistema.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 39, se evidencia que el componente de seguridad y salud ocupacional es el que presenta la mayor cantidad de eventos peligrosos clasificados con riesgo alto. Esta situación se atribuye a la carencia de vacunas en operarios, exposición a agentes patógenos, no uso o uso inadecuado de los EPP y a la ausencia de conocimiento de los riesgos asociados a la actividad laboral. Tomando en cuenta estos aspectos, es necesario implementar medidas como incluir un control de vacunas, capacitaciones sobre el uso adecuado de los EPP y charlas sobre riesgos laborales.

De igual forma, el componente de usuarios también presenta un alto índice de riesgos clasificados como altos, los cuales se deben principalmente al desborde de aguas servidas, uso de lodos deshidratados y presencia de vectores en sectores cercanos a la PTAS. Es crucial tomar medidas preventivas y correctivas como un protocolo de manejo de lodos deshidratados, implementación de programas de manejos de vectores en sectores aledaños a la planta e informar o educar a los usuarios sobre el correcto uso de las instalaciones.

A diferencia de los componentes nombrados en el párrafo anterior, los demás presentan entre uno o dos eventos peligrosos con una clasificación del riesgo alta. Sin embargo, es importante abordar y prevenir estos eventos peligrosos, incluso si su número es bajo, ya que cada evento peligroso puede tener implicaciones significativas en la seguridad y bienestar de los usuarios.

6. CONCLUSIONES

El servicio sanitario rural de la localidad de Pehuén cuenta con la información suficiente para llevar a cabo una descripción básica de ambos sistemas. Lo que incluye la creación de diagramas de bloque y recopilación de datos operacionales, administrativos y de calidad de agua. Una descripción detallada de los sistemas nos permite abordar de mejor forma la identificación de los eventos peligrosos y la valorización del riesgo. Por ende, es importante recopilar la mayor cantidad de información posible.

En lo correspondiente a la compilación de eventos peligrosos, para el sistema de tratamiento de agua potable, los eventos peligrosos se originan en mayor proporción debido a factores externos y su peligro asociado es en mayor medida de tipo biológico. Por otro lado, en el sistema de tratamiento de aguas servidas, el origen de los eventos se debe en mayor medida a la operación del sistema y su peligro predominante es de tipo biológico.

La estimación de la probabilidad de ocurrencia fue una de las dificultades al momento de valorizar los eventos peligrosos. Esto se debió a la escasa información documentada sobre a ocurrencia de dichos eventos. Por consiguiente, fue necesario realizar talleres, encuestas de percepción y/o mesas de trabajo con el fin de obtener información basada en las experiencias y conocimientos de aquellos que operan y trabajan en ambos sistemas.

En el sistema de tratamiento de agua potable el 38,7% de los eventos peligrosos se clasifica con un nivel de riesgo alto, un 33,9% con un nivel de riesgo medio y 27,4% un nivel de riesgo bajo, siendo el componente más crítico redes de conducción y distribución. Por otro lado, para el sistema de tratamiento de aguas servidas el 53,9% presenta un nivel de riesgo alto, lo cual es bastante preocupante ya que representa a más de la mitad de los eventos peligroso, siendo los componentes más críticos usuarios y salud y seguridad ocupacional.

Ahora en respuesta a la pregunta de investigación “¿Cuáles son los peligros y eventos peligrosos del Servicio Sanitario Rural de Pehuén que generan riesgos relevantes para dicha localidad?”, estos son los eventos peligrosos que obtienen la valorización mas alta en la matriz semicuantitativa de 3x3 recomendada por la OMS.

En el sistema de tratamiento de agua potable, de los 24 eventos peligrosos clasificados con nivel de riesgo alto, 10 presentan una puntuación de 9, es decir el nivel de riesgo más alto, los cuales se encuentran en los componentes de cuenca, tratamiento y desinfección, almacenamiento, usuarios, mantención y operación y gestión.

Mientras que, para el sistema de tratamiento de aguas servidas de los 21 eventos peligrosos con un nivel de riesgo alto, 9 presentan la puntuación máxima, los cuales se encuentran en los componentes de usuarios sistema de alcantarillado, pretratamiento, tratamiento secundario, mantención del sistema, operación y gestión y seguridad y salud ocupacional.

Por ende, es importante corregir y mitigar estos eventos peligrosos con la finalidad de reducir su nivel de riesgo. Muchas veces medidas simples, como pueden ser medidas conductuales, pueden disminuir niveles de riesgo de los eventos peligrosos de forma considerable.

7. APORTE AL ODS 6

La presente investigación contribuye directamente a las metas planteadas en el Objetivo de Desarrollo Sostenible numero 6 (ODS6) agua limpia y saneamiento de la agenda 2030, cuyo objetivo principal consiste en “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible, y el saneamiento para todos”.

Específicamente se cumple con las metas N°2 y N°3, las cuales se describen a continuación:

- Meta N°1: Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos (UN, 2015).
- Meta N°3: Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial (UN, 2015).

El aporte de esta investigación a ambas metas del ODS 6 consiste en la identificación y valorización de eventos peligrosos tanto en el sistema de tratamiento de agua potable como en el sistema de tratamiento de aguas servidas, con la finalidad de poder jerarquizar y actuar sobre aquellos eventos peligrosos que representan un nivel de riesgo más alto. De esta forma aportando al acceso universal y equitativo al agua potable por parte de la población. Por otro lado, mejorar la calidad del agua de los cuerpos de agua receptores y reducir de forma efectiva las aguas residuales sin tratar.

REFERENCIAS

Amulén, F. (2019). "Pobres de agua." Radiografía del Agua Rural de Chile: Visualización de un Problema Oculto [Poor of Water. Radiography of Rural Water in Chile: Visualization of a Hidden Problem, Authors Translation].

Association, I. W. (2009). Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: método pormenorizado de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo, Organización Mundial de la Salud.

Atehortúa, S. G. "IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE PLANES DE SEGURIDAD DEL AGUA EN COLOMBIA-CASO DE ESTUDIO: CIUDAD DE MANIZALES."

Betancourt, Ó., et al. (2016). Enfoques ecosistémicos en salud y ambiente, Abya-Yala.

LA, M. P. E. U. Y. and D. S. DE "PLANIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD DEL SANEAMIENTO."

Martínez, A. D. (2001). "Biodiscos: una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales cuando no se dispone de grandes extensiones de terreno." Tecnología en marcha **13**(4): 57-59.

McFarland, M. L. and M. C. Dozier (2004). Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso, Cooperative de Texas Extensión, El Sistema Universitario Texas A & M.

Menéndez Gutiérrez, C. and J. Dueñas Moreno (2020). "Criterios de diseño y escalado de biodiscos para el tratamiento de aguas residuales." Ingeniería hidráulica y ambiental **41**(2): 64-74.

Olbrich, J. P. S. and F. T. Valencia (2017). "El Modelo de Gestión Comunitaria del Agua Potable Rural en Chile: Contexto Institucional, Normativo e Intenciones de Reforma." Foro Jurídico(16): 110-120.

Organization, W. H. (2017). Climate-resilient water safety plans: managing health risks associated with climate variability and change, World Health Organization.

Pérez Vidal, A., et al. (2009). "Planes de seguridad del agua. Fundamentos y perspectivas de implementación en Colombia." Ingeniería e Investigación **29**(3): 79-85.

Quiroga, J. A. V. and F. E. D. López (2008). "Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio." Revista de tecnología **7**(2): 21-28.

Ulloa, A. C. (2007). "Lebu, capital provincial de Arauco. Desarrollo territorial armónico." Urbano **10**(15): 91-96.

Yin, L., et al. (2019). "HEALTH ASSESSMENT OF THE AQUATIC ECOSYSTEM IN AIYI RIVER." Applied Ecology and Environmental Research **17**(4): 10013-10025.

Amézquita Marroquín, C. P., et al. (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.

Association, I. W. (2009). Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: método pormenorizado de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo, Organización Mundial de la Salud.

Dourojeanni, A. (2010). "Los desafíos de la gestión integrada de cuencas y recursos hídricos en América Latina y el Caribe." DELOS: Desarrollo Local Sostenible **3**(8): 1.

Lane, K., et al. (2021). "Exploring the Use of a Sanitation Safety Plan Framework to Identify Key Hazards in First Nations Wastewater Systems." Water **13**(11): 1454.
Amariles Guzmán, L. D. and J. A. Parra Chaparro (2019). "Implementación de un plan de seguridad de agua potable en la vereda Hondura Chingafrio del municipio El Rosal, Cundinamarca."

García, R., et al. (2018). "Plan de seguridad del agua en los Campos de Refugiados Saharais en Tindouf (Argelia)." Ingeniería del agua **22**(1): 37-52.

Gatto D'Andrea, M. L., et al. (2011). "Un plan de seguridad del agua para la ciudad de Salta." Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente **15**.

Ruiz Verástegui, K. d. R. and J. J. Chavez Llanos (2020). "Plan de seguridad del agua (PSA) en el sistema de agua potable (SAP) del ámbito urbano de la capital distrital de Ichocán, San Marcos."

Sánchez Maldonado, A. J. and W. V. González Castiblanco "Plan de seguridad del agua para el municipio de Tocaima."

Garzón-Zúñiga, M. A., et al. (2012). "La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias." Tecnología y ciencias del agua **3**(3): 153-161.

Silva, J., et al. (2008). "Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión." Agronomía colombiana **26**(2): 347-359.

Zenteno, D. E. A. (2015). Sistematización de la información de las Plantas de depuración de aguas residuales del sector rural del cantón Cuenca–Azuay, Universidad de Cuenca.

Alfaro, M. and F. Salazar (2005). "Ganadería y contaminación difusa, implicancias para el sur de Chile." Agricultura Técnica **65**(3): 330-340.

Amariles Guzmán, L. D. and J. A. Parra Chaparro (2019). "Implementación de un plan de seguridad de agua potable en la vereda Hondura Chingafrio del municipio El Rosal, Cundinamarca."

Amézquita Marroquín, C. P., et al. (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.

Barragán, H. L. (2010). "Desarrollo, salud humana y amenazas ambientales."

Chaves, F., et al. "Aplicación de procesos oxidativos avanzados (poa's) como pretratamiento de efluentes."

Conejeros Molina, A., et al. (2021). "Monitoreo de calidad del agua en sistema de agua potable rural." Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones **42**(3): 60-70.

Esquerdo, R., et al. "El Uso del Cloro en la Desinfección del Agua." Recuperado de http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/uso_cloro.pdf.

Gatto D'Andrea, M. L., et al. (2012). "Plan de seguridad del agua (PSA) para uno de los sistemas de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Salta." Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente **16**.

González, J. A. P., et al. "IMPLANTACIÓN DE UN PLAN DE SEGURIDAD DEL AGUA EN UNA ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE."

Jordan Ramirez, G. and L. Oñate Amaya (2010). Gestión de riesgos en tableros de baja tensión.

Marcó, L., et al. (2004). "La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina)." Higiene y Sanidad Ambiental **4**(11).

Martin Martin, R. A. (1998). "Aplicación de pesticidas y fertilizantes, en plantaciones forestales y su influencia en la contaminación del recurso hídrico."

McFarland, M. L. and M. C. Dozier (2004). Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso, Cooperative de Texas Extensión, El Sistema Universitario Texas A & M.

MEXICANO, J. (2008). IMPORTANCIA DE LA CALIDAD FISICO QUIMICA Y MICROBIOLOGICA DEL AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO NUEVA SANTA ROSA, GUATEMALA: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

Molina, J. M. and G. C. Brenes (2010). "Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa." Tecnología en marcha **23**(5): 34-40.

Negrón Martínez, S. (2014). "El Hierro y el Manganeseo en el Agua." Civil Engineering:

Osorio, P. C. and D. Peña (2014). "Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región." Universidad Tec. Fed. Sta Maria.

Pascual, A., et al. (2010). "Los residuos sólidos urbanos y su relación con la salud." Desarrollo, salud humana y amenazas ambientales: La crisis de la sustentabilidad. Ed. La Plata: Universidad Nacional de la Plata. Argentina: 217-228.

Pérez, G. B. (2012). "El confinamiento de la basura urbana y la contaminación de las fuentes de agua en México." Revista de El Colegio de San Luis **2**(4): 36-53.

Ruiz Verástegui, K. d. R. and J. J. Chavez Llanos (2020). "Plan de seguridad del agua (PSA) en el sistema de agua potable (SAP) del ámbito urbano de la capital distrital de Ichocán, San Marcos."

Sigler, A. and J. Bauder (2017). "Alcalinidad, pH, y sólidos disueltos totales." Obtenido de Well Educated Educación en el Agua de Pozo: http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS **20**: 2012-2011.

Tacora Villegas, P. (2016). "Efecto de las características ambientales y geológicas sobre la calidad de agua en la cuenca Caplina–Tacna."

Tomasini Ortiz, C. (2001). Muestreo y preservación para coliformes fecales y huevos de helminto, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Tecnología

