UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
Departamento de Ingeniería Comercial
Departamento de Obras Civiles

CARACTERIZACIÓN DE IMPACTO POR LA OPERACIÓN DE COLECTORES UNITARIOS Y PROPUESTA DE SOLUCIONES PARA VILLARRICA.

Cristian Gonzalo Fernández Fierro
MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA

SEPTIEMBRE 2026

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☐ Memoria o trabajo de título ☒ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Caracterización del impacto por la operación de colectores unitarios y propuesta de soluciones para Villarrica.

Nombre del candidato(a): Cristian Gonzalo Fernández Fierro

Carrera / Grado: Magíster en Gestión del Agua – Master of Water Management

Campus: Vitacura **Departamento:** Ingeniería Comercial /Obras Civiles

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, **Vivian Aranda Núñez**, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por **(marcar una opción)**:

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

_____

_____

_____

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 08-10-2026 Firma:

Estudiante o Candidato(a)

Fecha: 08-10-2026 Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA
MWM MASTER OF WATER MANAGEMENT

Departamento de Ingeniería Comercial
Departamento de Obras Civiles

CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO POR LA OPERACIÓN DE COLECTORES UNITARIOS Y PROPUESTAS DE SOLUCIONES PARA VILLARRICA.

Tesis de magister presentada por
Cristian Gonzalo Fernández Fierro
Como requisito para optar al Grado de
MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA

Director de Tesis:
Dra. Vivian Aranda Núñez
Septiembre 2026

TITULO DE TESIS:

Caracterización de impacto por la operación de colectores unitarios y propuesta de soluciones para Villarrica.

AUTOR:

Cristian Gonzalo Fernández Fierro

TRABAJO DE TESIS, presentando en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA – MASTER OF WATER MANAGEMENT de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Observaciones:

_____

_____

Dra. Vivian Aranda Núñez
Director de Tesis

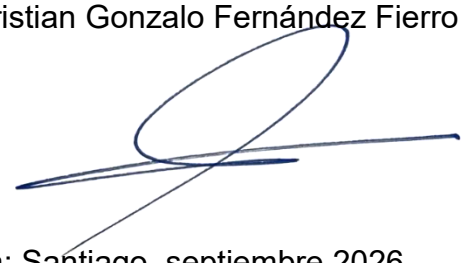
Dra. Teresita Arenas Yáñez
Correferente Interno

Mg. Gonzalo Murillo Vargas
Correferente Externo

Santiago, septiembre 2026

Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: Cristian Gonzalo Fernández Fierro

Firma: 

Fecha: Santiago, septiembre 2026

RESUMEN EJECUTIVO

Los sistemas de saneamiento cumplen un rol fundamental en la protección de la salud pública y del medio ambiente. Sin embargo, muchas ciudades aún operan con colectores unitarios, infraestructura que transporta conjuntamente aguas servidas y aguas lluvias hacia las plantas de tratamiento. Si bien este tipo de sistema respondió adecuadamente a las necesidades de desarrollo de su época, actualmente enfrenta importantes desafíos debido al crecimiento urbano, la impermeabilización de las superficies y la mayor ocurrencia de eventos de lluvia, factores que incrementan los caudales que deben ser transportados y tratados.

La ciudad de Villarrica presenta esta condición en parte de su red de recolección de aguas servidas. Durante los períodos de precipitación, los colectores unitarios reciben importantes aportes de aguas lluvias que aumentan considerablemente la carga hidráulica del sistema. Como consecuencia, la infraestructura sanitaria opera bajo condiciones más exigentes, incrementando el riesgo de reboses, la utilización de recursos para el tratamiento y la posibilidad de afectar el entorno ambiental, particularmente el lago Villarrica.

Frente a esta realidad, la presente investigación tuvo como objetivo caracterizar el impacto generado por la operación de los colectores unitarios sobre el sistema de saneamiento de la ciudad de Villarrica y proponer soluciones que contribuyan a mejorar su desempeño hidráulico, operacional, ambiental y económico.

Para desarrollar el estudio se diseñó una metodología que integró la revisión de antecedentes técnicos y científicos, la recopilación de información histórica de operación de la empresa sanitaria, la caracterización de la infraestructura existente, el análisis hidráulico de la red, la identificación de actores involucrados y la aplicación de un modelo matemático ajustado a las condiciones reales de funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de Villarrica.

El análisis permitió identificar que la problemática asociada a los colectores unitarios no depende únicamente de la capacidad de conducción de la red, sino que responde a la interacción de distintos factores hidráulicos, operacionales y económicos. Se identificaron tramos de colectores que actualmente presentan limitaciones de capacidad y sectores que operan con una holgura muy reducida, transformándose en puntos críticos donde aumentan las probabilidades de reboses durante eventos de lluvia.

Asimismo, la información operacional recopilada permitió evidenciar que el incremento de los caudales tratados tiene un efecto directo sobre la operación de la PTAS. El aumento de agua que ingresa al sistema producto de las precipitaciones implica una mayor utilización de energía eléctrica, reactivos químicos y recursos destinados al tratamiento y manejo de residuos. Para representar estas relaciones

se desarrolló un modelo matemático multivariable ajustado con información histórica de operación, el cual permitió explicar de manera satisfactoria el comportamiento del sistema y transformarse en una herramienta de apoyo para la evaluación de escenarios futuros.

Como complemento, la investigación incorporó una aproximación económica que permitió dimensionar el efecto que tiene la sobrecarga hidráulica sobre los costos de operación de la planta. Los resultados muestran que el ingreso de aguas lluvias al sistema sanitario no solo incrementa las exigencias hidráulicas de la infraestructura, sino que también representa un aumento en los recursos necesarios para mantener la continuidad y eficiencia del tratamiento, aportando un argumento técnico adicional para priorizar futuras inversiones orientadas a disminuir estos aportes.

A partir de los resultados obtenidos fue posible elaborar una propuesta de soluciones orientada a reducir los efectos asociados a la operación de los colectores unitarios. Estas alternativas consideran tanto intervenciones sobre la infraestructura existente como medidas de gestión, monitoreo y planificación, incorporando además estrategias de drenaje urbano sostenible que permitan disminuir el ingreso de aguas lluvias al sistema sanitario y fortalecer la resiliencia del sistema frente a futuros escenarios de crecimiento urbano y cambio climático.

En conjunto, esta investigación entrega una visión integrada del funcionamiento del sistema de saneamiento de Villarrica, relacionando aspectos hidráulicos, operacionales y económicos que habitualmente son analizados de forma independiente. El estudio constituye una herramienta de apoyo para la toma de decisiones y aporta una metodología que puede ser aplicada en otras ciudades que presentan sistemas de colectores unitarios, contribuyendo al desarrollo de soluciones más eficientes y sostenibles para la gestión del agua urbana.

ABSTRACT

Sanitation systems play a fundamental role in protecting public health and the environment. However, many cities still operate with combined sewer systems, infrastructure designed to convey both wastewater and stormwater to treatment plants. Although this type of system adequately met the needs of urban development at the time it was built, it now faces significant challenges due to urban growth, increasing impervious surfaces, and the greater frequency of rainfall events, all of which increase the flows that must be conveyed and treated.

The city of Villarrica reflects this situation. Part of its wastewater collection network still operates with combined sewers, which receive significant stormwater inflows during rainfall events, considerably increasing the hydraulic load on the system. As a result, the sanitation infrastructure operates under more demanding conditions, increasing the risk of sewer overflows, the consumption of treatment resources, and the potential environmental impacts on Lake Villarrica, one of the municipality's most important natural, recreational, and tourism assets.

In response to this context, the objective of this research was to characterize the impact generated by the operation of the combined sewer system on the sanitation system of the city of Villarrica and to propose solutions aimed at improving its hydraulic, operational, environmental, and economic performance.

To achieve this objective, a methodology was developed that integrated a review of technical and scientific literature, the collection of historical operational data from the water utility, the characterization of the existing infrastructure, hydraulic analysis of the network, the identification of relevant stakeholders, and the application of a mathematical model adjusted to the actual operating conditions of the Villarrica Wastewater Treatment Plant (WWTP).

The analysis showed that the problems associated with the combined sewer system are not solely related to the hydraulic capacity of the network but rather result from the interaction of hydraulic, operational, and economic factors. The study identified sewer sections that currently present capacity limitations, as well as areas operating with very limited hydraulic reserve, becoming critical points where the likelihood of overflows increases significantly during rainfall events.

Likewise, the operational data collected demonstrated that increases in treated flow have a direct impact on the operation of the WWTP. The additional water entering the system as a result of rainfall leads to higher electricity consumption, increased use of chemical reagents, and greater demand for sludge treatment and disposal. To represent these relationships, a multivariable mathematical model was developed and calibrated using historical operational records, allowing the system's behavior to be represented satisfactorily and providing a practical tool for evaluating future operational scenarios.

In addition, the research incorporated an economic assessment that made it possible to quantify the effect of hydraulic overloading on the plant's operating costs. The results show that stormwater inflows into the sewer system not only increase the hydraulic demands placed on the infrastructure but also require additional resources to ensure continuous and efficient treatment, providing further technical justification for prioritizing future investments aimed at reducing these inflows.

Based on the results obtained, a set of solutions was developed to mitigate the impacts associated with the operation of the combined sewer system. These proposals include improvements to the existing infrastructure, operational management measures, enhanced monitoring, the implementation of predictive models, and the incorporation of sustainable urban drainage strategies to reduce stormwater inflows into the wastewater system and strengthen the system's resilience to future urban growth and climate change scenarios.

Overall, this research provides an integrated understanding of the operation of the Villarrica sanitation system by linking hydraulic, operational, and economic aspects that are often analyzed separately. The study offers a practical decision-support tool and presents a methodology that can be applied to other cities facing similar challenges associated with combined sewer systems, thereby contributing to the development of more efficient and sustainable approaches to urban water management.

INDICE

1. INTRODUCCION 13
2. ORIGEN, PROPÓSITO Y ALCANCES DEL ESTUDIO 15
3. OBJETIVOS 18
3.1. OBJETIVO GENERAL 18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18
4. ESTADO DEL ARTE 20
4.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA. 20
4.1.1. Revisión bibliográfica estructurada para el desarrollo de la tesina .. 24
4.1.2. Aporte del magister 25
4.1.3. Revisión de la experiencia nacional e internacional en sistemas de colectores unitarios o compartidos 27
4.2. ANTECEDENTES DEL ESTADO DEL ARTE 28
4.3. SUJETO DE ESTUDIO 29
4.4. MARCO TEÓRICO DEL ESTADO DEL ARTE. 35
4.4.1. Diagrama de ideas 36
5. PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO 36
5.1. ETAPA 1, SOBRE EL ESTADO DEL ARTE 36
5.2. ETAPA 2, SOBRE EL LEVANTAMIENTO E INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA. 37
5.3. ETAPA 3, LEVANTAMIENTO DE ACTORES, CONSTRUCCIÓN DE BASE DE DATOS Y DEFINICIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS 38
5.4. ETAPA 4, SOBRE LA APLICACIÓN METODOLÓGICA SEGÚN LOS DATOS RECOPILADOS 39
5.5. ETAPA 5, SOBRE LA INTEGRACIÓN DE RESULTADOS 40
5.6. ETAPA 6, SOBRE PROPUESTAS DE SOLUCIÓN Y MEJORA DEL SISTEMA 41
5.7. CRONOLOGÍA DE LOS TIEMPOS DE TRABAJOS 42
6. APLICACIÓN METODOLÓGICA 43
6.1. ESTADO DEL ARTE 43
6.2. LEVANTAMIENTO E INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA. 43
6.2.1. Caracterización de la infraestructura y áreas de aporte 43

6.2.2. Identificación de capacidades hidráulicas y puntos críticos del sistema de colectores unitarios 47
6.2.3. Planta elevadora de aguas residuales 47
6.2.4. Planta de tratamiento de aguas servidas 48
6.3. LEVANTAMIENTO DE ACTORES, CONSTRUCCIÓN DE BASE DE DATOS Y DEFINICIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS. 50
6.3.1. Identificación de grupos de interés 50
6.3.2. Oferta y demanda de la localidad de Villarrica 51
6.3.3. Serie de datos temporales 52
6.3.4. Aplicación de modelo matemático ajustado 53
7. RESULTADOS 57
7.1. EVALUACIÓN DE CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN DE LOS COLECTORES UNITARIOS 57
7.2. CARACTERIZACIÓN OPERACIONAL Y APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO 58
7.3. IMPACTO ECONÓMICO DE LA SOBRECARGA HIDRÁULICA 61
8. CONCLUSIONES 65
8.1. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .. 65
8.2. CONCLUSIONES GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN 66
8.3. IMPLICANCIAS PARA LA GESTIÓN DEL AGUA 66
8.4. APORTE Y PROYECCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 67
9. RECOMENDACIONES 68
9.1. PRIORIZACIÓN DE INTERVENCIONES EN TRAMOS CRÍTICOS 69
9.2. DISMINUCIÓN DEL INGRESO DE AGUAS LLUVIAS AL SISTEMA SANITARIO 69
9.3. INCORPORACIÓN DE SOLUCIONES BASADAS EN LA ABSORCIÓN Y RETENCIÓN DE AGUAS LLUVIAS 69
9.4. FORTALECIMIENTO DEL MONITOREO OPERACIONAL 70
9.5. ACTUALIZACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO 70
9.6. DESARROLLO DE MODELACIÓN HIDRÁULICA AVANZADA..... 70
9.7. INCORPORACIÓN DE INDICADORES ECONÓMICOS 70
9.8. PROTECCIÓN AMBIENTAL Y FORTALECIMIENTO DE LA GESTIÓN 71
9.9. PROYECCIÓN DE LA METODOLOGÍA 71

10. BIBLIOGRAFÍA 72
11. Webgrafía 76
12. Glosario y Acrónimos 77
13. ANEXOS 80
13.1. FICHAS BIBLIOGRÁFICAS MWM. 80
13.2. FICHAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTARIAS. 114
13.3. IMÁGENES 146
13.4. TABLAS 150

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Revisión bibliográfica 21
Tabla 2: Revisión bibliográfica relevante. 25
Tabla 3: Revisión bibliográfica aportada por MWM relevante. 27
Tabla 4. Carta Gantt – Desde semana 1 a semana 16 42
Tabla 5. Resumen mensual de variables operacionales de la PTAS Villarrica para el período 2024–2026. 49
Tabla 6. Matriz de poder e interés de los actores del sistema de colectores unitarios en Villarrica. 50
Tabla 7. Oferta de producción de agua potable de Villarrica. 52
Tabla 8. Modelo matemático ajustado para la proyección operacional y estimación de recursos en la PTAS Villarrica 60
Tabla 9. Gastos operacionales diarios promedio para un volumen tratado de 487.565 m³/mes en la PTAS Villarrica. 61
Tabla 10. Indicador económico asociado al tratamiento de aguas residuales en la PTAS Villarrica. 62
Tabla 11. Matriz comparativa y priorización de las soluciones propuestas 68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bloom de algas en lago Villarrica 15
Figura 2. Red de colectores de Villarrica..... 30
Figura 3. Red unitaria Epulef 31
Figura 4. Red unitaria Epulef 3 y Colo Colo 32
Figura 5. Evolución del modelo teórico de la investigación 36
Figura 6. Áreas tributarias de red unitaria Epulef 0, Epulef 1 y Epulef 2..... 44
Figura 7. Áreas tributarias de red unitaria Epulef 3 45
Figura 8. Áreas tributarias de red unitaria Colo Colo 2..... 46

1. INTRODUCCION

El adecuado funcionamiento de los sistemas de recolección y tratamiento de aguas servidas constituye uno de los pilares fundamentales para la protección de la salud pública, la conservación del medio ambiente y el desarrollo sostenible de las ciudades. Sin embargo, muchas localidades aún operan con sistemas de colectores unitarios, diseñados para transportar conjuntamente aguas servidas y aguas lluvias, condición que hoy representa un desafío importante debido al crecimiento urbano, el aumento de superficies impermeables y la mayor frecuencia de eventos de precipitación.

La ciudad de Villarrica es un ejemplo de esta realidad, parte de su sistema de saneamiento mantiene este tipo de infraestructura, la cual, durante los períodos de lluvia, recibe caudales considerablemente superiores a los generados únicamente por las aguas servidas domésticas. Esta situación provoca sobrecargas hidráulicas que afectan el funcionamiento de la red de colectores, las estaciones elevadoras y la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), generando además riesgos ambientales asociados a reboses y descargas hacia el lago Villarrica, uno de los principales patrimonios naturales y turísticos de la comuna.

Frente a este escenario, surge la necesidad de comprender cómo interactúan los distintos elementos que conforman el sistema y de qué manera los aportes de aguas lluvias modifican su comportamiento. Más allá de analizar cada componente de forma independiente, resulta necesario integrar la información disponible para entender el problema en su conjunto y reconocer las relaciones existentes entre la infraestructura, la operación del sistema y los recursos necesarios para su funcionamiento.

En respuesta a esta necesidad, la presente investigación tiene como objetivo caracterizar el impacto generado por la operación de los colectores unitarios sobre el sistema de saneamiento de Villarrica y proponer alternativas de solución que contribuyan a mejorar su desempeño hidráulico, operacional, ambiental y económico. Para ello, se desarrolló una metodología que combina la revisión de antecedentes técnicos y científicos con el análisis de información histórica de operación, la evaluación de la capacidad hidráulica de la red, la identificación de actores relevantes y la aplicación de herramientas de análisis que permitieran representar el comportamiento del sistema bajo distintas condiciones de funcionamiento.

El desarrollo de la investigación se apoyó en información operacional proveniente de la empresa sanitaria, registros históricos de producción y tratamiento, antecedentes técnicos de la infraestructura y documentación especializada sobre sistemas de saneamiento urbano. A partir de esta información fue posible construir una base de análisis que permitió estudiar el comportamiento

del sistema desde distintas perspectivas, relacionando variables hidráulicas, operacionales y económicas para comprender de mejor manera la dinámica de los colectores unitarios y sus efectos sobre la operación de la PTAS.

Es importante señalar que esta investigación no busca presentar cada dato recopilado de manera individual, sino integrar los antecedentes más relevantes para identificar tendencias, relaciones y patrones de comportamiento que permitan explicar el problema estudiado. En este sentido, los resultados expuestos corresponden a una síntesis de los principales hallazgos obtenidos durante la aplicación metodológica, priorizando aquellos que aportan una comprensión más completa del funcionamiento del sistema y de los factores que condicionan su desempeño.

El estudio también incorpora una aproximación mediante un modelo matemático ajustado a las condiciones operacionales de la PTAS Villarrica, desarrollado a partir de registros históricos de operación. Esta herramienta permite representar la relación existente entre el volumen tratado y variables como el consumo de energía, el uso de reactivos, la generación de lodos y los eventos de bypass, entregando una base cuantitativa para comprender el impacto que generan los aumentos de caudal sobre la operación del sistema.

La relevancia de esta investigación trasciende el caso particular de Villarrica. La metodología propuesta puede ser aplicada en otras localidades que presentan sistemas de colectores unitarios o problemas similares de sobrecarga hidráulica, constituyéndose en una herramienta de apoyo para la planificación, la gestión operacional y la priorización de inversiones en infraestructura sanitaria.

Finalmente, la tesina se estructura en distintos capítulos que desarrollan de manera progresiva el problema de investigación. En primer lugar, se presentan los antecedentes generales y el marco conceptual que sustenta el estudio. Posteriormente, se describe la metodología aplicada y su implementación en la localidad de Villarrica. A continuación, se exponen los resultados obtenidos a partir del análisis hidráulico, operacional y económico del sistema. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación, orientadas a contribuir al mejoramiento del sistema de saneamiento y a la reducción de los impactos asociados al funcionamiento de los colectores unitarios.

2. ORIGEN, PROPÓSITO Y ALCANCES DEL ESTUDIO

Este estudio nace a partir de una realidad concreta que hoy se vive en Villarrica, donde la operación de los colectores unitarios sigue generando una serie de problemas que afectan tanto a la empresa sanitaria como al entorno natural y a la comunidad. No se trata de un tema teórico, sino de una situación que se enfrenta día a día en la operación, con impactos visibles en los costos, en la calidad del servicio y, cada vez con mayor fuerza, en el medio ambiente.

En la práctica, este tipo de sistema que mezclan aguas servidas con aguas lluvias, provoca una sobrecarga importante en el sistema de recolección, especialmente en periodos de lluvia. Esto se traduce en mayores caudales a tratar, desbordes puntuales y un aumento considerable en los costos operacionales para la empresa concesionaria de la localidad. A esto se suma la presión normativa y las exigencias ambientales actuales, que son mucho más estrictas que cuando estos sistemas fueron diseñados, lo que genera una brecha importante entre la infraestructura existente y los estándares que hoy se esperan cumplir.

Uno de los puntos más sensibles de esta situación es el impacto sobre el entorno natural, particularmente en el lago Villarrica. En los últimos años, distintos medios de comunicación nacionales han informado sobre episodios de contaminación del lago, destacando la presencia de procesos de eutrofización asociados al exceso de nutrientes en el agua. Por ejemplo, reportes de prensa han señalado que el lago Villarrica ha presentado niveles preocupantes de proliferación de algas (Figura 1), lo que ha obligado a las autoridades a monitorear constantemente su estado y a evaluar medidas de control más estrictas (Mesa de noticias de El Mostrador, 16).



Figura 1. Bloom de algas en lago Villarrica

Fuente: Mesa de noticias el mostrador (2024).

Estas noticias han generado una creciente preocupación en la ciudadanía, ya que el lago no solo es un elemento ambiental clave, sino también un motor del turismo y del desarrollo local. Su deterioro impacta directamente en la calidad de vida de los habitantes y en la imagen de la ciudad como destino turístico. En este contexto, la relación entre la operación de los sistemas sanitarios y el estado del lago se vuelve cada vez más evidente, reforzando la necesidad de abordar esta problemática de manera integral.

Ahora bien, uno de los grandes desafíos es que gran parte de la información disponible sobre el sistema es antigua. Los antecedentes más relevantes datan de cuando la infraestructura fue recibida en 1988, lo que deja un vacío importante respecto a cómo se comporta hoy el sistema bajo las condiciones actuales. Sin embargo, lejos de ser una limitación, esto abre una oportunidad: levantar información actualizada que permita entender de verdad qué está pasando hoy, con datos concretos y una mirada más moderna.

En ese sentido, este trabajo busca generar un diagnóstico actualizado, utilizando herramientas y enfoques aprendidos en el programa de Magíster en Gestión del Agua. La idea es integrar distintas miradas: técnica, económica, ambiental y social, para lograr una comprensión más completa del problema. Esto no solo permite identificar mejor las causas, sino también dimensionar de forma más clara sus impactos.

Desde lo personal y profesional, este tema tiene un valor importante. Representa una oportunidad concreta de aplicar conocimientos en un caso real, enfrentando una problemática compleja que exige análisis, criterio y capacidad de proponer soluciones. Al mismo tiempo, permite crecer profesionalmente, fortaleciendo habilidades clave como la gestión de sistemas, la toma de decisiones y la planificación de inversiones.

Además, es un tema completamente abordable. Existen datos, experiencia en terreno y herramientas suficientes para realizar un levantamiento serio del sistema. A partir de eso, es posible construir análisis más profundos, identificar patrones y proyectar escenarios. Esto permite no solo entender el problema, sino también avanzar hacia propuestas de solución que sean realmente aplicables.

Un aspecto relevante es que estas soluciones no pueden ser solo técnicas. Es necesario considerar también la viabilidad económica, los permisos necesarios y la relación con la comunidad y los distintos actores involucrados. En este tipo de problemas, la gestión de intereses es clave, porque cualquier intervención impacta directamente en el entorno y en las personas.

El atractivo de este tema radica en que obliga a integrar distintas áreas. No basta con la ingeniería; también se requiere planificación, gestión, visión estratégica y entendimiento del contexto. Es un problema que refleja muy bien lo que implica hoy gestionar el agua de manera moderna, donde todo está conectado.

Además, abre la puerta a pensar en soluciones más innovadoras, como sistemas de drenaje urbano sostenible o medidas basadas en la naturaleza, que permitan reducir la carga sobre el sistema y adaptarse mejor a escenarios futuros, como el cambio climático.

En definitiva, este trabajo busca avanzar en la comprensión de un problema crítico para Villarrica, aportando con un análisis aplicado que permita mejorar la gestión del sistema sanitario, proteger el entorno y contribuir al bienestar de la comunidad.

3. OBJETIVOS

En el desarrollo de la tesina resulta fundamental definir con claridad los objetivos que guían el estudio. Estos permiten acotar el alcance de la investigación, orientar el enfoque metodológico y conducir el análisis de los efectos asociados al funcionamiento de los colectores unitarios dentro del sistema de saneamiento local. En este contexto, a continuación, se presentan el objetivo general y los objetivos específicos de este trabajo.

3.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de la tesina se estructura en cuatro componentes fundamentales en forma de preguntas: qué se realizará, dónde se llevará a cabo, cómo se desarrollará y con qué propósito. En base a esta estructura, se plantea el siguiente objetivo general:

> **Determinar el impacto del funcionamiento de colectores unitarios en el actual sistema de saneamiento local, en la microcuenca urbana de Villarrica. Determinando costos asociados a la operación del sistema de saneamiento, daño ambiental, para proponer soluciones que permitan mitigar los riesgos a los grupos de interés.**

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. **Identificar** la documentación técnica, normativa y bibliográfica relevante para caracterizar los colectores unitarios.
2. **Asociar** la información recopilada del MWM para describir el estado actual de los colectores unitarios y su interacción con el sistema de saneamiento.
3. **Revisar** la experiencia nacional e internacional de los colectores unitarios o compartidos.
4. **Comprender** los límites y comportamiento de los colectores unitarios de Villarrica.
5. **Diseñar** la metodología de recopilación de información para cuantificar aportes de caudal y carga de contaminante en condiciones normales y durante eventos de lluvia.
6. **Identificar** los actores relevantes vinculados directamente al impacto de colectores unitario en microcuenca de Villarrica.

7. **Recopilar** series de datos y **Desarrollar** una base de datos del sistema en diferentes periodos de operación, en estaciones elevadoras y unidades de tratamiento.
8. **Escoger** un modelo matemático para definir la estrategia.
9. **Definir** los comportamientos hidráulicos del sistema mediante modelación bajo distintos escenarios climáticos y operacionales.
10. **Establecer** el modelo hidráulico, más ajustado el sistema unitario instalado en Villarrica.
11. **Aplicar** un modelo matemático para generar la estrategia de soluciones.
12. **Presentar** los resultados del modelo establecido, una vez definidos los costos operacionales, ambientales y los riesgos, asociados al funcionamiento actual y futuros de los colectores unitarios en estudio.
13. **Recomendar** alternativas de mitigación tecnológica y de infraestructura para mejorar el desempeño del sistema.
14. **Establecer** un conjunto de medidas de gestión orientadas a optimizar la operación del sistema y reducir riesgos a los grupos de interés.
15. **Proponer** alternativas Administrativas que aporten a las soluciones.

4. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se aborda el estado del arte, el cual comprende un análisis y síntesis del tema estudiado. Para ello, se realizó una revisión de la información disponible tanto a nivel nacional como internacional, considerando principalmente fuentes bibliográficas relevantes.

Además, se incorpora material disponible en línea, como normas y legislación vigente, junto con antecedentes recopilados durante el desarrollo del programa MWM, todos ellos relacionados con la gestión de colectores unitarios o combinados.

4.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Se identificó información relevante para el desarrollo de la presente tesina, abordando tanto estudios internacionales como nacionales, junto con el análisis de informes provenientes de instituciones del sector público y de organismos extranjeros.

Adicionalmente, con el fin de definir con mayor claridad el sistema en estudio, se revisó la normativa nacional aplicable a los colectores unitarios, la cual permite caracterizarlos y establecer las responsabilidades asociadas a su gestión.

A partir de estos antecedentes, se elaboraron fichas bibliográficas que se presentan en los anexos del documento y que se sintetizan en la Tabla 1 que se expone a continuación.

Tabla 1. Revisión bibliográfica

Título del documento	Referencia	Objetivo del estudio	Resumen y relación con la tesina
Systematic and scientometric analyses of predictors for modelling water pipes deterioration	(Abdelfadeel Shaban, Eltoukhy, & Zayed, 2023)	Analizar factores que influyen en el deterioro de tuberías de agua.	Identifica variables clave en el envejecimiento de redes. Relación indirecta, aporta a comprensión de infraestructura sanitaria.
Informe Técnico Capacidad Colector Villarrica	(Aguas Araucania S.A, 2025)	Evaluar capacidad hidráulica de colectores mediante balance oferta-demanda.	Documento central del caso. Evidencia sobrecarga en lluvias. Relación directa y fundamental.
Real-Time Control Strategies for Combined Sewer Overflow Reduction	(Anderson, Bennett, Sullivan, Warren, & Song, 2025)	Desarrollar estrategias de control en tiempo real para reducir CSO.	Propone optimización operativa sin ampliar infraestructura. Relación directa con soluciones.
Valuation of water resources and water infrastructure assets	(Australian Bureau of Statistics, 2020)	Valorar económicamente recursos hídricos e infraestructura.	Permite entender impacto económico del sistema. Relación directa con análisis de costos.
Reuse of treated municipal wastewater in productive activities in Brazil's semi-arid regions	(Barros Marangon et al, 2020)	Analizar reutilización de aguas tratadas en actividades productivas.	Propone uso eficiente del recurso. Relación indirecta, aporta a sostenibilidad.
Addressing the challenges of combined sewer overflows	(Bernard Perry et al, 2024)	Analizar problemáticas de los sistemas unitarios y sus desbordes.	Explica CSO y carga contaminante. Relación directa con problema central.
Decreto de fuerza de Ley 382	(Biblioteca del congreso Nacional, 1988)	Regulares servicios sanitarios en Chile.	Define marco legal del sistema unitario. Relación directa normativa.
Interpretable Time Series Models for Wastewater Modeling in Combined Sewer Overflows	(Chiaburu & Bießmann, 2024)	Modelar comportamiento del sistema con datos temporales.	Permite predicción de fallas. Relación directa metodológica.
Estrategia Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación para un Chile resiliente frente a desastres de origen natural	(Consejo Nacional de Innovación Para el Desarrollo, 2016)	Definir lineamientos para resiliencia ante eventos naturales.	Aporta enfoque de riesgo. Relación indirecta.
SuDS as a climate change adaptation strategy: Scenario-base danalysis for an urban catchment in northern Italy	(D'Ambrosio, Longobardi, & Schmalz, 2023)	Evaluar soluciones basadas en drenaje urbano sostenible.	Reduce escorrentía en origen. Relación directa con soluciones.
Microplastics in urban water cycles: Looking for a more scientific approach for sampling and characterization in wastewater and drinking water treatment plants	(Foglia et al , 2024)	Analizar presencia de microplásticos en sistemas urbanos.	Evidencia contaminación en redes. Relación directa ambiental.
Assessing Climate Change Impacts on Combined Sewer Overflows: A Modelling Perspective	(Galiatsatou et al, 2026)	Evaluar impacto del cambio climático en desbordes.	Proyecta aumento de eventos críticos. Relación directa.
Assessing Climate Change Impacts on Combined Sewer Overflows: A Modelling Perspective	(Galiatsatou et al , 2026)	Evaluar tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas.	Aporta soluciones tecnológicas. Relación indirecta.

Assessing combined sewer overflow performance under climate projections and urban development	(Hauser, Back, Rauch, & Kleidorfer, 2026)	Analizar desempeño de colectores bajo escenarios futuros.	Relaciona clima y sistema sanitario. Relación directa.
A study on characteristics of microplastic in wastewater of South Korea: Identification, quantification, and fate of microplastics during treatment process	(Hidayaturrahman & Gwan Lee, 2019)	Identificar microplásticos en aguas residuales.	Refuerza impacto ambiental. Relación directa.
Empirical Sewer Water Quality Model for Generating Influent Data for WWTP Modelling	(Langeveld et al2017)	Modelar caudales afluentes en sistemas sanitarios.	Base metodológica del estudio. Relación directa.
Application of Feedforward Artificial Neural Networks to Predict the Hydraulic State of a Water Distribution Network	(Leandro , Débora , Bruno , & Meirelles, 2024)	Aplicar IA para predecir estado hidráulico.	Mejora modelación. Relación directa.
Stakeholder analysis for effective implementation of water management system: Case of groundwater charge in South Korea	(Lee, Yoon, Yang, Namkoong, & Kim, 2024)	Analizar actores en gestión del agua.	Aporta identificación de stakeholders. Relación directa.
A Qualitative Approach to Combined Sewer Overflow (CSO) Modelling on the WATERVERSE Project	(Lewis et al, 2024)	Analizar modelación cualitativa de CSO.	Complementa modelación. Relación directa.
Defining flood risk management strategies: A systems approach	(Mai et al2020)	Definir estrategias de gestión de riesgo hídrico.	Enfoque sistémico. Relación indirecta.
How Much Is It Worth? An Overview of Valuing Water Utilities	(Mastracchio et al., 2020)	Analizar valor económico del servicio sanitario.	Relación directa con OPEX.
Bloom de algas, un síntoma de eutrofización: los alcances del fenómeno avistado en lago Villarrica	(Mesa de noticias de El Mostrador, 16)	Informar fenómeno de eutrofización.	Evidencia impacto ambiental local. Relación directa.
Ley 19525 Sistema de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias	(Ministerio de Obras Públicas, 1997)	Regular evacuación de aguas lluvias.	Relación directa con sistema unitario.
Mesa Nacional del Agua	(Ministerio de Obras Publicas, 2020)	Definir estrategias de gestión hídrica en Chile.	Relación indirecta institucional.
Estado del Medio Ambiente	(MMA, 2018)	Evaluar condición ambiental del país.	Contextualiza presión sobre sistemas. Relación indirecta.
NSW Water and Sewerage Strategic Business Planning Guidelines	(NSW Water and Sewerage Strategic Business Planning Guidelines, 2011)	Definir planificación estratégica de sistemas sanitarios.	Relación indirecta.
Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE	(OCDE, 2014)	Establecer lineamientos de gobernanza hídrica.	Relación indirecta.

Apollution fate and transport model application in a semi-arid region: Is some number better than no number?	Özcan et al. (2017) (Özcan, Başkan, Düzgün, Kentel, & Alp, 2017)	Modelar transporte de contaminantes.	Relación directa ambiental.
A review of urban water networks management using GIS	(Patel & Nihalani, 2023)	Analizar redes de agua mediante GIS.	Relación directa con análisis territorial.
Feasibility of monitoring floodplain on-farm water storages by integrating airborne and satellite LiDAR altimetry with optical remote sensing	(Peña Arancibia, Ticehurst, Yu, McVicar, & Marvanek, 2024)	Evaluar uso de LiDAR en monitoreo hídrico.	Relación indirecta metodológica.
Assessing Climate Change Impacts on Combined Sewer Overflows: A Modelling Perspective	(Perspective et al 2025)	Evaluar impacto climático en CSO.	Relación directa.
Strategic prioritization of sewersheds to mitigate combined sewer overflows under climate change	(Petrucci, Jalbert, Dorner, McQuaid, & Bicha, 2025)	Priorizar cuencas para mitigar CSO.	Relación directa con soluciones.
Integration of hyperspectral and LiDAR data for mapping small water bodies	(Prošek et al, 2020)	Mapear cuerpos de agua con sensores remotos.	Relación indirecta.
Probabilistic Forecasting and Anomaly Detection in Sewer Systems Using Gaussian Processes	(Rezaee, Melville-Shreeve, & Rappel, 2025)	Predecir comportamiento de redes sanitarias.	Relación directa.
Ord. N° 520 SISS	(Superintendencia de Servicios Sanitarios, 1992)	Regular operación de sistemas sanitarios.	Relación directa normativa.
OF NR-4749 SISS	(Superintendencia de Servicos Sanitarios Oficina Regiona SISS araucania, 2024)	Solicitar evaluación de capacidad de colectores.	Base del estudio local. Relación directa.
Assessing water quality in a distribution network based on hydraulic conditions	(Tomperi , 2024)	Evaluar calidad de agua según condiciones hidráulicas.	Relación indirecta.
Challenges, Methods, Data– a Survey of Machine Learning in Water Distribution Networks	(Vaquet et al 2024)	Revisar uso de IA en redes de agua.	Relación directa metodológica.
WaterUtility Service Quality Index: Acustomer-centredapproachfor assessing the quality of service in the water sector	(Vilarinho, Alves Pereira, D'Inverno, Nóvoa, & Camanho , 2024)	Medir calidad del servicio sanitario.	Relación directa con impacto en usuarios.
Strategic deployment of nature-based solutions for urban flood management in high-density urban landscapes	(Wang et al. 2025)	Evaluar soluciones basadas en la naturaleza para reducir la escorrentía urbana.	El estudio analiza cómo las soluciones naturales pueden disminuir la escorrentía y aliviar la carga sobre sistemas urbanos de drenaje. Plantea estrategias para reducir caudales que ingresan a redes sanitarias. Su relación con la tesina es directa, ya que aporta alternativas para disminuir la sobrecarga en colectores unitarios en Villarrica.

Fuente: Elaboración propia.

Para fortalecer la matriz de conocimientos relacionada con los colectores unitarios, conocidos en Chile bajo esta denominación y en otros países como colectores compartidos, se realizó una revisión amplia de distintos textos que permiten comprender mejor el funcionamiento y alcance de estas unidades de recolección. En este proceso se consideraron documentos de distinta naturaleza, algunos directamente vinculados al desarrollo de la investigación y otros que aportan desde una mirada más general.

Si bien existen textos que tienen un rol más central en la tesina por su relación directa con el problema estudiado, también se incorporaron otros que, aun teniendo un impacto más acotado, contribuyen a ampliar la comprensión del sistema en su conjunto. Estos últimos permiten contextualizar el fenómeno, entender su evolución y complementar el análisis desde distintas perspectivas. Por lo mismo, todos los documentos revisados forman parte de la base de referencia del estudio, ya que en su conjunto ayudan a construir una visión más completa y coherente del tema abordado.

4.1.1. Revisión bibliográfica estructurada para el desarrollo de la tesina

Para el desarrollo de esta tesina, la revisión bibliográfica se organiza de manera simple pero muy clara, sintetizada en la Tabla 2, permitiendo entender el problema de los colectores unitarios desde lo más práctico hasta las posibles soluciones. En primer lugar, las lecturas fundamentales, como el Informe Técnico de Villarrica (Aguas Araucanía S.A., 2025), muestran con datos reales que el sistema funciona bien en condiciones normales, pero se complica cuando llueve, generando sobrecargas y riesgos de desbordes. A esto se suma el trabajo de Langeveld et al. (2017), que ayuda a entender mejor estos fenómenos, permitiendo separar y analizar los distintos aportes de agua que llegan al sistema.

Luego, las lecturas específicas permiten mirar más en detalle lo que ocurre dentro de la red. Por ejemplo, Bernard Perry et al. (2024) explica cómo el sistema entra en condiciones críticas y cómo esto no solo afecta la cantidad de agua, sino también su calidad. Por su parte, Chiaburu & Bießmann (2024) aporta una mirada más moderna, mostrando que es posible anticiparse a estos problemas usando datos y monitoreo en el tiempo, mejorando así la forma en que se gestiona el sistema.

Finalmente, la lectura complementaria de Petrucci et al. (2025) permite dar un paso más allá, enfocándose en cómo enfrentar el problema. Este enfoque propone reducir el agua que llega al sistema desde el origen, utilizando soluciones como áreas de infiltración o retención, combinadas con infraestructura tradicional. En conjunto, toda esta información permite no solo entender lo que está pasando en Villarrica, sino también avanzar hacia soluciones más eficientes y sostenibles.

Tabla 2: *Revisión bibliográfica relevante.*

N°	Nombre de la investigación / documento	Referencia	Descripción humanizada
LECTURAS FUNDAMENTALES			
1	Informe Técnico Capacidad de Colectores – Villarrica	(Aguas Araucania S.A, 2025)	El estudio desarrollado para Villarrica por muestra de forma muy concreta cómo funciona en la práctica el sistema de colectores unitarios de la ciudad. A partir de datos reales, se evidencia que la red es capaz de operar adecuadamente en condiciones normales, pero enfrenta serias dificultades cuando aumentan los caudales producto de la lluvia. Esta sobrecarga no solo tensiona la infraestructura, sino que también incrementa los costos operacionales y el riesgo de desbordes, generando impactos visibles en el entorno. En este sentido, el documento permite comprender que el problema no es teórico, sino cotidiano, y que responde a una combinación de diseño histórico y condiciones actuales más exigentes. Por ello, se transforma en la base para entender el comportamiento real del sistema y dimensionar sus limitaciones.
2	Empirical Sewer Water Quality Model for Generating Influent Data for WWTP Modelling	(Langeveld, y otros, 2017)	Por su parte, el trabajo de (Langeveld et al., 2017) aporta una mirada metodológica que permite interpretar y analizar este tipo de sistemas desde un enfoque más profundo. A través de la modelación hidráulica del afluente, propone descomponer el caudal total en sus distintos componentes, como aguas residuales, infiltración y escorrentía, lo que facilita identificar con mayor precisión las causas de la sobrecarga. Este enfoque resulta especialmente útil para sistemas unitarios, donde múltiples fuentes de agua interactúan simultáneamente. Además, permite trabajar con datos reales y transformarlos en información útil para la toma de decisiones. De esta forma, el documento no solo explica cómo funciona el sistema, sino que entrega herramientas concretas para anticipar su comportamiento y mejorar su gestión.
LECTURAS ESPECÍFICAS			
3	Addressing the challenges of combined sewer overflows	(Bernard Perry, y otros, 2024)	El trabajo permite entender lo que ocurre dentro de un colector unitario cuando el sistema se ve exigido. Explica cómo, frente a lluvias o aumentos de caudal, la red comienza a operar en condiciones límite, generando desbordes como una forma de liberar la presión hidráulica. Además, muestra que estos eventos no solo dependen de la lluvia, sino también de factores como la infiltración o fallas operacionales. Un aspecto clave es que el aumento de velocidad del flujo remueve sedimentos acumulados, elevando la carga contaminante que finalmente llega a los cuerpos de agua. En simple, ayuda a visualizar que el problema no es solo de cantidad de agua, sino también de calidad.
4	Interpretable Time Series Models for Wastewater Modeling in Combined Sewer Overflows	(Chiaburu & Bießmann, 2024)	aporta una mirada más moderna, enfocada en la anticipación de estos eventos. A través del uso de sensores y análisis de datos en el tiempo, propone que es posible entender cómo cambia el comportamiento del sistema antes de que ocurran los desbordes. Este enfoque permite pasar de una operación reactiva a una gestión más preventiva, identificando patrones y tendencias en los caudales. De esta forma, se pueden tomar decisiones más informadas y oportunas para evitar fallas críticas. En esencia, el documento muestra que con información adecuada, el sistema puede gestionarse de manera mucho más eficiente.
LECTURAS COMPLEMENTARIAS			
5	Strategic prioritization of sewersheds to mitigate combined sewer overflows under climate change	(Petrucci, Jalbert, Dorner, McQuaid, & Bicha, 2025)	Propone una forma distinta de abordar el problema de los colectores unitarios, enfocándose en reducir la carga hidráulica antes de que ingrese al sistema. A través de la infraestructura verde-azul, plantea soluciones como áreas de infiltración o retención de aguas lluvias, que permiten disminuir tanto el volumen como la frecuencia de los desbordes. Además, destaca que las mejores soluciones no son solo obras tradicionales, sino combinaciones entre infraestructura gris y natural. Un aspecto relevante es la necesidad de priorizar sectores críticos, considerando el impacto ambiental y sanitario. Esto permite enfocar los recursos donde realmente se generan los mayores problemas. En conjunto, el documento entrega una base sólida para proponer soluciones más eficientes y sostenibles.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Aporte del magister

A partir de los contenidos revisados en el Magíster en Gestión del Agua (MWM), en materias como gestión de redes, sistema pluvial, tratamiento de aguas, gestión de clientes, gobernanza y planificación, se puede entender mejor el problema de los colectores unitarios. Estas áreas ayudan a ver que no es solo un tema hidráulico, sino algo mucho más amplio, donde se mezclan aspectos técnicos, operativos, económicos y también sociales, que en conjunto explican cómo funciona hoy el sistema de saneamiento en una ciudad como Villarrica.

En este contexto, se hace necesario apoyar esta mirada con literatura que aborde el problema desde distintos enfoques. A continuación, se presenta una tabla que reúne los principales documentos revisados durante el programa MWM,

seleccionados por su aporte al estudio de los colectores unitarios. Esta permite ver de forma clara cuáles son las lecturas más relevantes y cómo cada una ayuda a entender el comportamiento del sistema, sus impactos y las posibles soluciones para el caso de Villarrica.

Desde el punto de vista operativo y económico, esta situación implica mayores costos, ya que se debe bombear, tratar y manejar un volumen de agua mucho mayor, sin que necesariamente existan ingresos adicionales para cubrirlo. Al mismo tiempo, estos problemas se hacen visibles para la comunidad a través de reboses, olores o episodios de contaminación, afectando la calidad del servicio y la percepción de los usuarios.

También se hace evidente que la infraestructura actual responde a condiciones antiguas, muy distintas a las actuales, donde hay más urbanización, más superficies impermeables y eventos de lluvia más intensos. A esto se suma que el problema no depende solo de la sanitaria, sino de varios actores, lo que muchas veces dificulta avanzar en soluciones. En definitiva, los colectores unitarios reflejan un sistema que hoy enfrenta presiones técnicas, económicas y sociales, y que requiere ser abordado de forma más integrada, considerando tanto la operación como el entorno en el que funciona.

A partir de este análisis, se hace necesario apoyar la comprensión del problema con literatura que aborde estas temáticas desde distintas miradas. En este contexto, a continuación, se presenta Tabla 3 que reúne los principales documentos revisados durante el programa MWM, seleccionados por su aporte al estudio de los colectores unitarios. Esta permite visualizar de forma clara cuáles son las lecturas más relevantes y cómo cada una contribuye a entender el comportamiento del sistema, sus impactos y las posibles soluciones para el caso de Villarrica.

Tabla 3: *Revisión bibliográfica aportada por MWM relevante.*

N°	Nombre de la investigación / documento	Referencia	Descripción humanizada
LECTURAS FUNDAMENTALES			
1	Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE	(OCDE, 2014)	Este documento explica que los problemas del agua no son solo técnicos, sino también de gobernanza. Plantea que muchas fallas en los sistemas sanitarios, como ocurre con los colectores unitarios, se deben a falta de coordinación entre actores, vacíos en responsabilidades y debilidades en la gestión.
2	Estado Medio Ambiente	MMA, 2018	Este documento entrega el contexto país, mostrando que los sistemas sanitarios actuales están bajo presión debido a: Cambio climático, lluvias más intensas, infraestructura antigua.
LECTURAS ESPECÍFICAS			
3	Probabilistic Forecasting and Anomaly Detection in Sewer Systems Using Gaussian Processes	Rezaee, Melville-Shreeve, & Rappel, 2025	Este documento aterriza el problema directamente en el funcionamiento del sistema, mostrando que el caudal en un colector no es solo aguas servidas, sino una mezcla de: Aguas residuales, aguas lluvias, infiltración subterránea
4	Strategic deployment of nature-based solutions for urban flood management in high-density urban landscapes	(Wang, y otros, 2025	Este documento pone el foco en el territorio, mostrando que el problema no está solo en la red, sino en cómo la ciudad genera escorrentía: Aumento de superficies impermeables, mayor volumen de agua que entra al sistema, incremento del riesgo de sobrecarga
LECTURAS COMPLEMENTARIAS			
5	Real-Time Control Strategies for Combined Sewer Overflow Reduction	Anderson, Bennett, Sullivan, Warren, & Song, 2025	Porque este documento no se queda en explicar el problema, sino que propone cómo gestionarlo mejor con lo que ya existe. A diferencia de otras soluciones más estructurales, aquí se plantea que: No siempre es necesario construir más infraestructura, Se puede optimizar la red actual, Se puede actuar antes de que ocurra el problema o el desencadenamiento de otros.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Revisión de la experiencia nacional e internacional en sistemas de colectores unitarios o compartidos

La revisión de la información disponible muestra que la experiencia tanto en Chile como a nivel internacional con los colectores unitarios tiene bastante en común. En el caso nacional, estos sistemas siguen en operación y forman parte del servicio sanitario, lo que significa que las empresas deben hacerse cargo de su funcionamiento y mantención, aun cuando reciben aguas lluvias que aumentan considerablemente los caudales que deben manejar (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 1992). Esto genera una presión constante sobre la infraestructura, especialmente en periodos de lluvia.

A nivel internacional, se observa una situación similar. Los colectores unitarios suelen trabajar cerca de su capacidad y, cuando esta se ve superada, ocurren desbordes como una forma de liberar la carga del sistema (Bernard Perry et al., 2024). Estos eventos no dependen únicamente de lluvias intensas, sino también de factores como la infiltración o el crecimiento urbano. Además, se ha demostrado que estos desbordes tienen efectos importantes en el medio ambiente, ya que liberan contaminantes directamente en ríos y lagos, afectando su calidad y generando riesgos para la salud (Wild, Fuchs, & Davis, 2024).

Frente a este escenario, la experiencia internacional ha ido avanzando hacia soluciones más integrales. Ya no se trata solo de aumentar la capacidad de las redes, sino también de reducir el agua que entra al sistema, por ejemplo, mediante soluciones basadas en la naturaleza o el control de escorrentía (Petrucci et al., 2025). A esto se suman herramientas de monitoreo y modelación que permiten anticiparse a los problemas y mejorar la operación del sistema (Chiaburu & Bießmann, 2024).

En términos simples, tanto en Chile como en otros países, los colectores unitarios siguen funcionando, pero bajo una presión cada vez mayor, lo que hace necesario avanzar hacia formas más modernas e integradas de gestión.

4.2. ANTECEDENTES DEL ESTADO DEL ARTE

Para establecer el estado actual del tema de investigación, la revisión del estado del arte se inició a partir de una serie de preguntas orientadoras, utilizadas como guía para la búsqueda, selección y análisis de antecedentes. Estas preguntas permitieron ordenar la indagación, identificar el conocimiento existente sobre la problemática y reconocer los principales enfoques, métodos y soluciones desarrollados en estudios similares.

Entre las interrogantes que iniciaron esta revisión se consideraron: ¿Qué sabe la ciencia hoy de lo que investigo? ¿Cómo ha sido tratado mi tema de memoria? ¿Cuáles son las tendencias de mi tema de investigación? ¿Cómo se encuentra mi tema de investigación en el momento de realizar la propuesta de memoria? Conceptos y Términos Claves que se deben conocer Modelos o pautas de estudios similares Ideas teóricas para confeccionar mi método de estudio ¿Cómo se han planteado métodos y técnicas para solucionar mi problema de investigación? ¿Cómo teóricamente solucionare mi problema de investigación? ¿Cuál puede ser mi aporte al estado del arte?

Para comprender el estado actual del tema de investigación, es necesario partir reconociendo que la ciencia ha avanzado en entender los colectores unitarios como sistemas complejos, donde no solo se transportan aguas servidas, sino también aguas lluvias e infiltraciones que alteran significativamente su funcionamiento. Hoy se sabe que estos sistemas operan de forma adecuada en condiciones normales, pero presentan importantes limitaciones cuando aumentan los caudales, generando sobrecargas y desbordes que afectan tanto la operación como el entorno (Aguas Araucania S.A., 2025). A partir de esto, la investigación ha dejado de centrarse únicamente en el diseño hidráulico, incorporando también variables ambientales, económicas y de gestión.

El tema ha sido abordado desde distintas perspectivas. Por una parte, se ha estudiado el comportamiento hidráulico del sistema, donde se ha demostrado que el caudal que ingresa a los colectores puede descomponerse en distintos aportes, como aguas residuales, infiltración y escorrentía, lo que permite entender con mayor claridad las causas de la sobrecarga (Langeveld et al, 2017). Por otra parte, se ha profundizado en el impacto de estos sistemas, evidenciando que los desbordes no solo responden a eventos de lluvia, sino también a condiciones operacionales y estructurales, generando además un aumento en la carga contaminante que se descarga al medio ambiente (Bernard Perry et al, 2024).

En cuanto a las tendencias actuales, la investigación se ha orientado hacia enfoques más integrados. Hoy no se analiza el colector de forma aislada, sino como parte de un sistema urbano, donde influyen factores como la urbanización, el aumento de superficies impermeables y el cambio climático. En este contexto, han cobrado relevancia herramientas como el monitoreo en tiempo real y el análisis de series de datos, que permiten anticipar eventos críticos y mejorar la gestión del sistema (Chiaburu & Bießmann, 2024). Además, se ha puesto énfasis en soluciones que abordan el problema desde su origen, reduciendo la cantidad de agua que ingresa al sistema mediante estrategias como la infiltración y el control de escorrentía (Petrucci, Jalbert, Dorner, McQuaid, & Bicha, 2025).

Desde el punto de vista metodológico, los estudios han propuesto el uso de modelos hidráulicos y análisis de datos para representar el comportamiento del sistema bajo distintas condiciones. Estas herramientas permiten no solo describir lo que ocurre, sino también proyectar escenarios y evaluar posibles soluciones. En este sentido, el enfoque ha evolucionado desde soluciones tradicionales basadas en aumentar la capacidad de la infraestructura, hacia alternativas más integradas que combinan operación, planificación y gestión.

En este escenario, el tema de investigación se encuentra en un momento donde existe suficiente conocimiento para entender el problema, pero aún hay desafíos importantes en su aplicación a casos reales. Aquí es donde esta tesina busca aportar, proponiendo un análisis aplicado al caso de Villarrica, integrando información técnica, operativa y ambiental. El aporte al estado del arte radica precisamente en esta integración, ya que permite llevar conceptos desarrollados a nivel teórico hacia una aplicación concreta, generando propuestas que no solo expliquen el problema, sino que también contribuyan a su solución de manera práctica y contextualizada.

4.3. SUJETO DE ESTUDIO

El sistema de colectores unitarios de la ciudad de Villarrica constituye una de las infraestructuras principales para el funcionamiento del saneamiento urbano local. Como se observa en la Figura 2, la red se distribuye a través de distintos sectores de la ciudad, permitiendo la recolección y conducción de las aguas servidas hacia el sistema de tratamiento. Debido a su configuración unitaria, además de las aguas servidas domiciliarias, la red recibe aportes por infiltración y, en determinadas condiciones, aguas lluvias que ingresan al sistema. Esta característica responde a una configuración histórica utilizada en distintas ciudades y, si bien permite su funcionamiento bajo condiciones normales, también constituye una de sus principales limitaciones frente al aumento de caudales.

Desde una perspectiva general, el sistema se estructura en torno a ejes principales de conducción, destacando las redes asociadas a Epulef (0, 1, 2 y 3) y

Colo Colo 2, las cuales articulan el transporte de caudales hacia puntos de control relevantes, como la Planta Elevadora de Aguas Servidas (PEAS) Urrutia. Estas conducciones se distribuyen en distintas subcuencas urbanas, cada una con características propias en términos de aporte de caudal, topografía y desarrollo urbano, lo que implica que el comportamiento del sistema no es uniforme, sino que responde a condiciones locales específicas.

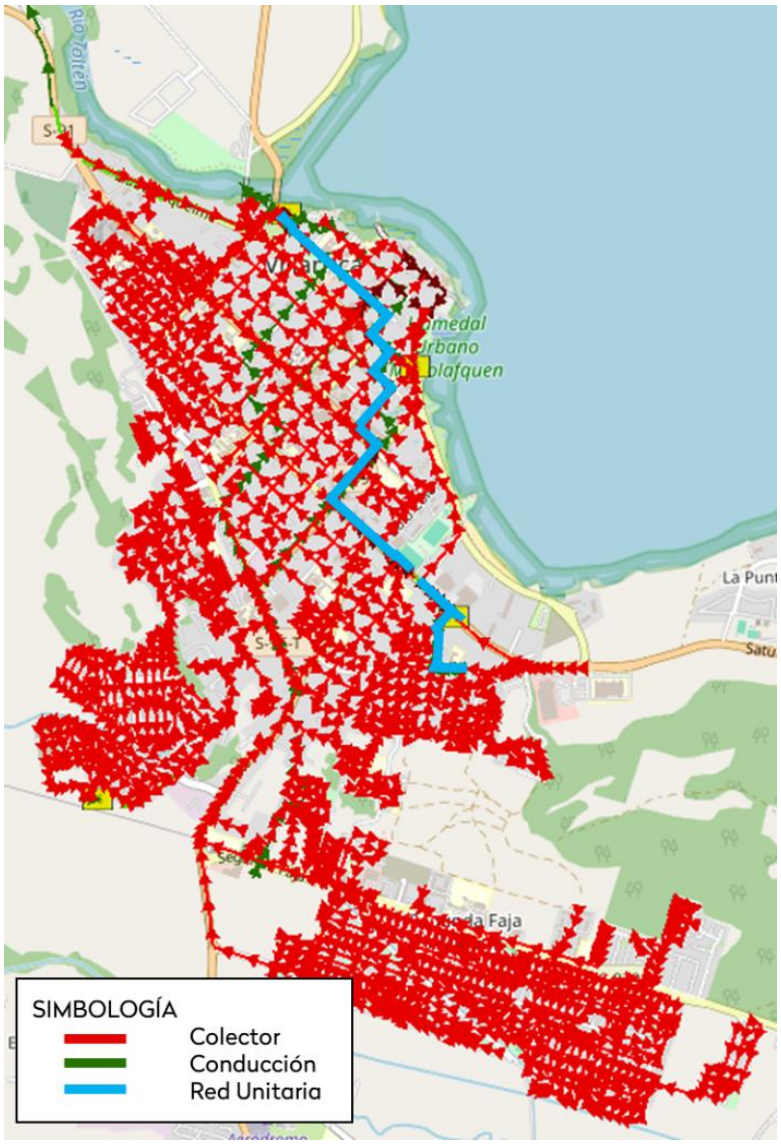


Figura 2. Red de colectores de Villarrica

Fuente: GIS aguas Araucanía.

Los límites de las secciones de colectores unitarios, se dividirá en dos zonas, como se muestra a continuación:

Zona 1

Que comprende las conducciones denominadas Epulef 0, Epulef 1 y Epulef 2, las que se destacan sus trazados en la Figura 3. Estas conducciones se ubican referencialmente

- Epulef 0: Desde la intersección de calles Toltén con Caupolicán hasta la PEAS Epulef.
- Epulef 1: Desde la intersección de calles Epulef con Wagner hasta la PEAS Epulef.
- Epulef 2: Desde la intersección de calles Epulef con Wagner hasta la intersección de calles Epulef con Acevedo.

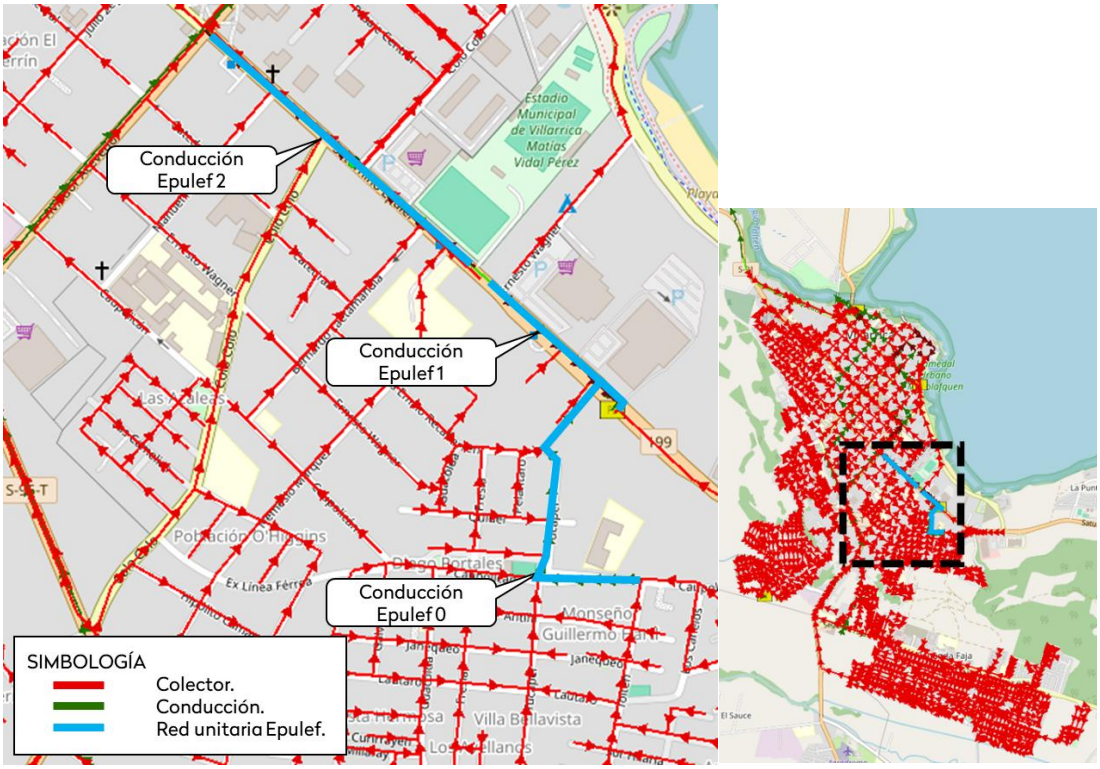


Figura 3. Red unitaria Epulef

Fuente: GIS aguas Araucanía.

Zona 2

Que comprende las conducciones denominadas Epulef 3 y Colo Colo 2, las que se destacan sus trazados en la imagen 4. Estas conducciones se ubican referencialmente:

- Epulef 3: Desde la intersección de calles Acevedo con Epulef hasta la intersección de las calles Urrutia con Köner.

- Colo Colo 2: Desde la intersección de calles Acevedo con Epulef hasta la PEAS San Martín.

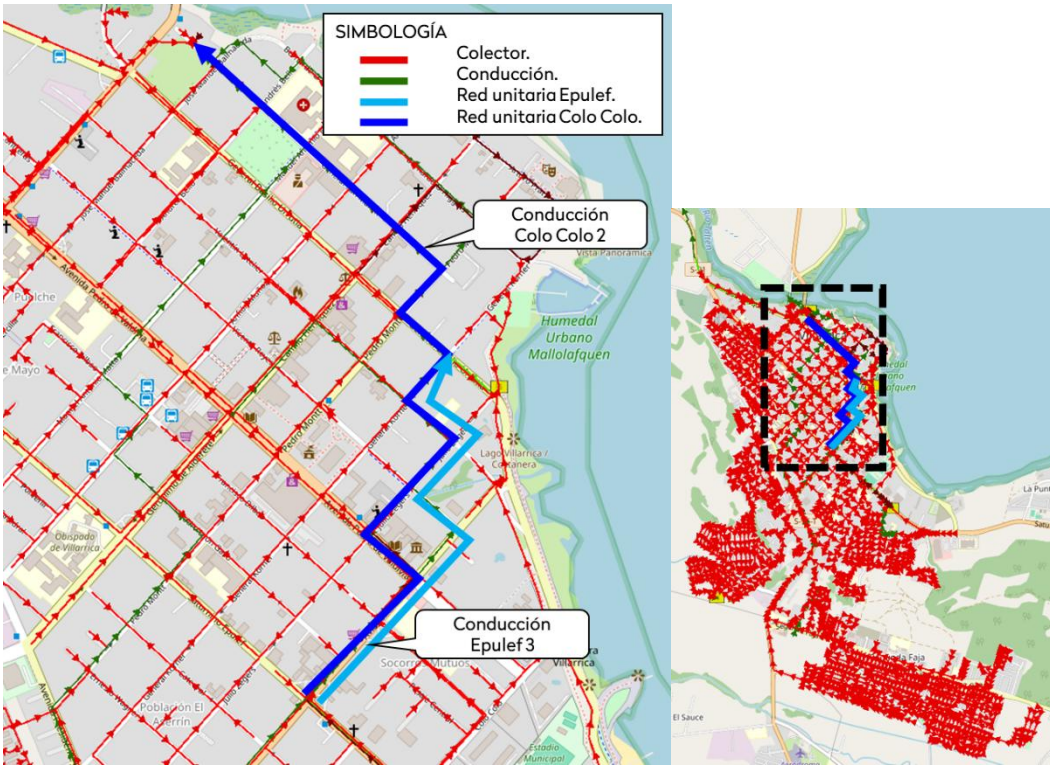


Figura 4. Red unitaria Epulef 3 y Colo Colo

Fuente: GIS

La conducción Epulef 3, presentada en la Figura 4, no se encuentra oficialmente clasificada como un sistema unitario en el tramo que se extiende desde calle Francisco Bilbao hacia aguas abajo. Sin embargo, se ha considerado dentro de este análisis con el fin de comprender su comportamiento dentro del funcionamiento general de la red.

Por su parte, la conducción Colo Colo 2 sí está definida como un colector unitario desde calle Francisco Bilbao hacia aguas abajo, específicamente desde calle Epulef, con el objetivo de evaluar de manera más completa su desempeño dentro del sistema.

Para comprender su funcionamiento, es fundamental diferenciar entre dos condiciones operacionales claramente definidas: el régimen de operación en tiempo seco y el régimen de operación en condiciones de lluvia. En el primero, el sistema recibe principalmente aguas servidas domiciliarias junto con un componente de infiltración, lo que genera caudales relativamente estables. Bajo estas condiciones, el análisis técnico indica que la mayoría de los colectores evaluados presentan capacidad suficiente para transportar el caudal máximo horario sin generar problemas de saturación. Esto sugiere que, desde el punto de vista de su diseño

original, el sistema cumple adecuadamente su función sanitaria en escenarios normales.

Sin embargo, esta condición de estabilidad cambia de manera significativa cuando el sistema se ve expuesto a eventos de precipitación. En estos casos, el ingreso de aguas lluvias, ya sea por conexiones directas, infiltración o escorrentía superficial, genera un aumento considerable en los caudales que deben ser transportados. Este incremento no solo eleva la demanda sobre las conducciones, sino que también reduce la holgura operativa del sistema, llevándolo a condiciones cercanas o incluso superiores a su capacidad hidráulica.

El análisis de capacidad realizado en el sistema evidencia que, si bien gran parte de las conducciones presentan margen suficiente para operar en condiciones normales, existen sectores específicos donde esta holgura se reduce considerablemente frente a una sobredemanda. Un caso representativo corresponde a la conducción Colo Colo 2, donde se identifican tramos que, bajo ciertas condiciones, no presentan capacidad suficiente para transportar el caudal estimado. No obstante, incluso en estos casos, el sistema podría operar bajo condiciones más exigentes sin generar necesariamente fallas inmediatas, lo que da cuenta de una cierta resiliencia estructural, aunque limitada.

Otro punto crítico se identifica en la zona de influencia de la PEAS Urrutia, donde el sistema alcanza niveles de operación cercanos a su capacidad máxima. El balance oferta-demanda indica que, bajo condiciones normales, la estación puede operar con un alto nivel de utilización, lo que deja un margen reducido frente a incrementos adicionales de caudal. Si bien se han implementado mejoras para aumentar su capacidad, el comportamiento hidráulico del sistema indica que, ante eventos de lluvia que superen dicha holgura, existe el riesgo de que el nivel hidráulico aumente hasta generar reboses en puntos bajos de la red, particularmente en sectores urbanos sensibles.

Este comportamiento permite identificar uno de los principales límites del sistema: su dependencia de condiciones externas. A diferencia de sistemas separados, donde las aguas lluvias son manejadas de forma independiente, en los colectores unitarios el ingreso de escorrentía forma parte del funcionamiento del sistema, lo que introduce una variabilidad significativa en su operación. Esto implica que el sistema no solo debe ser analizado en función de su capacidad estructural, sino también en relación con factores como la intensidad de las precipitaciones, el grado de urbanización y la capacidad de drenaje del entorno.

Desde el punto de vista hidráulico, esta interacción genera una respuesta no lineal del sistema. Mientras en condiciones normales el flujo se mantiene dentro de rangos controlados, en condiciones de lluvia el aumento de caudal puede provocar cambios bruscos en el nivel de operación, llevando a situaciones de presurización, saturación de conducciones y eventual aparición de afloramientos. Estos fenómenos no solo afectan la operación del sistema, sino que también generan

impactos directos en la ciudad, tanto desde el punto de vista sanitario como ambiental.

En este contexto, la presencia o necesidad de aliviaderos de tormenta se vuelve un elemento clave en la operación del sistema. Estos dispositivos permiten liberar parte del caudal en condiciones extremas, evitando que la red entre en presión y reduciendo el riesgo de reboses en la vía pública o en viviendas. En el caso de Villarrica, el análisis identifica puntos específicos donde la implementación o reactivación de estos elementos podría contribuir a mejorar el comportamiento del sistema frente a eventos de lluvia, especialmente en sectores donde la capacidad es más limitada.

Sin embargo, la incorporación de este tipo de soluciones también refleja una condición estructural del sistema: la necesidad de gestionar el exceso de agua más que evitar su ingreso. Esto pone en evidencia que el problema no se origina únicamente en la red sanitaria, sino en la interacción con el sistema pluvial y el entorno urbano. En este sentido, los colectores unitarios funcionan como un punto de convergencia de distintos procesos, donde las condiciones del territorio influyen directamente en su desempeño.

Otro aspecto relevante en la caracterización del sistema es su dependencia de la información disponible. El análisis de capacidad se basa en datos como caudales estimados, condiciones geométricas de las tuberías y características del material, lo que implica que los resultados representan una aproximación del comportamiento real del sistema. Esto refuerza la importancia de contar con información actualizada y de calidad, que permita mejorar la precisión de los diagnósticos y apoyar la toma de decisiones.

En términos generales, el sistema de colectores unitarios de Villarrica puede ser entendido como una infraestructura funcional, pero altamente exigida. Su diseño responde a condiciones históricas que difieren de la realidad actual, caracterizada por un mayor desarrollo urbano, cambios en los patrones de precipitación y mayores exigencias ambientales. Esta brecha entre diseño y operación es la que define gran parte de sus limitaciones actuales.

Comprender estos límites no implica únicamente identificar puntos críticos o déficits de capacidad, sino también entender cómo el sistema responde frente a distintas condiciones y cuáles son los factores que influyen en su comportamiento. Esto permite avanzar desde un diagnóstico descriptivo hacia una caracterización más completa, que considere tanto la infraestructura como su interacción con el entorno.

Finalmente, esta caracterización constituye una base fundamental para el desarrollo de la tesina, ya que permite establecer con claridad las condiciones en las cuales opera el sistema, identificar sus principales restricciones y orientar el análisis hacia la búsqueda de soluciones. En este sentido, comprender el

comportamiento de los colectores unitarios de Villarrica no solo permite explicar su funcionamiento actual, sino también proyectar su desempeño futuro y definir estrategias que permitan mejorar su operación y reducir los riesgos asociados a su funcionamiento.

4.4. MARCO TEÓRICO DEL ESTADO DEL ARTE.

El modelo teórico del presente estudio corresponde a una representación conceptual del sistema de recolección de aguas servidas de la localidad de Villarrica, en la cual se identifican y relacionan las principales variables hidráulicas, operacionales y económicas que influyen en su desempeño. Este modelo permite comprender cómo los aportes de aguas lluvias e infiltración, en conjunto con la configuración de colectores unitarios, generan condiciones de sobrecarga, provocando eventos de rebose, aumento de costos operacionales y riesgos para los distintos grupos de interés.

Para abordar este problema, se debe indagar e integra componentes hidráulicos (caudales, infiltración, escorrentía), operacionales (capacidad de conducción, funcionamiento de estaciones elevadoras), económicos (costos asociados a sobrecarga) y medioambientales (impacto en lago Villarrica), permitiendo analizar el comportamiento del sistema bajo distintos escenarios, especialmente durante eventos de lluvia.

En la actualidad, la localidad de Villarrica cuenta con un sistema de recolección compartido, que incorpora tramos de colectores unitarios. Bajo este contexto, durante eventos de lluvia el sistema tiende a colapsar, generándose afloramientos de aguas combinadas que provocan un evidente descontento en los distintos actores del entorno local. Es decir, el problema es: **la cuantificación del impacto generado por los colectores unitarios.**

En particular, en los tramos correspondientes a los colectores unitarios Epulef 0, 1 y 2, se presenta un importante volumen de infiltración que contribuye al colapso de los colectores aledaños. Esto ocurre debido a que el sistema interconectado entra en carga y, en consecuencia, en presión, superando su capacidad hidráulica. Como resultado, se incrementan significativamente los caudales que ingresan a los sistemas de elevación y, posteriormente, a las plantas de tratamiento, generando un aumento sostenido en los costos operacionales (OPEX) debido a la sobrecarga del sistema.

En este contexto, el problema de investigación se centra en determinar cómo el funcionamiento de los colectores unitarios, en conjunto con los aportes de infiltración y aguas lluvias, impacta el desempeño hidráulico, operativo y económico del sistema de saneamiento en Villarrica, generando fallas estructurales, eventos de rebose y mayores costos de operación.

4.4.1. Diagrama de ideas

En la Figura 5, se detalla el diagrama de ideas del presente estudio, este se divide en 2 partes, los cuales detallan las actividades a desarrollar en el Modelo Teórico y en el Modelo Real.



Figura 5. Evolución del modelo teórico de la investigación

Fuente: Elaboración propia con plantilla de canva.

5. PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO

En este capítulo se elaborar la propuesta metodológica por etapas, que será aplicada, para poder obtener una caracterización de impacto por la operación de colectores unitarios y propuesta de soluciones para Villarrica.

5.1. ETAPA 1, SOBRE EL ESTADO DEL ARTE

Conforme a los primeros cuatro objetivos específicos indicados a continuación;

1. **Identificar** la documentación técnica, normativa y bibliográfica relevante para caracterizar los colectores unitarios.
2. **Asociar** la información recopilada del MWM para describir el estado actual de los colectores unitarios y su interacción con el sistema de saneamiento.
3. **Revisar** la experiencia nacional e internacional de los colectores unitarios o compartidos.

4. **Comprender** los límites y comportamiento de los colectores unitarios de Villarrica.

En esta primera etapa de la investigación se busca construir una base clara de conocimiento sobre los colectores unitarios y su funcionamiento. Para ello, se abordan los primeros cuatro objetivos específicos, que apuntan a revisar la documentación técnica, normativa y bibliográfica disponible, integrar los contenidos del programa MWM, conocer experiencias tanto nacionales como internacionales y, finalmente, entender cómo se comportan estos sistemas en el caso específico de Villarrica.

La idea en esta etapa es poder entender el problema desde distintas miradas. Por un lado, conocer cómo se definen y regulan estos sistemas en Chile, y por otros, cómo se abordan en otros países, donde muchas veces se les conoce como colectores compartidos. Esto permite tener una visión más completa de su uso, su forma de operación y los desafíos que presentan, especialmente frente a eventos como lluvias intensas.

Para lograrlo, se considera tanto la información revisada durante el magíster como la búsqueda de antecedentes adicionales que ayuden a complementar el análisis. En este proceso se incorporan temas como el cambio climático, la relación con los distintos actores y las nuevas formas de gestión del agua, lo que permite ampliar la comprensión del sistema más allá de lo técnico.

Es importante tener en cuenta que esta etapa no se cierra en un momento específico, sino que se mantiene activa durante todo el desarrollo de la investigación. A medida que se avanza, se van incorporando nuevos antecedentes que ayudan a reforzar las ideas, justificar resultados y darle mayor solidez al estudio. De esta forma, el estado del arte se transforma en un apoyo constante para el desarrollo de la tesina.

Se organizará la información mediante fichas bibliográficas, a partir de las cuales se elaborará una revisión de contenidos. Además, se construirá una planilla en Excel que permitirá resumir y ordenar los principales conceptos y palabras clave que forman parte del marco teórico.

5.2. ETAPA 2, SOBRE EL LEVANTAMIENTO E INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA.

En esta etapa de la investigación, y en concordancia con el objetivo específico N°5, se busca definir y aplicar una metodología que permita recopilar la información necesaria para cuantificar los aportes de caudal y la carga contaminante, tanto en condiciones normales como durante eventos de lluvia.

Para ello, se recurrirá principalmente a los registros internos de la empresa sanitaria que opera en la localidad de Villarrica. Esta información proviene de distintas fuentes, incluyendo bases de datos digitales y registros en planillas, muchas de las cuales son generadas directamente en terreno por los operadores de las instalaciones de recolección y tratamiento. Estos datos reflejan el comportamiento real del sistema y permiten entender cómo ha operado en el tiempo bajo distintas condiciones.

Adicionalmente, se utilizará la base de datos GIS, la cual cumple un rol clave en esta etapa, ya que entrega información detallada sobre la configuración de las redes, sus características geométricas y su distribución en el territorio. Este insumo resulta fundamental para realizar los cálculos hidráulicos y para interpretar adecuadamente los resultados, permitiendo vincular la información operativa con la realidad física del sistema.

En conjunto, estas fuentes de información permitirán construir una base sólida y representativa del funcionamiento del sistema, lo que será esencial para avanzar hacia su análisis y modelación en las etapas posteriores de la investigación.

En función del nivel de detalle, calidad y disponibilidad de la información recopilada, se generarán distintas herramientas de análisis, tales como tablas, gráficos y representaciones espaciales, las cuales permitirán interpretar de mejor forma el comportamiento del sistema y apoyar su proceso de modelación.

5.3. ETAPA 3, LEVANTAMIENTO DE ACTORES, CONSTRUCCIÓN DE BASE DE DATOS Y DEFINICIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS

A partir de los siguientes tres objetivos específicos:

6. **Identificar** los actores relevantes vinculados directamente al impacto de colectores unitario en microcuenca de Villarrica.
7. **Recopilar** series de datos y **Desarrollar** una base de datos del sistema en diferentes periodos de operación, en estaciones elevadoras y unidades de tratamiento.
8. **Escoger** un modelo matemático para definir la estrategia.

En primer lugar, se identificarán los actores relevantes vinculados al sistema de colectores unitarios en la microcuenca de Villarrica. Esta identificación se realizará a partir de distintas fuentes, como la revisión de antecedentes del estado del arte, documentos del programa MWM, normativa vigente, información interna de la empresa sanitaria y la experiencia operativa del sistema en terreno. A partir de este levantamiento, será posible reconocer a los distintos actores involucrados y definir cuáles son los más relevantes, los que serán sistematizados en una tabla que permita visualizar su rol, nivel de influencia y grado de afectación.

En segundo lugar, se recopilará y organizará la información del sistema a partir de registros históricos de operación, provenientes de estaciones elevadoras y unidades de tratamiento. Con estos datos se construirá una base ordenada que permita analizar el comportamiento del sistema en distintos periodos, tanto en condiciones normales como durante eventos de lluvia. Este proceso considera la validación de la información, evaluando su calidad, representatividad y capacidad de reflejar el funcionamiento real del sistema.

Finalmente, una vez que los datos se encuentren organizados y evaluados en términos de su calidad y potencial de análisis, se dará paso a la selección de un modelo matemático que se ajuste a sus características. Este modelo permitirá representar el comportamiento del sistema, analizar distintos escenarios y apoyar la comprensión de las condiciones que generan sobrecarga, constituyéndose como una herramienta clave para el desarrollo de la investigación.

5.4. ETAPA 4, SOBRE LA APLICACIÓN METODOLÓGICA SEGÚN LOS DATOS RECOPILADOS

Considerando los objetivos específicos a continuación:

9. **Definir** los comportamientos hidráulicos del sistema mediante modelación bajo distintos escenarios climáticos y operacionales.
10. **Establecer** el modelo hidráulico, más ajustado el sistema unitario instalado en Villarrica.
11. **Aplicar** un modelo matemático para generar la estrategia de soluciones.

En esta etapa la investigación comienza a tomar un carácter más práctico, dejando de lado lo teórico para enfocarse en cómo funciona realmente el sistema de colectores unitarios en Villarrica. Para ello, se definen las condiciones base del sistema, considerando aspectos como la materialidad de las tuberías, cotas, diámetros, aportes de microcuencas y direccionalidad del flujo, entre otros. Toda esta información, recopilada en etapas anteriores, permite ajustar el modelo a la realidad local y trabajar con datos que reflejan de manera más fiel su comportamiento en la operación diaria.

A partir de esto, se plantean distintos escenarios de análisis temporales y espaciales, considerando tanto condiciones normales como situaciones de lluvia, que son precisamente las que generan mayores problemas en el sistema. Con estos escenarios, se aplica el modelo matemático antes definido. Lo cual permitirá cómo responde la red frente a distintas exigencias y cómo influyen factores como la infiltración, la escorrentía y la configuración de las redes en la generación de sobrecargas.

Una vez ajustado el modelo, se pueden estimar de forma más clara los efectos que tiene esta sobrecarga en el sistema. Esto incluye el aumento de los costos de operación, los riesgos de fallas y sus consecuencias en el entorno, especialmente en el lago Villarrica y en actividades como el turismo, que son muy importantes para la comuna. De esta forma, se logra dimensionar el problema no solo desde lo técnico, sino también desde su impacto en la vida local.

En definitiva, esta etapa permite aterrizar la investigación en la realidad del sistema, generando una base más concreta para entender lo que está ocurriendo y proponer soluciones. Los resultados obtenidos serán clave para responder a los objetivos específicos planteados, ya que permiten identificar dónde están los principales problemas y qué aspectos deben ser abordados para mejorar el funcionamiento del sistema y reducir sus impactos.

5.5. ETAPA 5, SOBRE LA INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

A partir del siguiente objetivo específico:

12. **Presentar** los resultados del modelo establecido, una vez definidos los costos operacionales, ambientales y los riesgos, asociados al funcionamiento actual y futuros de los colectores unitarios en estudio.

Para abordar este objetivo, se plantea una etapa enfocada en ordenar y mostrar de manera clara los resultados que se obtienen del modelo, de forma que realmente ayuden a entender lo que está ocurriendo en el sistema.

En primer lugar, la información se organizará considerando tres aspectos principales: cómo se comporta el sistema desde el punto de vista hidráulico, cuáles son los costos operacionales asociados y qué efectos o riesgos se generan en el entorno. Esta forma de ordenar los resultados permite tener una visión más completa y no quedarse solo en lo técnico.

Luego, se trabajará en la construcción de tablas, gráficos y mapas que permitan visualizar mejor la información, comparando distintos escenarios, tanto en condiciones normales como durante eventos de lluvia. Esto facilitará identificar dónde están los puntos más críticos y cómo responde el sistema frente a distintas situaciones.

Finalmente, se realizará una interpretación integrada de estos resultados, buscando explicar de forma simple pero clara el impacto que tiene el funcionamiento de los colectores unitarios, no solo en la operación del sistema, sino también en los costos y en el entorno. De esta manera, los resultados dejan de ser solo números y se transforman en una base concreta para proponer soluciones y apoyar la toma de decisiones.

5.6. ETAPA 6, SOBRE PROPUESTAS DE SOLUCIÓN Y MEJORA DEL SISTEMA

Considerando los últimos 3 objetivos específicos que abordan las propuestas de solución y mejora del sistema:

13. **Recomendar** alternativas de mitigación tecnológica y de infraestructura para mejorar el desempeño del sistema.
14. **Establecer** un conjunto de medidas de gestión orientadas a optimizar la operación del sistema y reducir riesgos a los grupos de interés.
15. **Proponer** alternativas Administrativas que aporten a las soluciones.

En esta etapa la investigación deja de ser un diagnóstico y se enfoca en qué hacer con lo encontrado. La idea es proponer soluciones concretas para mejorar el funcionamiento de los colectores unitarios en Villarrica, entendiendo que el problema no se resuelve con una sola medida, sino con un conjunto de acciones que se complementan.

Por un lado, se plantean alternativas de infraestructura y tecnología que ayuden a que el sistema soporte mejor los eventos de lluvia y reduzca las sobrecargas. Por otro, se proponen mejoras en la forma de operar el sistema, buscando anticiparse a los problemas y tomar decisiones a tiempo con la información disponible.

Además, se consideran medidas administrativas que faciliten que estas soluciones realmente se puedan implementar, incorporando a los distintos actores y ordenando la gestión.

En conjunto, se busca proponer soluciones, que hagan sentido con la realidad de Villarrica y que consideren no solo lo técnico, sino también el impacto en el entorno y en la comunidad.

5.7. CRONOLOGÍA DE LOS TIEMPOS DE TRABAJOS

Con el objetivo de aplicar el modelo metodológico propuesto, se define una ruta de trabajo que se presenta en la Tabla 4“carta Gantt”.

Tabla 4. Carta Gantt – Desde semana 1 a semana 16

			Semanas																																					
Etapa	**Fases del etudio**	**Tiempo**	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5
1	Identificar la documentación técnica, normativa y bibliográfica relevante	3																																						
2	Asociar la información recopilada del MWM para describir el estado actual del sistema	2																																						
3	Revisar la experiencia nacional e internacional de los colectores unitarios	8																																						
4	Comprender los límites y comportamiento de los colectores unitarios de Villarrica.	1																																						
5	Diseñar la metodología de recopilación de información para cuantificar aportes de caudal y carga de contaminante	1																																						
6	Identificar los actores relevantes del sistema	1																																						
7	Recopilar series de datos y Desarrollar una base de datos del sistema	2																																						
8	Escoger un modelo matemático	1																																						
9	Definir los comportamientos hidráulicos del sistema mediante modelación bajo distintos escenarios .	1																																						
10	Establecer el modelo hidráulico, más ajustado el sistema unitario instalado en Villarrica.	1																																						
11	Aplicar un modelo matemático para generar la estrategia de soluciones.	1																																						
12	Presentar resultadosasociados a costos operacionales y riesgos	1																																						
13	Recomendar alternativas de mitigación tecnológica y de infraestructura para mejorar el desempeño del sistema.	2																																						
14	Establecer medidas de gestión orientadas a optimizar la operación del sistema	1																																						
15	Proponer alternativas Administrativas que aporten a las soluciones.	1																																						
			Diciembre				Enero					Febrero				Marzo				Abril					Mayo				Junio					Julio								

Fuente: Elaboración propia.

6. APLICACIÓN METODOLÓGICA

En este capítulo se desarrollan las propuestas metodológicas previamente definidas, las cuales orientan el proceso de análisis y permiten abordar de manera ordenada los objetivos planteados en la investigación mediante las siguientes etapas:

6.1. ESTADO DEL ARTE

Se realizó una revisión bibliográfica que consideró 41 documentos, incluyendo normativa nacional, informes técnicos y articulos relacionados con colectores unitarios, así como propuestas de soluciones estratégicas e innovadoras. Este material se encuentra detallado en el apartado de anexos y constituye la base del análisis desarrollado.

El levantamiento también incorporó lecturas complementarias provenientes de distintas asignaturas del programa MWM, tales como Evaluación de los Recursos, Finanzas y Desarrollo de Negocios, Gestión de Clientes, Captación y Tratamiento de Agua, Depuración y Reutilización, Gestión de Redes, Sistema Pluvial, Gobernanza y Economía del Agua, Planificación Estratégica y Riesgos en la gestión de los recursos. A partir de este conjunto de antecedentes, se elaboró una primera tabla que sintetiza las cinco lecturas más relevantes del MWM, las cuales actúan como base inicial para el desarrollo de la tesina y se presentan en el apartado 4.1.1, correspondiente a la revisión bibliográfica estructurada.

De forma complementaria, se construyó una segunda tabla con los documentos más influyentes obtenidos mediante búsqueda externa, los cuales aportan de manera significativa al desarrollo del estudio.

Finalmente, toda esta información fue sistematizada en tablas que detallan el proceso de revisión realizado, las cuales se presentan entre las páginas 19 y 22 del presente documento, permitiendo una visualización clara y ordenada del material analizado.

6.2. LEVANTAMIENTO E INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA.

6.2.1. Caracterización de la infraestructura y áreas de aporte

En una primera instancia, se realiza la caracterización de la infraestructura existente, definiendo sus áreas de aporte a partir de la información topográfica disponible en los sistemas internos de la empresa sanitaria. Este proceso se complementa con visitas a terreno, lo que permite validar y comprender de mejor manera los sentidos de flujo dentro del sistema, asegurando una interpretación más cercana a su funcionamiento real.

Según lo descrito en el punto 4.3. de este documento, sobre la descripción del sujeto de estudio, donde se indica que se establecen la existencia de dos zonas, primero la zona 1, que está conformada por:

- Epulef 0: Desde la intersección de calles Toltén con Caupolicán hasta la PEAS Epulef.
- Epulef 1: Desde la intersección de calles Epulef con Wagner hasta la PEAS Epulef.
- Epulef 2: Desde la intersección de calles Epulef con Wagner hasta la intersección de calles Epulef con Acevedo.

Mientras que la zona 2 se conforma de Epulef 3 y Colo Colo 2, las que se destacan sus trazados en la Figura N° 4, en apartado 4.3. Estas conducciones se ubican referencialmente:

- Epulef 3: Desde la intersección de calles Acevedo con Epulef hasta la intersección de las calles Urrutia con Köner.
- Colo Colo 2: Desde la intersección de calles Acevedo con Epulef hasta la PEAS San Martín.

Con estos antecedentes de limitaciones, se obtiene a partir de los registros gráficos de GIS de empresa sanitaria local las subcuencas aportantes (áreas tributarias), visualizable en la Figura 6.

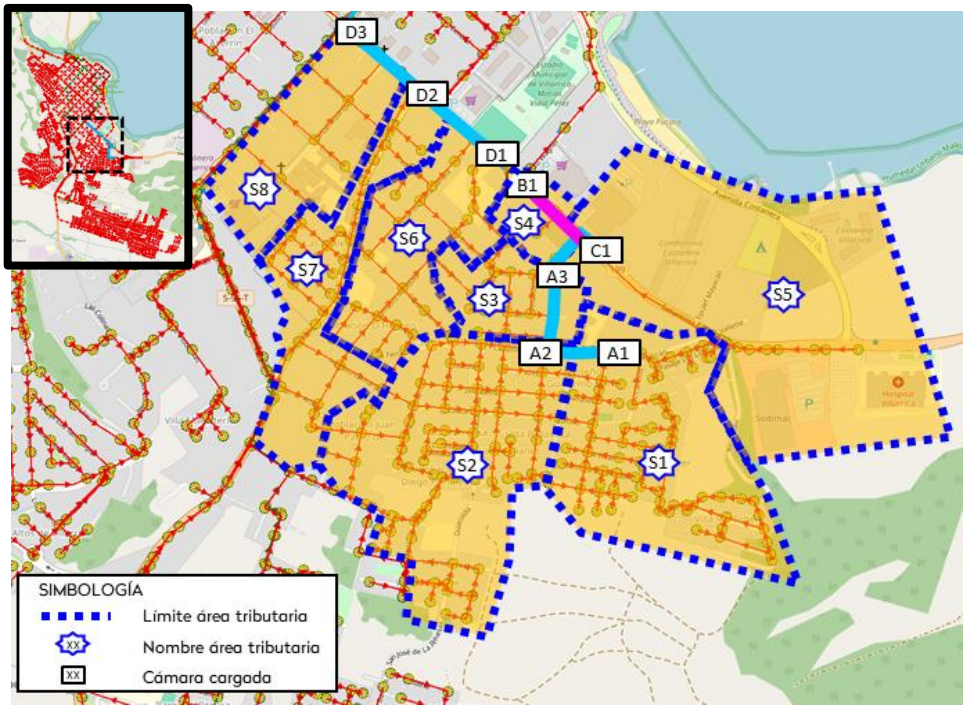


Figura 6. Áreas tributarias de red unitaria Epulef 0, Epulef 1 y Epulef 2

Fuente: GIS aguas Araucanía.

Para la cuenca aportante señalada en la imagen anterior corresponde a un área superficial de aproximadamente 1,4 km^2 y conformada por 8 microcuencas aportantes al tramo de colectores unitaria Epulef 0, Epulef 1 y Epulef 2.

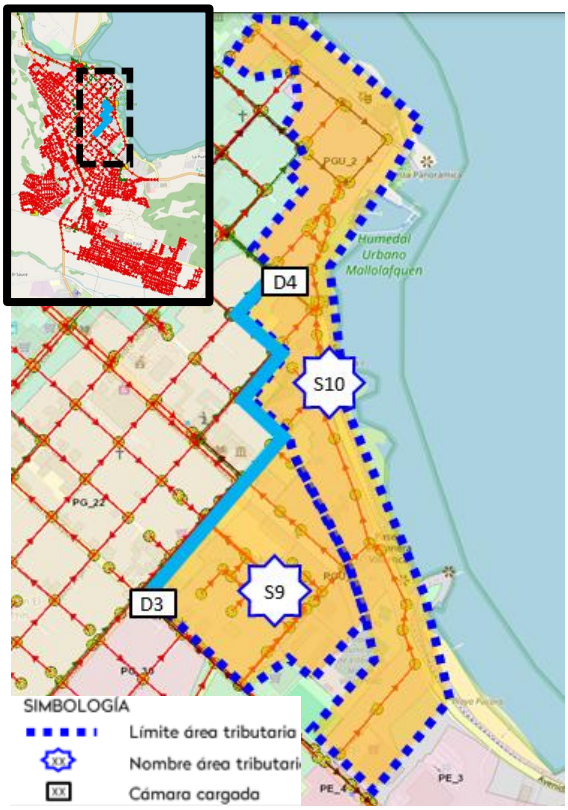


Figura 7. Áreas tributarias de red unitaria Epulef 3

Fuente: GIS.

Para la cuenca aportante señalada en la Figura 7, corresponde a un área superficial de aproximadamente 370 m^2 y conformada por 2 microcuencas aportantes al tramo de colectores Epulef 3.

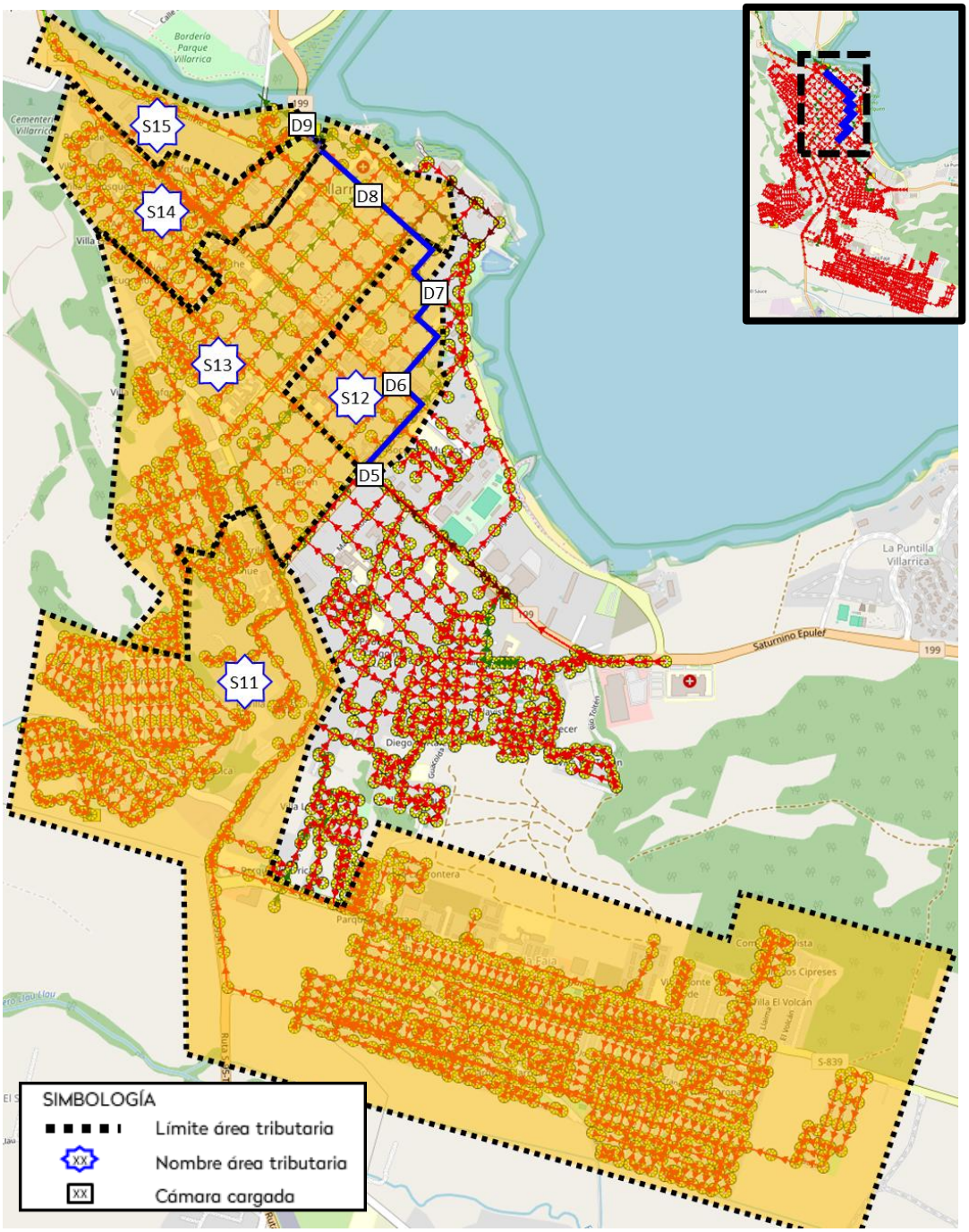


Figura 8. Áreas tributarias de red unitaria Colo Colo 2

Fuente: GIS aguas Araucanía.

Para la cuenca aportante señalada en la Figura 8, corresponde a un área superficial de aproximadamente 5,1 km^2 y conformada por 5 microcuencas aportantes al tramo de colectores unitarios Colo Colo 2.

6.2.2. Identificación de capacidades hidráulicas y puntos críticos del sistema de colectores unitarios

para identificar las capacidades de conducción de los distintos tramos que componen los colectores unitarios de la localidad, bajo condiciones óptimas de operación, se revisan los registros internos disponibles, tanto en el sistema GIS como en la planificación de desarrollo de la localidad.

A esto se suma la estimación de los caudales máximos horarios, basada en la producción de agua potable, junto con una aproximación de los aportes por infiltración en la red.

Este análisis permite identificar los puntos críticos o cuellos de botella del sistema, a partir de los cuales es posible reconocer a los actores locales involucrados y, al mismo tiempo, proyectar soluciones orientadas a un desarrollo más integral y sostenible del sistema.

En los anexos, específicamente en las tablas 13.4.1 a 13.4.5, se presentan en detalle los datos recopilados que describen estructuralmente cada uno de los tramos de los colectores analizados. Entre los principales antecedentes considerados se encuentran el identificador del tramo, material de la tubería, diámetro interno, longitud, pendiente, caudal de infiltración estimado, caudal máximo horario, caudal total, capacidad de conducción considerando una relación h/d del 70%, la razón entre caudal y capacidad, y la diferencia entre la capacidad y el caudal. Estos datos permiten sustentar de forma técnica el análisis desarrollado y facilitar la comprensión del comportamiento del sistema.

6.2.3. Planta elevadora de aguas residuales

La localidad de Villarrica se encuentra condicionada hidráulicamente por la Planta Elevadora de Aguas Servidas (PEAS) San Martín, infraestructura que actualmente constituye uno de los principales puntos de control del sistema de recolección de aguas servidas. Con el objetivo de reducir la ocurrencia de reboses, esta instalación dispone de un sistema de bombeo compuesto por tres bombas de alto caudal, diseñadas para maximizar la capacidad de elevación de 250 l/s y disminuir los tiempos de permanencia del agua dentro de la estación.

La estrategia operacional de esta infraestructura busca minimizar los riesgos de derrame en sectores sensibles, especialmente en las cercanías del lago Villarrica y áreas residenciales. Asimismo, frente a eventos de precipitaciones intensas que generan una sobrecarga en el sistema de saneamiento, se privilegia que los alivios hidráulicos ocurran aguas abajo, en la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), en lugar de producirse en la estación elevadora, debido a la mayor cercanía de esta última con zonas habitadas y espacios de alto valor ambiental.

Con el propósito de comprender el comportamiento de esta instalación, se analizaron los registros históricos de operación correspondientes al período

comprendido entre el 14 de mayo de 2025 y el 14 de mayo de 2026. La información fue obtenida desde los sistemas corporativos de Aguas Araucanía, previa autorización de la gerencia correspondiente. A partir de estos antecedentes se elaboró una base de datos que relaciona los caudales afluentes con los eventos de bypass registrados en la instalación, información que se presenta en el Anexo, Tabla 13.4.6: Caudales de afluente y bypass en PEAS San Martín, Villarrica

La información analizada considera un total de 576 registros operacionales. Durante el período evaluado se identificaron 102 días con presencia de bypass,

Al comparar los registros, se observa que los eventos de bypass tienden a presentarse cuando los caudales afluentes son mayores. En efecto, los registros con bypass presentan un caudal medio de 239,4 L/s, mientras que aquellos sin bypass alcanzan un promedio de 212,7 L/s. Si bien la correlación entre ambas variables es moderada (0,28), los resultados sugieren que el incremento de los caudales contribuye a generar condiciones favorables para la ocurrencia de estos eventos.

En términos generales, los antecedentes analizados muestran que los bypass constituyen una condición recurrente dentro de la operación del sistema. Su ocurrencia se encuentra asociada a períodos de mayor exigencia hidráulica, transformándose en un indicador relevante para comprender el comportamiento de los colectores unitarios y los efectos que estos generan sobre el sistema de saneamiento de Villarrica. Estos resultados aportan una primera aproximación cuantitativa para evaluar el impacto operacional de la infraestructura existente y orientar el desarrollo de futuras medidas de mitigación.

6.2.4. Planta de tratamiento de aguas servidas

Con el propósito de comprender el comportamiento general del sistema de saneamiento de Villarrica y su relación con el funcionamiento de los colectores unitarios, se realizó un análisis de las principales variables operacionales de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) para el período comprendido entre los años 2024 y 2026. Este análisis permitió conocer la lógica de operación de la instalación, identificar los principales factores que influyen en sus costos de funcionamiento y establecer una línea base para evaluar los efectos de las sobrecargas hidráulicas asociadas a infiltraciones, aguas lluvias y eventos de bypass.

La información recopilada considera variables representativas del desempeño de la planta, tales como el volumen de aguas servidas tratadas, el consumo de energía eléctrica, la utilización de productos químicos para desinfección, la producción de lodos y los volúmenes de bypass registrados se representan en la Tabla 5. En conjunto, estos indicadores permiten caracterizar la respuesta

operacional del sistema frente a distintas condiciones de funcionamiento y cuantificar los recursos necesarios para mantener la continuidad del servicio.

Tabla 5. *Resumen mensual de variables operacionales de la PTAS Villarrica para el período 2024–2026.*

Año	Mes	Volumen tratado (m³)	Energía (kWh)	Cloro (kg)	Lodos (m³)	Bypass (m³)
2024	Enero	294.325	28.320	3.270	206,5	S/I
2024	Febrero	277.397	26.460	2.970	228,0	S/I
2024	Marzo	307.355	29.640	3.260	168,0	S/I
2024	Abril	398.680	26.520	4.150	132,0	S/I
2024	Mayo	501.817	30.660	5.190	48,0	S/I
2024	Junio	641.210	27.780	5.670	96,0	S/I
2024	Julio	455.030	30.660	3.540	60,0	S/I
2024	Agosto	480.058	21.000	3.870	50,0	S/I
2024	Septiembre	499.744	17.400	3.800	72,0	S/I
2024	Octubre	430.959	22.200	3.430	132,0	S/I
2024	Noviembre	428.503	19.800	3.440	96,0	S/I
2024	Diciembre	415.609	21.420	3.580	216,0	S/I
2025	Enero	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
2025	Febrero	523.520	3.737	58,1	29.276	0
2025	Marzo	592.818	4.042	31,0	37.080	0
2025	Abril	1.031.680	4.003	130,1	35.280	248
2025	Mayo	1.241.126	3.866	882,9	44.760	222
2025	Junio	1.072.278	3.940	70,1	43.320	316
2025	Julio	1.008.702	3.477	80,1	43.320	866
2025	Agosto	1.220.810	4.139	111,1	34.440	462
2025	Septiembre	1.093.014	3.749	64,1	40.080	1.072
2025	Octubre	757.520	3.213	201,2	43.680	74
2025	Noviembre	585.534	2.992	360,4	44.040	4
2025	Diciembre	625.872	3.459	276,3	46.080	0
2026	Enero	291.861	21.960	3.502	180	Pendiente
2026	Febrero	292.851	19.020	4.402	192	Pendiente
2026	Marzo	474.252	18.300	4.613	84	Pendiente
2026	Abril	341.635	14.920	3.220	108	Pendiente
2026	Mayo	270.021	7.320	1.492	0	Pendiente

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos evidencian que la operación de la PTAS se encuentra estrechamente relacionada con las variaciones de caudal que ingresan al sistema. A medida que aumentan los volúmenes tratados, también se incrementan los requerimientos energéticos, el consumo de reactivos y la generación de residuos del proceso. Del mismo modo, la aparición de eventos de bypass constituye un indicador relevante para identificar períodos de sobrecarga hidráulica y potenciales limitaciones de la infraestructura existente.

La revisión de estas variables permite observar la evolución operacional del sistema a lo largo del tiempo e identificar períodos críticos asociados a mayores cargas hidráulicas. Estos antecedentes serán utilizados en las etapas posteriores

de la investigación para relacionar el comportamiento de la PTAS con la operación de los colectores unitarios y cuantificar los impactos operacionales, económicos y ambientales asociados a su funcionamiento.

6.3. LEVANTAMIENTO DE ACTORES, CONSTRUCCIÓN DE BASE DE DATOS Y DEFINICIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS.

En este apartado se da un paso importante en el desarrollo de la investigación, ya que se integran tres elementos clave para comprender el sistema de manera más completa. Por un lado, se identifican los actores relevantes que participan o se ven afectados por el funcionamiento de los colectores unitarios. Al mismo tiempo, se construye una base de datos a partir de la información disponible, que permite analizar el comportamiento del sistema en el tiempo. Finalmente, con estos antecedentes, se avanza en la definición de un modelo de análisis que sirva como herramienta para interpretar la información y apoyar el desarrollo de la investigación.

6.3.1. Identificación de grupos de interés

A partir de la matriz de poder e interés representada en la Tabla 6, se pueden identificar de manera clara los distintos grupos de actores que están vinculados al funcionamiento de los colectores unitarios en Villarrica, entendiendo no solo quiénes participan, sino también cómo les afecta el problema y qué capacidad tienen para influir en su solución.

Tabla 6. *Matriz de poder e interés de los actores del sistema de colectores unitarios en Villarrica.*

	Alto interés	**Bajo interés**
Alto poder	Empresa sanitaria (Aguas Araucanía) SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios) Municipalidad de Villarrica Ministerio del Medio Ambiente Comunidad local	MOP DOH Gobierno regional Otros usuarios indirectos
Bajo poder	Sector turístico Operadores del sistema	Otros usuarios indirectos

Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, aparecen los actores con alto poder y alto interés, donde se encuentran la empresa sanitaria, la SISS, la Municipalidad de Villarrica y el Ministerio del Medio Ambiente. Estos son actores clave, ya que están directamente relacionados con la operación, regulación y gestión del sistema. Tienen capacidad de decisión y, al mismo tiempo, se ven involucrados en las consecuencias del funcionamiento de los colectores, por lo que su participación es fundamental a la hora de definir e implementar soluciones.

Luego, están los actores con alto poder, pero menor interés, como el MOP, la DOH y el gobierno regional. Si bien no participan directamente en la operación diaria, sí tienen un rol importante en la planificación y en el desarrollo de infraestructura. Por lo mismo, su participación es relevante, especialmente cuando se trata de soluciones de mayor escala o inversiones a largo plazo.

Por otro lado, se encuentran los actores con alto interés, pero menor poder, como la comunidad local, el sector turístico y los operadores del sistema. Estos actores son los que viven más directamente las consecuencias del problema. La comunidad y el turismo se ven afectados en su calidad de vida y en su actividad económica, mientras que los operadores aportan una mirada práctica del sistema, basada en su experiencia diaria. Aunque no tienen una alta capacidad de decisión, su rol es clave para entender el problema en profundidad.

Finalmente, están los actores con bajo poder y bajo interés, que corresponden a usuarios indirectos. Su relación con el sistema es más lejana, por lo que su nivel de involucramiento es menor y su participación se limita principalmente a un rol de observación.

En conjunto, esta clasificación permite tener una visión más clara de cómo se relacionan los distintos actores con el sistema, ayudando a enfocar mejor las acciones y a priorizar a quienes deben tener un rol más activo en la búsqueda de soluciones.

6.3.2. Oferta y demanda de la localidad de Villarrica

De acuerdo con los registros históricos de la empresa sanitaria Aguas Araucanía S.A., la ciudad de Villarrica dispone de dos plantas de producción de agua potable que abastecen el sistema de distribución de la localidad: la Planta de producción de Agua Potable (PTAP) Colo Colo y la Planta de producción de Agua Potable Villarrica Camino al Volcán. Ambas instalaciones conforman el sistema de producción de agua potable que abastece a la ciudad y cuya capacidad conjunta se presenta en la Tabla 7.

Según estos antecedentes, el sistema cuenta con una capacidad total de producción de 205 L/s, valor que se ha mantenido sin modificaciones relevantes desde el año 2023, de acuerdo con la información operacional registrada por la

empresa sanitaria. Estos antecedentes constituyen un parámetro de referencia para comprender la capacidad de abastecimiento de agua potable de la localidad y permiten contextualizar el análisis del sistema de saneamiento desarrollado en la presente investigación.

Tabla 7. *Oferta de producción de agua potable de Villarrica.*

Zona	Localidad	Instalación	Q Oferta 2023
Sur	Villarrica	Colo - Colo	125 l/s
Sur	Villarrica	Camino Volcán	80 l/s
			205 l/s

Fuente: Elaboracion propia

Para efectos del presente estudio y de acuerdo con los criterios técnicos revisados durante el desarrollo del Magíster en Water Management, se consideró como supuesto de cálculo que aproximadamente el 80 % del agua potable producida retorna al sistema de recolección de aguas servidas. Este porcentaje corresponde a un valor ampliamente utilizado para estimar la generación de aguas residuales en sistemas urbanos cuando no se dispone de mediciones directas del caudal afluente.

Bajo este supuesto, y considerando que el sistema de producción de agua potable de la localidad dispone de una capacidad de 205 L/s, se estima que el caudal de aguas residuales que debería ingresar al sistema de recolección, en condiciones normales de operación y bajo un escenario teórico de una empresa sanitaria modelo, es del orden de 164 L/s. Este valor constituye una referencia para el desarrollo de los análisis posteriores y permite comparar el comportamiento esperado del sistema con los caudales efectivamente registrados, identificando así los incrementos asociados al ingreso de aguas lluvias e infiltraciones característicos de los colectores unitarios.

6.3.3. Serie de datos temporales

Las series de datos utilizadas en esta investigación fueron obtenidas principalmente a partir de los registros históricos de operación de la empresa sanitaria responsable del sistema de saneamiento de Villarrica. Para ello, se revisaron distintas fuentes de información, incluyendo bases de datos corporativas, reportes operacionales, registros de estaciones elevadoras y antecedentes históricos de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS). Estos datos permitieron conocer cómo ha funcionado el sistema a lo largo del tiempo y entender de mejor manera los factores que influyen en su desempeño.

De forma complementaria, se utilizó información proveniente del sistema GIS de la empresa, el cual aportó antecedentes relevantes sobre la infraestructura

existente, tales como trazados de redes, diámetros, materialidades, pendientes, cotas y áreas de aporte. Esta información fue fundamental para caracterizar físicamente los colectores unitarios y comprender su interacción con el resto del sistema de saneamiento.

Los resultados de esta caracterización se presentan en los anexos, específicamente en las Tablas 13.4.1 a 13.4.5, correspondientes a los resúmenes BOD de las conducciones Epulef 0, Epulef 1, Epulef 2, Epulef 3 y Colo Colo, donde se recopilan los principales antecedentes estructurales e hidráulicos de cada tramo analizado en la red de recolección de colectores unitarios.

Por otra parte, para evaluar el comportamiento operacional del sistema se utilizaron registros históricos de la estación elevadora PEAS San Martín y de la PTAS Villarrica. Estos antecedentes se encuentran consolidados en la Tabla 13.4.6. Caudales de afluente y bypass en PEAS San Martín Villarrica, donde se presentan los registros de caudales afluentes y de bypass observados en la instalación. Asimismo, la Tabla 13.4.7. Variables operacionales de PTAS Villarrica reúne información relacionada con los volúmenes tratados, consumo de energía, utilización de productos químicos y producción de lodos.

En conjunto, estas fuentes permitieron construir una base de información sólida y representativa del comportamiento real del sistema, aportando antecedentes técnicos esenciales para comprender el impacto de los colectores unitarios en Villarrica y respaldar las etapas posteriores de análisis y modelación desarrolladas en la presente tesina.

6.3.4. Aplicación de modelo matemático ajustado

Con el propósito de avanzar desde una evaluación descriptiva hacia una cuantificación objetiva del comportamiento del sistema, se desarrolló un modelo matemático ajustado a partir de los registros históricos de operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de Villarrica. La información utilizada fue obtenida desde la base de datos operacional de la instalación, la cual contiene registros diarios asociados a caudales afluentes, consumo energético, utilización de productos químicos, generación de lodos, residuos de pretratamiento y eventos de bypass adjuntado en anexos Tabla 13.4.7. Variables operacionales de PTAS Villarrica correspondiente a la data desde enero del 2024 al abril del 2026.

A partir de esta información se aplicó una regresión lineal múltiple, utilizando como variables independientes el caudal afluente y el volumen de bypass, debido a que ambas representan las principales condiciones hidráulicas que afectan el desempeño del sistema. Como variables dependientes se analizaron aquellas que generan impacto directo sobre los costos de operación de la planta, específicamente el consumo de energía, el consumo de cloro, la generación de lodos deshidratados y el consumo de polímero.

La estructura general utilizada para el desarrollo de los modelos corresponde a:

$$Y = a + b_1(Q_{af}) + b_2(BP)$$

Donde:

- Y corresponde a la variable operacional a estimar.
- Q_{af} corresponde al caudal afluente.
- BP corresponde al volumen de bypass.
- a corresponde a la condición base del sistema.
- b_1 y $b_2$corresponden a los coeficientes obtenidos mediante el ajuste estadístico de los datos históricos.

Como resultado del análisis, se obtuvieron las siguientes ecuaciones ajustadas:

Modelo de consumo energético

$$E = 741{,}65 - 0{,}00149(Q_{af}) - 1{,}30296(BP)$$

Con un coeficiente de determinación:

$$R^2 = 0{,}009$$

Este resultado indica que el modelo posee una capacidad explicativa muy baja para el consumo energético, sugiriendo que esta variable depende de otros factores operacionales no considerados en el análisis, tales como estrategias de operación, horas de funcionamiento de equipos, bombeo o condiciones particulares del proceso.

Modelo de consumo de cloro

$$C = 56{,}77 + 0{,}00508(Q_{af}) - 0{,}30372(BP)$$

Con un coeficiente de determinación:

$$R^2 = 0{,}481$$

Este fue el modelo con mejor desempeño dentro de los analizados, logrando explicar aproximadamente un 48 % de la variabilidad observada en el consumo de cloro gas. Lo anterior evidencia una relación importante entre las condiciones hidráulicas del sistema y los requerimientos de desinfección de la planta.

Modelo de generación de lodos deshidratados

$$LD = 5{,}61 - 0{,}00013(Q_{af}) - 0{,}00560(BP)$$

Con un coeficiente de determinación:

$$R^2 = 0{,}150$$

Este resultado muestra una capacidad explicativa limitada, indicando que la generación de lodos también depende de variables asociadas a la calidad del afluente, carga orgánica y condiciones de operación del tratamiento biológico.

Modelo de consumo de polímero

$$P = 7{,}34 - 0{,}00021(Q_{af}) - 0{,}00300(BP)$$

Con un coeficiente de determinación:

$$R^2 = 0{,}154$$

Al igual que en el caso de los lodos, el modelo presenta una capacidad explicativa reducida, lo que sugiere la existencia de factores adicionales que influyen en el consumo de este insumo.

Con la finalidad de aproximar un modelo matemático al comportamiento real de la PTAS Villarrica, los registros operacionales fueron agrupados mensualmente, generando una base de cálculo más representativa y adecuada para el análisis de tendencias de mediano plazo. Esta información constituye el Anexo Tabla 13.4.8. Variables operacionales de PTAS Villarrica (mensual), la cual reúne antecedentes comprendidos entre enero de 2024 y mayo de 2026.

A partir de esta base de datos se aplicó una **regresión lineal múltiple**, utilizando como variable dependiente el volumen tratado mensual y como variables independientes el consumo energético, el consumo de cloro, la generación de lodos y los volúmenes de bypass registrados en el sistema. El objetivo de este análisis fue identificar relaciones matemáticas que permitieran representar el comportamiento operacional de la planta y evaluar el impacto que generan los colectores unitarios sobre el proceso de tratamiento.

La estructura general del modelo utilizado corresponde a:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4$$

Donde:

- Y: Volumen tratado (m³).
- X_1: Energía consumida (kWh).
- X_2: Consumo de cloro (kg).
- X_3: Producción de lodos (m³).
- X_4: Volumen de bypass (m³).

Como resultado del ajuste estadístico se obtuvo la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{Volumen\ tratado} = \mathbf{16.013} + \mathbf{7,42}(\boldsymbol{Energía}) + \mathbf{58,46}(\boldsymbol{Cloro}) + \mathbf{11,00}(\boldsymbol{Lodos}) + \mathbf{469,52}(\boldsymbol{Bypass})$$

El modelo alcanzó un coeficiente de determinación de:

$$R^2 = 0{,}805$$

y un coeficiente de determinación ajustado de:

$$R^2_{ajustado} = 0{,}771$$

Lo anterior indica que aproximadamente el 80,5 % de la variabilidad observada en los volúmenes tratados puede ser explicada por las variables operacionales consideradas, lo que representa un ajuste satisfactorio para datos reales provenientes de una instalación de tratamiento de aguas servidas.

Desde el punto de vista operacional, los resultados muestran una relación significativa entre el volumen tratado y las variables analizadas. En particular, el bypass presenta el mayor coeficiente dentro del modelo, evidenciando una fuerte asociación entre los eventos de sobrecarga hidráulica y el comportamiento global del sistema. Esto resulta coherente con la problemática estudiada, ya que los colectores unitarios permiten el ingreso de aportes extraordinarios durante períodos de lluvia, incrementando las exigencias sobre la infraestructura de conducción y tratamiento.

La aplicación de este modelo constituye una primera aproximación cuantitativa al comportamiento de la PTAS Villarrica, permitiendo relacionar las condiciones hidráulicas del sistema con sus principales variables operacionales. Asimismo, los resultados obtenidos aportan una base técnica para comprender cómo los aumentos de caudal y los eventos de bypass repercuten en los recursos requeridos para el tratamiento, fortaleciendo el análisis del impacto que generan los colectores unitarios sobre la operación del sistema de saneamiento de la comuna.

7. RESULTADOS

Resultados específicos

En este capítulo se presentan los principales resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación, integrando los antecedentes recopilados en las distintas etapas metodológicas. Los hallazgos expuestos corresponden a aquellos que permiten comprender de mejor manera el impacto que generan los colectores unitarios sobre el sistema de saneamiento de la ciudad de Villarrica.

Los resultados se presentan de forma integrada, relacionando el comportamiento hidráulico de la red con la operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), el modelo matemático desarrollado y la evaluación del impacto económico asociado al ingreso de aguas lluvias al sistema sanitario. Este enfoque permite interpretar el problema desde una perspectiva técnica y de gestión, mostrando cómo interactúan las distintas variables analizadas.

Para facilitar su comprensión, los resultados se organizan siguiendo la secuencia de la investigación, abordando primero el comportamiento hidráulico del sistema, luego el análisis operacional de la PTAS y, finalmente, la evaluación económica y las implicancias que estos resultados tienen para la gestión del sistema de saneamiento de Villarrica.

7.1. EVALUACIÓN DE CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN DE LOS COLECTORES UNITARIOS

A partir del análisis de capacidad desarrollado para los distintos tramos de colectores unitarios de la microcuenca urbana de Villarrica, fue posible identificar sectores que actualmente presentan limitaciones para conducir adecuadamente los caudales generados bajo condiciones de operación normal y, especialmente, durante eventos de lluvia.

Los resultados obtenidos evidencian la existencia de tramos que no cumplen con la capacidad de conducción requerida según el balance oferta-demanda (BOD), transformándose en puntos críticos dentro del sistema de recolección. Estas restricciones hidráulicas generan condiciones propicias para la ocurrencia de reboses, incrementando el riesgo operacional y ambiental asociado al funcionamiento de la red.

Entre los casos más relevantes destaca el colector unitario Colo Colo, específicamente el tramo identificado con ID 30693, el cual presenta una deficiencia de conducción cercana al 30 %. Esta condición lo posiciona como uno de los principales cuellos de botella de la red analizada, limitando la capacidad de

transporte de aguas servidas y aguas lluvias durante períodos de mayor exigencia hidráulica.

De manera similar, en el sector correspondiente al colector Epulef 3 se identificaron los tramos ID 30710, ID 30718 e ID 30715, los cuales presentan márgenes de capacidad inferiores al 1 %. Aunque estos tramos aún mantienen capacidad disponible, operan muy próximos a su límite hidráulico, situación que los vuelve altamente sensibles frente a incrementos de caudal provocados por precipitaciones o infiltraciones.

Una condición equivalente fue observada en diversos tramos pertenecientes al colector Epulef 2, donde se identifican sectores con escasa holgura hidráulica y riesgo de saturación. Esta misma situación se repite en sectores del colector Epulef 1, evidenciando que la problemática no se concentra en un único punto, sino que corresponde a una condición distribuida en distintos sectores de la red sanitaria.

La existencia de estos cuellos de botella permite explicar los puntos donde históricamente se registran reboses del sistema. Bajo condiciones de lluvia, los aumentos de caudal asociados al ingreso de aguas lluvias e infiltraciones superan la capacidad disponible de conducción, provocando descargas de aguas residuales mezcladas con aguas lluvias hacia el entorno urbano y, potencialmente, hacia cuerpos receptores vinculados a la cuenca del lago Villarrica.

Los antecedentes obtenidos permiten concluir que estos sectores requieren intervenciones prioritarias, ya sea mediante aumento de capacidad hidráulica, incorporación de obras de regulación, reducción de aportes de aguas lluvias o implementación de soluciones complementarias. De mantenerse las condiciones actuales, cualquier incremento significativo de caudal continuará generando discontinuidades en el servicio de recolección y aumentará la probabilidad de ocurrencia de reboses, con las consecuentes implicancias operacionales, ambientales y sanitarias para la comuna.

7.2. CARACTERIZACIÓN OPERACIONAL Y APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Con el propósito de cuantificar las relaciones existentes entre las principales variables operacionales de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Villarrica y el comportamiento hidráulico del sistema, se aplicó una metodología de regresión lineal múltiple utilizando información histórica consolidada entre enero de 2024 y mayo de 2026.

Para el desarrollo del modelo se utilizó como variable dependiente el volumen tratado mensual, mientras que como variables explicativas se consideraron el consumo energético, el consumo de cloro, la generación de lodos y los volúmenes de bypass registrados durante el mismo período.

La estructura general del modelo corresponde a la siguiente expresión:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4$$

Como resultado del ajuste estadístico se obtuvo la siguiente ecuación:

$$Volumen\ tratado = 16.013 + 7,42(Energía) + 58,46(Cloro) + 11,00(Lodos) + 469,52(Bypass)$$

El modelo alcanzó un coeficiente de determinación de:

R^2 = 0,805

Lo cual indica que el 80,5 % de la variabilidad observada en los volúmenes tratados puede ser explicada por las variables operacionales consideradas. Este resultado representa un nivel de ajuste satisfactorio para una base de datos operacional real, permitiendo establecer relaciones cuantificables entre las condiciones hidráulicas del sistema y los recursos requeridos para su funcionamiento.

Los coeficientes obtenidos muestran que todas las variables consideradas presentan una relación positiva con el volumen tratado. Particularmente relevante resulta el coeficiente asociado al bypass, el cual evidencia la fuerte influencia que tienen los eventos de sobrecarga hidráulica sobre el comportamiento global del sistema. Este resultado es consistente con la problemática de los colectores unitarios, donde el ingreso de aguas lluvias incrementa significativamente los caudales que deben ser conducidos y tratados por la infraestructura sanitaria.

Además del nivel de ajuste alcanzado, el modelo desarrollado permitió identificar relaciones cuantificables entre las principales variables operacionales de la PTAS Villarrica y los volúmenes tratados por el sistema. La ecuación obtenida evidencia que el consumo de energía, la utilización de productos químicos, la generación de lodos y los eventos de bypass presentan una relación directa con las condiciones de operación de la planta, permitiendo representar matemáticamente el comportamiento observado en los registros históricos.

Desde una perspectiva operacional, el modelo desarrollado constituye una herramienta de apoyo para comprender el comportamiento del sistema de saneamiento y facilitar su planificación futura. Si bien no busca reemplazar una modelación hidráulica detallada mediante software especializado, sí permite aprovechar la información histórica disponible para representar, de manera simplificada, la relación existente entre las principales variables operacionales de la PTAS Villarrica y el volumen de agua tratado.

En este contexto, en la Tabla 8 Modelo matemático ajustado y expresiones de proyección operacional para la PTAS Villarrica presenta la ecuación obtenida a

partir de la regresión lineal múltiple, junto con los despejes algebraicos de cada una de las variables consideradas. Estas expresiones constituyen una herramienta práctica que permite estimar el comportamiento esperado del sistema bajo distintos escenarios operacionales, facilitando el análisis de posibles aumentos de caudal y sus efectos sobre la operación de la planta.

Tabla 8. *Modelo matemático ajustado para la proyección operacional y estimación de recursos en la PTAS Villarrica*

Variable	Sigla	
Volumen tratado (m³)	y	$\boldsymbol{y = 16.013 + 7,42(x1) + 58,46(x2) + 11,00(x3) + 469,52(x4)}$
Energía (kWh)	X_1	$\boldsymbol{x1 = \frac{y - 16013 - 58,46(x2) - 11(x3) - 469,52(x4)}{7,42}}$
Cloro (kg)	X_2	$\boldsymbol{x2 = \frac{y - 16013 - 7,42(x1) - 11(x3) - 469,52(x4)}{58,43}}$
Lodos (m³)	X_3	$\boldsymbol{x3 = \frac{y - 16013 - 7,42(x1) - 58,46(x2) - 469,52(x4)}{11}}$
Bypass (m³)	X_4	$\boldsymbol{x4 = \frac{y - 16013 - 7,42(x1) - 58,46(x2) - 11(x3)}{469,52}}$

Fuente: Elaboración propia.

La aplicación de este modelo demuestra que la información generada durante la operación diaria de una planta de tratamiento puede transformarse en una herramienta útil para apoyar la toma de decisiones. A partir de las ecuaciones obtenidas es posible realizar estimaciones preliminares de requerimientos de energía, consumo de reactivos, generación de lodos y comportamiento del sistema frente a variaciones en los caudales afluentes, permitiendo anticipar necesidades operacionales antes de que estas ocurran.

Desde el punto de vista económico, este tipo de herramientas también aporta valor a la gestión de la empresa sanitaria. La posibilidad de proyectar el consumo de energía, productos químicos y otros recursos operacionales permite estimar de mejor manera los costos asociados a distintos escenarios de funcionamiento, facilitando la elaboración de presupuestos, la planificación de recursos y la evaluación del impacto económico que generan los colectores unitarios sobre la operación del sistema.

Asimismo, el modelo puede utilizarse como una herramienta complementaria para analizar los beneficios potenciales de futuras inversiones. Por ejemplo, permite comparar cómo podrían variar los requerimientos operacionales si se reducen los aportes de aguas lluvias al sistema, si se incrementa la capacidad de conducción de determinados colectores o si se implementan obras destinadas a disminuir la ocurrencia de bypass. De esta forma, el modelo contribuye a respaldar técnicamente la priorización de proyectos y la planificación de inversiones futuras.

En consecuencia, los resultados obtenidos no solo permiten comprender de mejor manera el comportamiento actual de los colectores unitarios de Villarrica, sino que también proporcionan una herramienta de apoyo para la gestión técnica y

económica del sistema de saneamiento. Aunque se trata de un modelo simplificado, su utilización permite transformar información histórica en conocimiento útil para proyectar escenarios de operación, optimizar el uso de recursos y apoyar la toma de decisiones orientadas a mejorar la eficiencia y sostenibilidad del servicio sanitario.

7.3. IMPACTO ECONÓMICO DE LA SOBRECARGA HIDRÁULICA

Con el objetivo de dimensionar el efecto económico que genera la operación de los colectores unitarios sobre el sistema de saneamiento de Villarrica, se analizaron los costos operacionales asociados al tratamiento de aguas residuales en la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS). Para ello, se tomó como referencia un período representativo en el cual la planta trató un volumen mensual de 487.565 m³, correspondiente a un escenario de operación cercano al comportamiento habitual del sistema.

Los antecedentes económicos proporcionados por la empresa sanitaria indican que, para un volumen de tratamiento de estas características, los costos diarios promedio asociado a la operación de la planta respecto de los tres componentes principales lodo, cloro y energía alcanza aproximadamente $1,08 millones diarios. Su distribución se indica en la Tabla 9.

***Tabla 9**. Gastos operacionales diarios promedio para un volumen tratado de 487.565 m³/mes en la PTAS Villarrica.*

Gasto	Detalle	Unidad	Consumo mesual	LOCALIDAD	Gasto diario medio	Gasto mesual
Lodo	Disposición, Retiro, Traslado	No disponible		Villarrica	$260.278	$7.808.351
Cloro	Insumo de tratamiento	Kg	3767	Villarrica	$253.268	$ 7.598.028
Energia electrica	Peas San Martin y PTAS	kwh	124.860	Villarrica	$570.451	$17.113.525
					$1.083.997	$32.519.904

Fuente: Elaboración propia.

A partir de estos antecedentes, se observa que el costo operacional directo equivalente a un costo mensual cercano a $32,5 millones, sin considerar otros gastos propios de la operación, tales como personal, mantenimiento, reactivos complementarios, disposición final de residuos, reposición de equipos, administración y costos indirectos.

Al relacionar estos antecedentes con los resultados hidráulicos obtenidos durante la investigación, se evidencia que el incremento de caudales generado por los colectores unitarios tiene un efecto directo sobre los costos de operación de la PTAS. En la medida que aumenta el volumen tratado producto del ingreso de aguas lluvias e infiltraciones, también aumenta la demanda de energía para bombeo y tratamiento, el consumo de reactivos químicos y la gestión de lodos producidos durante el proceso.

Con el propósito de cuantificar este impacto, se estimó un indicador unitario de costo operacional, relacionando el volumen mensual tratado con los costos directos asociados al consumo de energía eléctrica, utilización de cloro y manejo de lodos. Los resultados mostrados en Tabla 10 muestran que el tratamiento de un volumen mensual cercano a 487.565 m³ representa un costo operacional directo aproximado de $66,7 por cada metro cúbico tratado. Bajo este criterio, se estima que cada 100.000 m³ adicionales tratados, producto del ingreso de aguas lluvias al sistema sanitario a través de los colectores unitarios, generan un sobrecosto operacional directo cercano a $6,7 millones. Si bien esta estimación considera únicamente los costos asociados a energía eléctrica, utilización de cloro y gestión de lodos, y no incorpora otros gastos propios de la operación, como mantenimiento, personal, reposición de equipos o depreciación de infraestructura, permite dimensionar de manera objetiva el impacto económico que generan los caudales excedentes sobre la operación de la PTAS Villarrica.

Tabla 10. *Indicador económico asociado al tratamiento de aguas residuales en la PTAS Villarrica.*

Indicador	Valor
Volumen mensual de referencia	487.565 m³
Costo operacional diario (energía, cloro y lodos)	$1.084.000
Costo operacional mensual estimado	$32.520.000
Costo operacional directo por metro cúbico tratado	$66,7/m³
Sobrecosto por cada 100.000 m³ adicionales tratados	$6.670.000

La operación de la PTAS Villarrica presenta un costo operacional directo aproximado de $66,7 por cada metro cúbico tratado, por lo que un incremento de 100.000 m³ asociado al ingreso de aguas lluvias a través de los colectores unitarios representa un sobrecosto cercano a $6,7 millones, considerando únicamente energía eléctrica, cloro y manejo de lodos.

Desde esta perspectiva, la sobrecarga hidráulica observada en el sistema deja de ser únicamente un problema de capacidad de conducción y pasa a transformarse en un desafío económico para la empresa sanitaria. Cada metro cúbico adicional que ingresa al sistema debido a aportes que no corresponden a aguas servidas domésticas requiere ser impulsado, tratado y dispuesto utilizando recursos operacionales que incrementan los costos del servicio.

Resultado Final

Los resultados obtenidos permiten señalar que el ingreso de aguas lluvias al sistema sanitario tiene una incidencia directa sobre las condiciones hidráulicas y operacionales analizadas en Villarrica. Al comparar el caudal sanitario esperado de 164 L/s con caudales que pueden alcanzar aproximadamente 314 L/s, se identifica un excedente de 150 L/s, equivalente a una sobrecarga cercana al 91,5 % respecto de la condición esperada. A su vez, este excedente representa aproximadamente un 47,8 % del caudal total transportado bajo dicha condición, lo que permite dimensionar la magnitud que pueden alcanzar los aportes adicionales dentro del sistema.

Este comportamiento adquiere mayor relevancia al relacionarlo con los resultados obtenidos en la evaluación hidráulica de los colectores. El análisis permitió identificar sectores que presentan una capacidad limitada para enfrentar aumentos de caudal, destacando el tramo ID 30693 del colector Colo Colo, con un déficit cercano al 30 %, además de sectores de los colectores Epulef 1, Epulef 2 y Epulef 3, donde se determinaron holguras hidráulicas inferiores al 1 %. En estas condiciones, el ingreso adicional de aguas lluvias reduce aún más la capacidad disponible de la red y aumenta la posibilidad de que se generen sobrecargas y reboses durante los períodos de mayor exigencia.

A nivel de tratamiento, los resultados también muestran que el aumento de los volúmenes conducidos hacia la PTAS Villarrica se relaciona con mayores exigencias operacionales. El análisis de los registros históricos y el modelo matemático desarrollado permitió integrar variables como volumen tratado, consumo de energía, cloro, generación de lodos y bypass, alcanzando un R^2 de 0,805. Este resultado muestra una relación relevante entre las variables consideradas y permite respaldar, desde los datos operacionales disponibles, que las variaciones de caudal tienen efectos sobre el funcionamiento general de la planta. Sin embargo, estos efectos no son necesariamente proporcionales, ya que cada variable responde también a las condiciones propias del proceso de tratamiento.

Desde el punto de vista económico, esta situación implica que una parte de los recursos utilizados por el sistema se destina a impulsar y tratar caudales que exceden la condición sanitaria esperada. Por esta razón, disminuir el ingreso de aguas lluvias permitiría reducir el volumen sometido a impulsión y tratamiento, con un potencial efecto favorable sobre los costos asociados al consumo de energía, productos químicos y manejo de lodos. Este beneficio económico debe entenderse como una consecuencia de la reducción de la carga hidráulica y no como una disminución proporcional al 47,8 %, debido a que los costos operacionales dependen de distintas variables y condiciones de funcionamiento.

En consecuencia, como resultado general de la investigación, se establece que la problemática de los colectores unitarios de Villarrica no responde a un único

factor, sino a la interacción entre el ingreso de aguas lluvias, las restricciones hidráulicas de determinados tramos y las mayores exigencias generadas sobre los sistemas de impulsión y tratamiento. En este contexto, controlar infiltraciones, disminuir conexiones erróneas e incorporar soluciones orientadas al manejo de aguas lluvias permitiría abordar el problema desde su origen, favoreciendo un sistema con mayor capacidad hidráulica disponible, menores exigencias operacionales y mejores condiciones para su gestión.

8. CONCLUSIONES

El desarrollo de la presente investigación permitió integrar los distintos antecedentes recopilados durante las etapas de revisión bibliográfica, análisis hidráulico, evaluación operacional y modelación matemática, obteniendo una visión global del comportamiento del sistema de colectores unitarios de la ciudad de Villarrica. Los resultados alcanzados permiten responder a la problemática planteada al inicio del estudio, evidenciando las principales causas que condicionan el funcionamiento del sistema y los efectos que estas generan sobre la infraestructura sanitaria, la operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas y la gestión de los recursos asociados.

A continuación, se presentan las principales conclusiones derivadas de la investigación, organizadas en función del cumplimiento de los objetivos planteados, los principales hallazgos obtenidos y las implicancias técnicas y profesionales que se desprenden del estudio.

8.1. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación permitió cumplir satisfactoriamente el objetivo general, al caracterizar el impacto que genera la operación de los colectores unitarios sobre el sistema de saneamiento de la ciudad de Villarrica y desarrollar una propuesta de soluciones orientada a mejorar su desempeño hidráulico, operacional, ambiental y económico.

Asimismo, los objetivos específicos fueron alcanzados de manera progresiva durante el desarrollo del estudio. La revisión bibliográfica permitió comprender el estado del arte respecto a los sistemas de colectores unitarios y las estrategias utilizadas para enfrentar esta problemática en distintas partes del mundo. Posteriormente, la caracterización del sistema sanitario permitió identificar los principales actores involucrados, describir la infraestructura existente y contextualizar la realidad operacional de Villarrica.

El análisis hidráulico permitió determinar los sectores con mayores restricciones de capacidad de conducción, identificando los puntos críticos que condicionan el funcionamiento de la red. Paralelamente, la recopilación y análisis de registros históricos de operación hicieron posible evaluar el comportamiento de la PTAS frente a diferentes escenarios de funcionamiento y desarrollar un modelo matemático ajustado que representa la relación entre el volumen tratado y las principales variables operacionales.

Finalmente, la integración de todos estos antecedentes permitió elaborar una propuesta de soluciones técnicamente fundamentada, priorizando aquellas acciones con mayor potencial para reducir la sobrecarga hidráulica y mejorar el desempeño del sistema de saneamiento.

8.2. CONCLUSIONES GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

Los resultados obtenidos permitieron comprobar que la problemática de los colectores unitarios en Villarrica responde a la interacción de factores hidráulicos, operacionales, económicos y ambientales, descartando que los reboses observados correspondan a eventos aislados o exclusivamente asociados a precipitaciones intensas.

El análisis hidráulico evidenció que existen sectores de la red que actualmente presentan limitaciones importantes de capacidad, destacando el tramo ID 30693 del colector Colo Colo, con una deficiencia de conducción cercana al 17 %, además de diversos tramos pertenecientes a los colectores Epulef 1, Epulef 2 y Epulef 3, que operan con holguras inferiores al 1 %. Estas condiciones explican la alta vulnerabilidad del sistema frente al ingreso de aguas lluvias y justifican la ocurrencia de reboses en distintos sectores de la ciudad.

Del mismo modo, el análisis operacional permitió demostrar que el incremento de los caudales tratados genera una mayor demanda de recursos para la operación de la PTAS. El aumento del consumo de energía eléctrica, reactivos químicos y manejo de lodos confirma que los efectos de los colectores unitarios no se limitan a la infraestructura de recolección, sino que se extienden a todo el sistema de saneamiento.

Uno de los principales aportes del estudio fue el desarrollo de un modelo matemático multivariable ajustado a partir de información histórica de operación, el cual alcanzó un coeficiente de determinación $R^2 = 0{,}805$, demostrando una adecuada capacidad para representar el comportamiento operacional de la planta. Este resultado evidencia que los registros operacionales pueden transformarse en herramientas de análisis y planificación que apoyen la gestión de empresas sanitarias.

La investigación también permitió incorporar una dimensión económica al problema, demostrando que el ingreso de aguas lluvias al sistema sanitario incrementa directamente los costos asociados al tratamiento. La estimación del costo operacional por metro cúbico tratado permitió cuantificar el impacto económico de los caudales excedentes y entregar antecedentes objetivos para respaldar futuras decisiones de inversión.

8.3. IMPLICANCIAS PARA LA GESTIÓN DEL AGUA

Desde la perspectiva de la gestión del agua, esta investigación demuestra que la solución a los problemas asociados a los colectores unitarios requiere una visión integral, donde la infraestructura, la operación, la planificación y la protección ambiental sean abordadas de manera conjunta.

Los resultados evidencian que las inversiones destinadas únicamente a aumentar la capacidad hidráulica de la red no serán suficientes si no se acompañan de estrategias orientadas a disminuir el ingreso de aguas lluvias al sistema sanitario. En este contexto, la incorporación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) y otras soluciones basadas en la naturaleza constituye una oportunidad para actuar sobre el origen del problema, disminuyendo los caudales que ingresan a la red y reduciendo tanto los costos de operación como los riesgos ambientales asociados.

Asimismo, la investigación pone de manifiesto la importancia de fortalecer el monitoreo continuo, la utilización de modelos predictivos y la incorporación de indicadores económicos dentro de la gestión operacional, permitiendo avanzar hacia una administración más eficiente y basada en evidencia.

8.4. APORTE Y PROYECCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Uno de los principales aportes de esta investigación consiste en demostrar que la información histórica de operación de una empresa sanitaria puede transformarse en una herramienta de alto valor para apoyar la toma de decisiones.

La metodología desarrollada integra información hidráulica, operacional y económica en un único proceso de análisis, permitiendo comprender de manera más completa el comportamiento del sistema y priorizar intervenciones sobre bases técnicas objetivas. Este enfoque constituye una alternativa complementaria a las herramientas tradicionales de modelación hidráulica y puede ser aplicado en otras localidades que presenten sistemas de colectores unitarios o problemáticas similares.

Desde una perspectiva profesional, el estudio reafirma que la gestión moderna del agua requiere combinar conocimientos de ingeniería, análisis de datos, planificación estratégica y sostenibilidad ambiental. La integración de estas disciplinas permite desarrollar soluciones técnicamente sólidas y orientadas a optimizar el funcionamiento de la infraestructura sanitaria, contribuyendo a una gestión más eficiente del recurso hídrico.

Finalmente, esta investigación aporta una base técnica para orientar futuras decisiones de inversión en el sistema de saneamiento de Villarrica y entrega una metodología replicable que puede contribuir al desarrollo de ciudades más resilientes, sostenibles y preparadas para enfrentar los desafíos asociados al crecimiento urbano y al cambio climático.

9. RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos durante esta investigación permitieron comprobar que la problemática asociada a los colectores unitarios de Villarrica responde a una combinación de factores hidráulicos, operacionales, económicos y ambientales que interactúan entre sí. Por esta razón, las soluciones planteadas no se orientan únicamente a aumentar la capacidad de conducción de la infraestructura existente, sino también a mejorar la gestión del sistema, optimizar su operación y disminuir el ingreso de aguas lluvias a la red sanitaria.

Las propuestas desarrolladas se fundamentan directamente en los hallazgos obtenidos durante la investigación y consideran tanto intervenciones de corto plazo, enfocadas en la optimización de la operación, como acciones de mediano y largo plazo orientadas a resolver las causas que originan la sobrecarga hidráulica del sistema. Para facilitar su análisis y futura implementación, las distintas alternativas (Tabla 11) fueron evaluadas considerando su impacto esperado sobre el funcionamiento hidráulico de la red, la operación de la PTAS, los costos asociados al tratamiento, el beneficio ambiental y su factibilidad de ejecución.

Tabla 11. *Matriz comparativa y priorización de las soluciones propuestas*

Solución propuesta	Impacto hidráulico	Impacto operacional	Impacto económico	Beneficio ambiental	Facilidad de implementación	Prioridad
Renovación de colectores con déficit hidráulico	Muy Alto	Alto	Alto	Muy Alto	Baja	**1**
Eliminación de infiltraciones y conexiones erróneas	Alto	Alto	Alto	Alto	Media	**2**
Incorporación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)	Alto	Medio	Alto	Muy Alto	Media	**3**
Monitoreo permanente mediante telemetría	Medio	Muy Alto	Medio	Medio	Alta	**4**
Actualización permanente del modelo matemático	Medio	Muy Alto	Alto	Medio	Muy Alta	**5**
Modelación hidráulica dinámica (SWMM)	Alto	Alto	Medio	Medio	Media	**6**
Evaluación económica periódica	Bajo	Alto	Muy Alto	Medio	Alta	**7**
Aplicación de la metodología en otras localidades	Bajo	Medio	Medio	Alto	Alta	**8**

Fuente: Elaboración propia

La matriz anterior permite visualizar que las acciones de mayor prioridad corresponden a aquellas que actúan directamente sobre el origen del problema, es decir, la sobrecarga hidráulica generada por el ingreso de aguas lluvias al sistema sanitario. No obstante, la investigación también demuestra que existen medidas de gestión que pueden implementarse con menor inversión y que generan beneficios inmediatos para la operación del sistema mientras se ejecutan las obras de infraestructura de mayor envergadura.

9.1. PRIORIZACIÓN DE INTERVENCIONES EN TRAMOS CRÍTICOS

Uno de los principales resultados obtenidos durante la investigación fue la identificación de sectores donde la red de colectores presenta limitaciones importantes para conducir los caudales actuales. Entre ellos destaca el tramo ID 30693 del colector Colo Colo, que registra un déficit hidráulico cercano al 30 %, convirtiéndose en el punto más crítico identificado dentro del sistema estudiado.

De igual forma, diversos tramos pertenecientes a los colectores Epulef 1, Epulef 2 y Epulef 3 operan actualmente con márgenes de capacidad inferiores al 1 %, condición que evidencia una infraestructura altamente sensible frente a cualquier incremento de caudal provocado por eventos de lluvia.

Considerando estos antecedentes, la renovación y ampliación de estos sectores representa la principal medida estructural para reducir la ocurrencia de reboses y mejorar la continuidad del servicio de recolección de aguas servidas.

9.2. DISMINUCIÓN DEL INGRESO DE AGUAS LLUVIAS AL SISTEMA SANITARIO

Los resultados obtenidos muestran que una parte importante de la sobrecarga observada en la PTAS tiene su origen en el ingreso de aguas lluvias e infiltraciones hacia la red sanitaria. Esto demuestra que el problema no se resuelve únicamente aumentando la capacidad de los colectores, sino también reduciendo los caudales que ingresan al sistema.

En este contexto, resulta prioritario avanzar en programas permanentes de detección de conexiones erróneas, rehabilitación de colectores deteriorados y control de infiltraciones, permitiendo disminuir progresivamente los volúmenes que actualmente deben ser impulsados y tratados por la planta.

9.3. INCORPORACIÓN DE SOLUCIONES BASADAS EN LA ABSORCIÓN Y RETENCIÓN DE AGUAS LLUVIAS

Uno de los aspectos más relevantes identificados durante la revisión bibliográfica corresponde a la necesidad de incorporar el manejo de aguas lluvias desde el propio desarrollo urbano.

Las experiencias internacionales analizadas demuestran que los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) constituyen una alternativa efectiva para disminuir los caudales que ingresan a los colectores unitarios, favoreciendo procesos naturales de infiltración, retención y almacenamiento temporal del agua lluvia.

La incorporación progresiva de pavimentos permeables, jardines de lluvia, zanjas de infiltración, humedales urbanos, techos verdes y estanques de laminación permitiría reducir las sobrecargas hidráulicas, disminuir los costos de operación de la PTAS y avanzar hacia una gestión más sostenible del ciclo urbano del agua.

9.4. FORTALECIMIENTO DEL MONITOREO OPERACIONAL

La investigación también evidenció la importancia de contar con información operacional continua para comprender el comportamiento del sistema.

En este sentido, la incorporación de monitoreo mediante telemetría en los principales puntos críticos de la red y de la PTAS permitiría anticipar eventos de sobrecarga, evaluar el efecto de futuras intervenciones y mejorar la capacidad de respuesta frente a situaciones de emergencia. Además, se puede combinar la implementación de controles telemáticos de variables ambientales en torno a la microcuenca de Villarrica para determinar con precisión el agua caída y determinar con mayor precisión la infiltración real ante eventos de lluvia.

9.5. ACTUALIZACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

El modelo matemático desarrollado durante esta investigación demostró representar adecuadamente el comportamiento operacional de la planta utilizando información histórica disponible en la empresa sanitaria.

Su actualización periódica, incorporando nuevos registros operacionales, precipitaciones y variables de calidad del agua, permitirá mejorar progresivamente su capacidad predictiva y transformarlo en una herramienta permanente de apoyo para la planificación operacional y presupuestaria.

9.6. DESARROLLO DE MODELACIÓN HIDRÁULICA AVANZADA

Como complemento a la metodología aplicada, resulta conveniente incorporar modelos hidráulicos dinámicos mediante plataformas, permitiendo evaluar escenarios futuros de crecimiento urbano, eventos extremos de precipitación y distintas alternativas de inversión antes de su ejecución.

9.7. INCORPORACIÓN DE INDICADORES ECONÓMICOS

Uno de los aportes de esta investigación fue demostrar que la sobrecarga hidráulica también genera un impacto económico directo sobre la operación de la PTAS.

Por esta razón, la utilización de indicadores como el costo operacional por metro cúbico tratado y la estimación del costo asociado a los caudales excedentes permitirá respaldar técnicamente futuras decisiones de inversión y priorizar aquellas intervenciones que generen mayores beneficios para el sistema.

9.8. PROTECCIÓN AMBIENTAL Y FORTALECIMIENTO DE LA GESTIÓN

La reducción de los reboses no solo representa una mejora para la operación del sistema sanitario, sino también una contribución directa a la protección del lago Villarrica y de los cuerpos receptores asociados.

En consecuencia, el desarrollo de futuras intervenciones requiere fortalecer la coordinación entre la empresa sanitaria, el municipio, los organismos reguladores y la comunidad, promoviendo una gestión integrada del recurso hídrico y del sistema de saneamiento.

9.9. PROYECCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Finalmente, la metodología desarrollada durante esta investigación demostró que es posible integrar antecedentes hidráulicos, operacionales y económicos utilizando información histórica de operación para apoyar la toma de decisiones.

Su aplicación en otras localidades que presentan sistemas de colectores unitarios permitiría disponer de herramientas objetivas para priorizar inversiones, mejorar la gestión operacional y fortalecer la planificación del saneamiento urbano a nivel regional.

10. BIBLIOGRAFÍA

Abdelfadeel Shaban, I., Eltoukhy, A., & Zayed, T. (2023). Systematic and scientometric analyses of predictors for modelling water pipes deterioration. *Automation in Construction* , 1-18.

Aguas Araucania S.A. (2025). *Informe Técnico Capacidad Colector Villarrica.* Temuco: Aguas Araucanía S.A.

Anderson, D. R., Bennett, L., Sullivan, K., Warren, M., & Song, M. (2025). Real-Time Control Strategies for Combined Sewer Overflow Reduction. 1-3.

Australian Bureau of Statistics. (2020). *Valuation of water resources and water infrastructure assets.*

Barros Marangon, B., Abrantes Silva, T., Calijuri, M. L., do Carmo Alves, S., Juste dos Santos, V., & de Sousa Oliveira, A. P. (2020). Reuse of treated municipal wastewater in productive activities in Brazil's semi-arid regions. *Journal of Water Process Engineering*, 1-9.

Bernard Perry, W., Ahmadian, R., Munday, M., Jones, O., Ormerod, S. J., & Durance, I. (2024). Addressing the challenges of combined sewer overflows. *Environmental Pollution*, 1-18.

Chiaburu, T., & Bießmann, F. (2024). Interpretable Time Series Models for Wastewater Modeling in Combined Sewer Overflows. *Procedia Computer Science*, 1-8.

Consejo Nacional de Innovación Para el Desarrollo. (2016). *Estrategia Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación para un Chile resiliente frente a desastres de origen natural.* Santiago: Consejo Nacional de Innovación Para el Desarrollo.

D'Ambrosio, R., Longobardi, A., & Schmalz, B. (2023). SuDS as a climate change adaptation strategy: Scenario-base danalysis for an urban catchment in northern Italy. *Urban Climate*, 1-18.

Foglia, A., Pittura, L., Vivani, V., Sgroi, M., De Simoni, L., Eusebi, A. L., . . . Fatone, F. (2024). Microplastics in urban water cycles: Looking for a more scientific approach for sampling and characterization in wastewater and drinking water treatment plants. *Science of the Total Environment*, 1-14.

Galiatsatou, P., Nikoletos, I., Malamataris, D., Zafirakou, A., Ganoulis, P. J., Gkatzioura, A., & Kapouniari, M. (2026). Assessing Climate Change Impacts on Combined Sewer Overflows: A Modelling Perspective. *Climate*, 1-22.

Hakim Suhaimi, A., Hanizam Madon, R., Alif Hakimi , M., Hayati Hairom, N. H., Nadhirah Mohd, S. N., Mohd Salleh, Z., . . . Hazri, R. M. (2024). Polluted River Water Treatment Via Pilot-Scale Membrane Photocatalytic Reactor (MPR) Incorporated. *Journal of advanced mechanical engineering applications Zno-Kaolin Under Different Light Intensity*, 27-35.

Hauser, M., Back, Y., Rauch, W., & Kleidorfer, M. (2026). Assessing combined sewer overflow performance under climate projections and urban development. *Journal of Hydrology*, 1-15.

Hidayaturrahman, H., & Gwan Lee, T. (2019). A study on characteristics of microplastic in wastewater of South Korea: Identification, quantification, and fate of microplastics during treatment process. *Marine Pollution Bulletin*, 694-702.

Langeveld, J., Van Daal, P., Schilperoort, R., Nopens, I., Flameling, T., & Weijers, S. (2017). Empirical Sewer Water Quality Model for Generating Influent Data for WWTP Modelling. *Water*, 1-18.

Leandro , E., Débora , M., Bruno , B., & Meirelles, G. (2024). Application of Feedforward Artificial Neural Networks to Predict the Hydraulic State of a Water Distribution Network. *Engineering Proceedings*, 49-52.

Lee, M., Yoon, J.-H., Yang, J., Namkoong, S., & Kim, H. (2024). Stakeholder analysis for effective implementation of water management system: Case of groundwater charge in South Korea. *Heliyon*, 1-10.

Lewis, G., Evans, B., Vamvakeridou-Lyroudia, L., Chen, A., Djordjević, S., & Savić, D. (2024). A Qualitative Approach to Combined Sewer Overflow (CSO) Modelling on the WATERVERSE Project. *Engineering Proceedings*, 1-4.

Mai, T., Mushtaq, S., Reardon-Smith, K., Webb, P., Stone, R., Kath, J., & An-Vo, D.-A. (2020). Defining flood risk management strategies: A systems approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 1-10.

Mastracchio, J., McCartney, A., Fedder, T., Bui, A., King, P., & Lane, M. (2020). How Much Is It Worth? An Overview of Valuing Water Utilities. *american Water Works Association*, 32-43.

Ministerio de Obras Publicas. (2020). *Mesa Nacional del Agua.*

MMA. (2018). *Estado Medio Ambiente.*

(2011). *NSW Water and Sewerage Strategic Business Planning Guidelines.* Sydney: NSW Office of Water.

OCDE. (2014). *Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE.*

Özcan, Z., Başkan, O., Düzgün, H., Kentel, E., & Alp, E. (2017). Apollution fate and transport model application in a semi-arid region: Is some number better than no number? *Science of the Total Environment*, 1-16.

Patel, K., & Nihalani, S. (2023). A review of urban water networks management using GIS. *MethodsX* , 1-8.

Peña Arancibia, J., Ticehurst, C., Yu, Y., McVicar, T. R., & Marvanek, S. (2024). Feasibility of monitoring floodplain on-farm water storages by integrating airborne and satellite LiDAR altimetry with optical remote sensing. *Remote Sensing of Environment* , 1-25.

Perspective, M., Nikoletos, P., Melamataris, D., Zafirakou, A., Ganoulis, P. J., Gkatzioura, A., . . . Katsoulea, A. (2025). Assessing Climate Change Impacts on Combined Sewer Overflows: A Modelling Perspective. *Climate*, 1-22.

Petrucci, J., Jalbert, J., Dorner, S., McQuaid, N., & Bicha, F. (2025). Strategic prioritization of sewersheds to mitigate combined sewer overflows under climate change. *Environmental Challenges*, 1-14.

Prošek, J., Gdulová, K., Barták, V., Vojar, J., Solský, M., Rocchini, D., & Moudrý, V. (2020). Integration of hyperspectral and LiDAR data for mapping small water bodies. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 1-12.

Rezaee, M., Melville-Shreeve, P., & Rappel, H. (2025). Probabilistic Forecasting and Anomaly Detection in Sewer Systems Using Gaussian Processes. *Water*, 1-22.

Superintendencia de Servicios Sanitarios. (1992). *Ord. N° 520.*

Superintendencia de Servicos Sanitarios Oficina Regiona SISS araucania. (2024). OF_NR-4749. (pág. 2). Temuco: Oficina Regiona SISS araucania.

Tomperi , J. (2024). Assessing water quality in a distribution network based on hydraulic conditions. *CENTRAL ASIAN JOURNAL OF WATER RESEARCH*, 40-67.

Vaquet, V., Hinder, F., Artelt, A., Ashraf, I., Strotherm, J., Vaquet, J., . . . Hammer, B. (2024). *Challenges, Methods, Data– a Survey of Machine Learning in Water Distribution Networks.* Bielefeld: Bielefeld University.

Vilarinho, H., Alves Pereira, M., D'Inverno, G., Nóvoa, H., & Camanho , A. (2024). WaterUtility Service Quality Index: Acustomer-centredapproachfor assessing the quality of service in the water sector. *Socio-EconomicPlanningSciences*, 1-20.

Wang, M., Zhao, J., Xiong, Z., Zhang, M., Wang, L., & Tan, S. K. (2025). Strategic deployment of nature-based solutions for urban flood management in high-density urban landscapes. *Ecological Indicators*, 1-11.

Wild, T., Fuchs, G., & Davis, M. (2024). Sitting in our own soup? Combined sewers, climate change and nature-based solutions for urban water management in Berlin. *Nature-Based Solutions*, 1-13.

Zeynep , Ö., Oğuz , B., Şebnem , D., Elçin , K., & Emre , A. (2017). Apollution fate and transport model application in a semi-arid region: Is some number better than no number? *Science of the Total Environment*, 225-244.

11. Webgrafía

Biblioteca del congreso Nacional. (30 de Diciembre de 1988). *Decreto de fuerza de Ley 382 .* Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=5545

Ministerio de Obras Públicas. (1997). Ley N°19.525 Sistema de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias. Recuperado de: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=76725

Mesa de noticias de El Mostrador. (2024). Bloom de algas, un síntoma de eutrofización: los alcances del fenómeno avistado en lago Villarrica. Recuperado de: https://www.elmostrador.cl/tendencias/2024/01/24/bloom-de-algas-un-sintoma-de-eutrofizacion-los-alcances-del-fenomeno-avistado-en-lago-villarrica/

12. Glosario y Acrónimos

- **Glosario**

Afluente: Caudal de aguas servidas que ingresa a una instalación de tratamiento para su procesamiento.

Aguas lluvias: Aguas provenientes de precipitaciones que escurren superficialmente o ingresan a los sistemas de drenaje urbano.

Balance Oferta-Demanda (BOD): Metodología utilizada para comparar la capacidad de conducción disponible de una infraestructura con la demanda hidráulica que debe transportar.

Bypass: Volumen de agua que, debido a limitaciones hidráulicas u operacionales del sistema, no sigue el proceso normal de tratamiento o conducción previsto.

Capacidad hidráulica: Caudal máximo que puede transportar una infraestructura en condiciones normales de operación.

Caudal: Volumen de agua que circula por una conducción durante un período determinado, generalmente expresado en litros por segundo (L/s) o metros cúbicos por día (m^3/d).

Colector unitario: Tubería diseñada para transportar conjuntamente aguas servidas y aguas lluvias dentro de un mismo sistema de alcantarillado.

Cuello de botella: Tramo de infraestructura cuya capacidad limita el desempeño global del sistema.

Efluente: Agua tratada que sale de una planta de tratamiento hacia un cuerpo receptor o disposición final.

GIS (Geographic Information System): Sistema de información geográfica utilizado para almacenar, analizar y representar información espacial asociada a la infraestructura sanitaria.

Holgura hidráulica: Diferencia entre la capacidad disponible de una infraestructura y el caudal que efectivamente transporta.

Impacto operacional: Efecto que generan determinadas condiciones de funcionamiento sobre los recursos, costos y desempeño de una instalación.

Infiltración: Ingreso de aguas subterráneas a la red de alcantarillado a través de juntas, fisuras o defectos estructurales.

Microcuenca urbana: Área geográfica delimitada donde los escurrimientos superficiales convergen hacia un mismo punto de drenaje dentro de un entorno urbano.

Modelo matemático: Representación simplificada de un sistema real mediante ecuaciones que permiten describir o estimar su comportamiento.

Regresión lineal múltiple: Técnica estadística utilizada para explicar el comportamiento de una variable mediante la relación con dos o más variables independientes.

Rebose: Descarga no controlada de aguas servidas o mezclas de aguas servidas y aguas lluvias producto de la superación de la capacidad del sistema.

Sistema de saneamiento: Conjunto de obras destinadas a recolectar, transportar, tratar y disponer adecuadamente las aguas servidas.

Sobrecarga hidráulica: Condición en la que el caudal que ingresa a una infraestructura supera su capacidad de conducción o tratamiento.

Tratamiento de aguas servidas: Conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos destinados a remover contaminantes presentes en las aguas residuales.

- **Acrónimos**

BOD: Balance Oferta-Demanda.

CSO (Combined Sewer Overflow): Descarga o rebose asociado a sistemas de alcantarillado unitario.

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

GIS: Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica).

I+D+i: Investigación, Desarrollo e Innovación.

L/s: Litros por segundo.

MMA: Ministerio del Medio Ambiente.

MOP: Ministerio de Obras Públicas.

m^3: Metros cúbicos.

m^3/d: Metros cúbicos por día.

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.

PEAS: Planta Elevadora de Aguas Servidas.

PTAP: Planta de Tratamiento de Agua Potable.

PTAS: Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.

R^2: Coeficiente de determinación utilizado para medir el ajuste de un modelo estadístico.

SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios.

SWMM: Storm Water Management Model.

WUSQI: Water Utility Service Quality Index.

WWTP (Wastewater Treatment Plant): Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.

13. ANEXOS

13.1. FICHAS BIBLIOGRÁFICAS MWM.

Ficha n°1

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Peña Arancibia, Ticehurst, Yu, McVicar, & Marvanek, 2024)
Palabras claves:	• **Modelación topográfica de microcuencas (LiDAR):** Permite caracterizar con alta precisión la superficie y pendientes que generan escorrentía hacia colectores unitarios. • **Relación elevación–área–volumen:** Clave para cuantificar volúmenes de agua aportados por lluvia en sistemas urbanos. • **Teledetección integrada (LiDAR + satelital):** Base metodológica para cuantificar aportes hídricos sin medición directa. • **Balance hídrico y pérdidas por evaporación:** Permite entender el destino del agua dentro de la microcuenca y su impacto en el sistema. • **Cuantificación de aportes difusos (escorrentía superficial):** Elemento central para estimar cargas hidráulicas que ingresan a colectores unitarios.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	“La integración de datos LiDAR aerotransportados y satelitales permite caracterizar la ubicación, elevación y volumen de almacenamientos de agua.” El uso de LiDAR permite reconstruir con alta precisión la topografía de una microcuenca, lo que en tu tesina se traduce en la capacidad de identificar cómo el agua lluvia se acumula, fluye y finalmente ingresa a los colectores unitarios. “Estas características permiten representar los sistemas en modelos hidrológicos y de gestión del recurso hídrico.”

	Esto es clave para tu trabajo, ya que valida que la información obtenida con LiDAR puede integrarse directamente en modelos hidráulicos para cuantificar caudales de ingreso a colectores unitarios. “Los almacenamientos pequeños, aunque individualmente son limitados, en conjunto generan impactos significativos en el sistema hidrológico.” Este concepto es directamente extrapolable a las microcuencas urbanas: múltiples aportes de escorrentía superficial, aunque pequeños, generan sobrecargas relevantes en colectores unitarios. “Los datos LiDAR satelitales proporcionan observaciones precisas del nivel del agua, con diferencias menores a 0,4 m.” Esto demuestra que el LiDAR es una herramienta confiable para estimar niveles hidráulicos, lo que permite calibrar modelos de escorrentía y validar caudales que ingresan al sistema de alcantarillado. “La integración de LiDAR con sensores ópticos mejora significativamente la estimación de volúmenes y dinámica del agua.” Para tu tesina, esto indica que el análisis no debe basarse solo en topografía, sino en la combinación de datos (lluvia, uso de suelo, imágenes), lo que permite una modelación más realista de los aportes a colectores unitarios.

Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** Ayuda a enfocar la tesina en el uso de LiDAR para entender cómo la lluvia realmente se transforma en aporte hacia los colectores unitarios. **Avalar:** Respalda que es posible estimar volúmenes y niveles de agua con buena precisión, incluso sin mediciones en terreno. **Complementar:** Aporta una mirada más completa al análisis hidráulico, incorporando la forma real del terreno y cómo fluye el agua. **Definir:** Permite establecer parámetros claros para modelar los aportes, como pendientes, áreas de escurrimiento y acumulación. **Contrapropuesta:** Propone una forma más moderna de analizar el sistema, basada en datos remotos en lugar de solo instrumentación local.
Materiales más significantes:	**Tablas:** Permiten ver de forma clara relaciones como área, volumen y evaporación. Útiles para estructurar variables en tu modelo de aportes a colectores. **Gráficos:** Muestran la evolución de volúmenes, niveles y cambios en el tiempo. Te sirven para entender cómo varía la carga hidráulica según eventos. **Ejemplos:** Casos reales de almacenamiento y comportamiento del agua en el territorio. Aplicables para interpretar microcuencas urbanas como Villarrica.

Ficha n°2

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Prošek et al. 2020)
Palabras claves:	• **Integración LiDAR–hiperespectral:** Permite mejorar la identificación de cuerpos de agua y su relación con la topografía. • **Modelos digitales de terreno (MDT):** Base para entender escorrentía y delimitación de microcuencas urbanas. • **Clasificación de cuerpos de agua de alta resolución:** Clave para detectar aportes pequeños pero significativos al sistema. • **Variables LiDAR (pendiente, altura, densidad de puntos):** Permiten caracterizar el flujo superficial hacia colectores. • **Detección de escorrentía superficial difusa:** Fundamental para cuantificar aportes hidráulicos no controlados.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 3. **Redacciones propias**	“Los levantamientos en terreno son intensivos en trabajo y extremadamente demandantes en tiempo, lo que los hace poco adecuados para monitoreo continuo.” Esto justifica directamente el uso de LiDAR en tu tesina, ya que permite reemplazar mediciones complejas en terreno por análisis remotos más eficientes para caracterizar microcuencas urbanas. “El uso de imágenes ópticas presenta problemas de precisión debido a la dificultad de distinguir el agua de otras superficies con baja reflectancia, como sombras.” Esto es clave, porque explica por qué los métodos tradicionales fallan en entornos urbanos, afectando la correcta identificación de zonas que aportan agua a los colectores unitarios. “Las características como altura de objetos, red de drenaje y pendiente pueden derivarse fácilmente de datos LiDAR.” Este es uno de los aportes más importantes para tu tesina, ya que estas variables permiten modelar cómo el agua lluvia se desplaza en la microcuenca y llega al sistema de alcantarillado.

	“La integración de datos hiperespectrales y LiDAR mejora la precisión en la identificación de cuerpos de agua.” Esto valida que el uso combinado de tecnologías permite obtener una caracterización más precisa de las áreas de aporte, reduciendo errores en la estimación de carga hidráulica. “La correcta identificación de pequeños cuerpos de agua es crucial para la investigación ambiental.” Esto es directamente extrapolable a tu caso, donde pequeños aportes de escorrentía urbana pueden generar impactos significativos en colectores unitarios.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Avalar:** Respalda que la integración de datos LiDAR y sensores remotos mejora significativamente la precisión en la identificación de áreas de aporte y cuerpos de agua. **Complementar:** Aporta una visión más completa al análisis hidráulico, incorporando la topografía real del terreno y su influencia en el flujo del agua. **Definir:** Permite establecer variables clave para el modelamiento, como pendiente, elevación, acumulación y rutas de escorrentía. **Contrapropuesta:** Propone una alternativa al enfoque tradicional, utilizando teledetección para estimar aportes sin depender exclusivamente de mediciones en terreno.

Materiales más significantes:	**Tablas:** Variables LiDAR (pendiente, elevación). Base del modelamiento. **Gráficos:** Precisión de métodos. Justifica uso de LiDAR. **Ejemplos:** Detección de cuerpos de agua. Identificación de aportes. **Mapas:** Topografía y microcuencas. Delimitación de áreas de aporte. **Otros:** MDT LiDAR. Clave para cuantificar escorrentía.

Ficha n°3

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Mastracchio et al. 2020)
Palabras claves:	Valoración de empresas sanitarias Eficiencia operacional del sistema Costos operacionales (OPEX) Flujo de caja y sostenibilidad financiera Regulación tarifaria y valor del servicio
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	“El valor de un activo es el valor presente de los beneficios económicos futuros.” El valor de una empresa sanitaria no está en su infraestructura únicamente, sino en su capacidad de generar beneficios operacionales en el tiempo, lo que depende directamente de su eficiencia. “Los flujos de caja futuros se estiman a partir de ingresos, costos y gastos operacionales.” Cualquier aumento en costos operacionales (como bombeo, químicos o tratamiento por sobrecarga) impacta directamente el valor del sistema. “El valor está influenciado por la capacidad del sistema de generar ingresos y controlar costos.”

	La eficiencia operacional es un factor crítico: sistemas menos eficientes generan mayor gasto y menor valor económico. "Las tarifas están reguladas, lo que limita la capacidad de generar ingresos adicionales." Esto implica que las empresas sanitarias no pueden compensar fácilmente el aumento de costos, por lo que la pérdida de eficiencia afecta directamente el valor del servicio. "Los activos del sistema son utilizados para generar los flujos de ingresos." Los colectores unitarios, es el soporte del valor económico, pero su sobrecarga reduce su capacidad de generar beneficios.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** Permite enfocar la tesina en la relación entre operación del sistema y valor económico. **Avalar:** Respalda que la eficiencia operacional es clave en el valor de empresas sanitarias. **Complementar:** Integra el análisis hidráulico con variables económicas (costos, ingresos). **Definir:** Permite establecer que el aumento de caudal impacta directamente en costos y valor.
Materiales más significantes:	**Gráficos / Diagramas:** Base conceptual para entender cómo se genera valor. **Tablas (implícitas en análisis financiero):** Útiles para estructurar análisis económico en tu tesina **Ejemplos:** Permiten entender cómo se evalúa el sistema en la práctica **Otro:** Clave para vincular eficiencia operacional con valor económico

Ficha n°4

	TIPO de lectura (fundamental, específica, complemento)

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Australian Bureau of Statistics, 2020)
Palabras claves:	• Valor económico de infraestructura sanitaria • Activos hidráulicos como capital productivo • Depreciación de infraestructura (degradation) • Rentabilidad de activos hídricos (ROA) • Costos de reposición y pérdida de valor
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 4. **Redacciones propias**	“El capital producido corresponde a los activos que contribuyen directa o indirectamente al suministro de agua.” La infraestructura sanitaria (colectores, redes, plantas) debe entenderse como un activo estratégico del sistema. En la tesina, esto permite posicionar los colectores unitarios como elementos críticos para la operación. “Los ingresos apenas permiten cubrir los costos y no generan un valor económico significativo del recurso.” El sistema sanitario no está diseñado para generar utilidades, lo que implica que su valor no se refleja en ingresos, sino en el servicio que entrega. Esto es clave para justificar su vulnerabilidad económica.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** Permite enfocar la tesina desde un análisis económico de la infraestructura sanitaria. **Avalar:** Respalda que los colectores unitarios son activos críticos dentro del sistema. **Complementar:** Integra el análisis hidráulico con el impacto económico del deterioro. **Definir:** Permite establecer que el problema es hidráulico y también patrimonial.
Materiales más significantes:	**Tablas**: Permite visualizar el peso de los activos en costos operacionales. **Gráficos / Diagramas**: Clave para entender cómo los activos generan (o no) valor económico. **Ejemplos**: Permite demostrar cómo se subestima el valor real de la infraestructura. **Otros:** Base directa para argumentar pérdida económica por deterioro.

Ficha n°5

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(NSW Water and Sewerage Strategic Business Planning Guidelines, 2011)
Palabras claves:	Calidad de servicio sanitario Niveles de servicio Gestión de clientes y comunidad Indicadores de desempeño del servicio Planificación estratégica del servicio sanitario
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 5. **Redacciones propias**	“El servicio al cliente debe ser un componente central en la planificación del servicio.” La operación del sistema sanitario debe centrarse en el usuario, donde fallas como reboses impactan directamente la calidad percibida del servicio. “El desempeño operacional influye directamente en la experiencia del usuario.” La sobrecarga de colectores unitarios se refleja en problemas visibles para los usuarios, como reboses o interrupciones, afectando su percepción del servicio. “La planificación debe integrar operación, activos y necesidades del cliente.” Para abordar el problema en Villarrica, es necesario integrar la gestión técnica del sistema con la gestión de clientes, permitiendo soluciones más completas y efectivas.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** Permite enfocar la tesina en cómo la operación de colectores unitarios impacta directamente la calidad del servicio al cliente. **Avalar:** Respalda que la calidad de servicio y los niveles de servicio son indicadores válidos para evaluar el desempeño del sistema sanitario. **Complementar:** Complementa el análisis hidráulico incorporando variables de gestión de clientes como continuidad, reclamos y satisfacción.

Materiales más significantes:	**Tablas: ejemplos de** Tablas de niveles de servicio, indicadores y planificación, lo que Permiten definir: • Estándares de servicio. • Relación directa con el cliente. • Indicadores medibles **Ejemplos:** Estructura del "Customer Service Plan" y sus componentes. Sirven para: • Diseñar tu modelo de gestión de clientes en Villarrica • Estructurar indicadores y acciones

Ficha n°6

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Vilarinho, Alves Pereira, D'Inverno, Nóvoa, & Camanho , 2024)
Palabras claves:	Calidad de servicio en agua potable y saneamiento Enfoque centrado en el cliente Indicadores compuestos (WUSQI) Satisfacción del usuario Eficiencia operacional del servicio
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 2. **Redacciones propias**	"La calidad es un concepto difuso y difícil de definir, especialmente en servicios." La calidad del servicio sanitario no depende solo de parámetros técnicos, sino de cómo el usuario percibe continuidad, respuesta y confiabilidad. "La calidad depende en gran medida de la percepción de los usuarios."

	En sistemas como los colectores unitarios, el impacto real se evidencia cuando el usuario percibe fallas (reboses, cortes, malos olores). “Los indicadores compuestos permiten sintetizar información compleja.” Permiten integrar múltiples variables en un solo índice, facilitando el análisis del desempeño del sistema. “El índice permite identificar áreas de mejora en las utilities.” Permite detectar debilidades operacionales que afectan al usuario.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** Enfoca la tesina en incorporar la calidad de servicio y percepción del usuario como resultado directo de la operación de colectores unitarios. **Avalar:** Respalda que la calidad del servicio sanitario es un indicador clave del desempeño del sistema, especialmente en contextos sin competencia. **Complementar:** Complementa el análisis hidráulico incorporando variables de gestión de clientes como reclamos, continuidad y respuesta.
Materiales más significantes:	**Tablas:** Indicadores de calidad de servicio (continuidad, reclamos, tiempos de respuesta). Sirven para medir el impacto del sistema en los usuarios. **Gráficos:** Estructura del índice de calidad y relación entre variables. Permiten visualizar cómo la operación afecta la calidad del servicio. **Ejemplos:** Aplicación de indicadores en empresas sanitarias. Base para replicar metodología en Villarrica.

Ficha n°7

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Hidayaturrahman & Gwan Lee, 2019)
Palabras claves:	• Carga contaminante en colectores unitarios • Microplásticos en aguas residuales urbanas • Eficiencia de remoción en PTAS • Impacto de escorrentía en calidad del agua • Transporte de contaminantes en sistemas sanitarios
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 6. **Redacciones propias**	“Los microplásticos no son eliminados completamente durante los procesos de tratamiento de aguas residuales.” Esto es clave, ya que demuestra que incluso con tratamiento, los colectores unitarios siguen siendo una vía de transporte de contaminantes hacia el medio ambiente. “Los procesos primarios y secundarios logran remover entre un 75% y 91,9% de los microplásticos.” Esto permite cuantificar el impacto del sistema, mostrando que la eficiencia disminuye cuando aumentan los caudales, como ocurre en eventos de lluvia en colectores unitarios. “La eficiencia de remoción aumenta a más del 98% después del tratamiento terciario.” Esto refuerza que tecnologías avanzadas pueden mitigar impactos, lo que es clave como propuesta frente a sobrecargas del sistema. “Los microplásticos pueden ingresar al sistema acuático a través de residuos domésticos, industriales y escorrentía de aguas lluvias.” Esto conecta directamente con tu tesina, ya que valida que la lluvia no solo aporta caudal, sino también contaminantes al sistema de colectores unitarios. “Grandes cantidades de microplásticos continúan siendo descargadas al río a través del efluente.” Esto evidencia el impacto ambiental directo del sistema, especialmente en condiciones de sobrecarga, como las que buscas caracterizar en Villarrica.

Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** Enfoca la tesina en el análisis conjunto de caudal y contaminación en colectores unitarios. **Avalar:** Respalda que la escorrentía urbana aporta contaminantes relevantes al sistema. **Complementar:** Integra la variable de calidad del agua al análisis hidráulico. **Definir:** Permite establecer indicadores de impacto (remoción, carga contaminante). **Contrapropuesta:** Refuerza la necesidad de tecnologías avanzadas frente a sistemas saturados.
Materiales más significantes:	**Ejemplos:** Casos reales en distintas plantas (A, B y C). **Diagrama del proceso de tratamiento:** Clave para entender ingreso y salida de contaminantes.

Ficha n°8

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Foglia et al. 2024)
Palabras claves:	• **Microplásticos en el ciclo urbano del agua:** Evidencia contaminantes asociados al sistema de alcantarillado. • **Carga contaminante en colectores unitarios:** Relaciona directamente los aportes urbanos (domésticos + lluvia). • **Representatividad de muestreo:** Clave para cuantificar correctamente contaminantes en el sistema.

	• **Eficiencia de remoción en plantas de tratamiento:** Permite evaluar impacto real de sobrecargas hidráulicas. • **Aportes difusos por escorrentía urbana:** Vincula lluvia con ingreso de contaminantes a colectores.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 7. **Redacciones propias**	“El agua representa el principal medio de dispersión de microplásticos, siendo gestionada en grandes volúmenes por plantas de tratamiento de aguas residuales y potables.” Esto es clave para tu tesina, ya que demuestra que los colectores unitarios no solo transportan agua, sino también contaminantes, los cuales aumentan en eventos de lluvia por escorrentía urbana. “Las plantas de tratamiento reciben aguas residuales urbanas que también incluyen escorrentía de lluvia, la cual transporta microplásticos provenientes del desgaste de neumáticos y residuos plásticos.” Esto conecta directamente con tu tema, ya que valida que la lluvia no solo aumenta el caudal, sino también la carga contaminante en los colectores unitarios. “Las plantas no están diseñadas para retener completamente los microplásticos que ingresan con el afluente.” Esto refuerza que la sobrecarga hidráulica en colectores unitarios no solo afecta el volumen, sino también la eficiencia del tratamiento, generando descargas al medio ambiente. “Debido a las bajas concentraciones y su distribución irregular, la representatividad de la muestra debe ser considerada durante la recolección.” Esto es clave metodológicamente para tu tesina, ya que muestra que no basta con medir, sino que se requiere un diseño de muestreo robusto para cuantificar correctamente los aportes al sistema. “Las concentraciones presentan alta variabilidad, especialmente durante eventos húmedos.” Esto valida directamente que los eventos de lluvia generan cambios significativos en la carga del sistema, lo que es fundamental para modelar colectores unitarios.

Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Relacionar** lluvia + escorrentía + contaminación **Justificar** que los colectores unitarios transportan carga hidráulica + carga contaminante **Incorporar** variables de calidad del agua (microplásticos) en el análisis **Sustentar** la necesidad de modelamiento dinámico (eventos húmedos) **Definir** criterios de muestreo representativo y metodologías de muestreo y análisis **Complementar** el enfoque hidráulico con contaminación emergente **Avalar** el impacto real de la escorrentía urbana **Orientar** hacia un enfoque más integral del sistema sanitario
Materiales más significantes:	Ejemplos

Ficha n°9

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Hakim Suhaimi et al. 2024)
Palabras claves:	• **Sobrecarga hidráulica en colectores unitarios:** Relaciona directamente el problema central de tu tesina: el ingreso de aguas lluvias e infiltración que altera el funcionamiento del sistema. • **Eficiencia de remoción de contaminantes (DBO, DQO, nutrientes):** Permite cuantificar el impacto del sistema y evaluar cómo la sobrecarga afecta el tratamiento. • **Modelamiento de procesos hidráulicos y cinéticos:** Clave para analizar y proyectar el comportamiento del sistema ante distintos escenarios (caudal, contaminación, operación).
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 8. **Redacciones propias**	“Los sistemas convencionales de tratamiento presentan varias limitaciones, especialmente en la remoción completa de contaminantes.”

	Esto es clave para tu tesina, ya que evidencia que los sistemas tradicionales (como los asociados a colectores unitarios) no están diseñados para enfrentar condiciones variables como eventos de lluvia, lo que refuerza la necesidad de soluciones más avanzadas. “El agua de los ríos está frecuentemente contaminada por residuos agrícolas, industriales y humanos, representando una amenaza directa para la salud”. Esto conecta directamente con los reboses de colectores unitarios (CSO), donde descargas sin tratamiento terminan impactando cuerpos receptores como ríos o lagos, generando efectos ambientales y sanitarios.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** Orienta la tesina hacia la incorporación de tecnologías avanzadas de tratamiento, como alternativa frente a la sobrecarga y baja eficiencia de los colectores unitarios. **Avalar:** Valida que existen soluciones tecnológicas capaces de mejorar significativamente la calidad del agua, incluso en escenarios de alta contaminación. **Complementar:** Complementa el análisis hidráulico con variables de calidad del agua (DBO, DQO, turbidez, nitrógeno), fundamentales para evaluar el impacto real de los colectores unitarios. **Definir:** Permite definir parámetros clave de evaluación como eficiencia de remoción, condiciones operacionales óptimas y comportamiento cinético de contaminantes. **Contrapropuesta:** Propone un enfoque alternativo basado en tratamiento avanzado, que puede complementar o reemplazar soluciones tradicionales frente a eventos de rebalse (CSO).
Materiales más significantes:	Ejemplos

Ficha n°10

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Barros Marangon et al. 2020)

Palabras claves:	• Modelamiento multicriterio (AHP) • Eficiencia de remoción (DBO, nutrientes, patógenos) • Sobrecarga hidráulica en sistemas sanitarios • Infiltración e ingreso de aguas lluvias
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 9. **Redacciones propias**	“La reutilización de aguas residuales municipales tratadas permite recuperar agua y nutrientes, generando beneficios socioeconómicos y ambientales.” Este enfoque permite replantear el sistema sanitario como un ciclo cerrado, donde los flujos que hoy generan impacto en colectores unitarios (especialmente en eventos de rebalse) pueden transformarse en recursos útiles, reduciendo presión sobre el sistema. “Los costos de implementación, operación y mantenimiento, la demanda energética y la simplicidad son criterios críticos.” En colectores unitarios, el ingreso de aguas parásitas (lluvia e infiltración) incrementa directamente estos costos, lo que hace fundamental incorporar variables económicas en el análisis del sistema, no solo hidráulicas. “El 80% de las aguas residuales generadas no son tratadas.” Esto evidencia que el problema no es solo de capacidad de tratamiento, sino de gestión del sistema completo, donde los colectores unitarios juegan un rol clave al mezclar flujos que terminan sobrecargando plantas y generando descargas al medio ambiente. “La asociación entre saneamiento y agricultura forma un ciclo cerrado, donde el agua y los nutrientes son reutilizados.” Este concepto es clave como contrapropuesta, ya que permite pasar de un sistema reactivo (que solo transporta y descarga) a uno proactivo, que gestiona los excedentes de los colectores unitarios de forma sostenible. “La descarga de aguas residuales sin tratamiento provoca contaminación de cuerpos de agua y suelos, además de enfermedades como diarrea, cólera y hepatitis.” En el caso de los colectores unitarios, estos impactos se intensifican durante eventos de rebalse (CSO), donde grandes volúmenes sin tratamiento son liberados, afectando directamente ecosistemas urbanos como el lago Villarrica.

Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** Permite orientar el enfoque de la tesina hacia una gestión más integral del sistema sanitario, incorporando el concepto de reutilización de aguas residuales como una alternativa frente a la sobrecarga de los colectores unitarios y sus impactos. **Avalar:** Respalda técnicamente que los sistemas de tratamiento pueden adaptarse para recuperar recursos (agua, nutrientes y energía), validando que existen soluciones reales y aplicables para disminuir los impactos ambientales generados por descargas sin tratamiento. **Complementar:** Complementa el análisis hidráulico de los colectores unitarios al incorporar variables operacionales clave como costos de energía, eficiencia de tratamiento y generación de subproductos, ampliando la mirada más allá del caudal y la infraestructura. **Definir:** Permite definir criterios técnicos para evaluar soluciones, tales como eficiencia de remoción (DBO, nutrientes, patógenos), costos operacionales, simplicidad de operación y demanda energética, los cuales son fundamentales para el desarrollo del modelo propuesto en la tesina. **Contrapropuesta:** Aporta una visión alternativa al sistema tradicional de saneamiento, proponiendo un modelo basado en economía circular, donde los flujos actualmente problemáticos en colectores unitarios pueden ser valorizados mediante reutilización en actividades productivas.
Materiales más significantes:	Ejemplos y tablas que se pueden modificar para complementar tesina.

Ficha n°11

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Patel & Nihalani, 2023)
Palabras claves:	Sistemas de Información Geográfica (GIS) Modelación hidráulica Redes sanitarias urbanas

	Análisis espacial Optimización de redes
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	“Los datos GIS pueden ser almacenados, manipulados, analizados y visualizados para soluciones integrales.” El GIS permite integrar información hidráulica, geográfica y operativa en un solo sistema, lo que es clave para entender el comportamiento real de los colectores unitarios. “Las redes urbanas incluyen agua potable y alcantarillado… gestionadas en GIS.” El sistema de colectores unitarios puede ser representado completamente en GIS, incluyendo tuberías, cámaras, conexiones y puntos críticos. “Modelos como SWMM, EPANET o HEC-RAS pueden integrarse con GIS.” GIS no solo muestra datos, sino que permite integrar simulaciones hidráulicas para entender caudales, velocidades y presiones en la red. “Sensores conectados a GIS permiten visualizar variaciones de presión y flujo.” Esto permite detectar eventos críticos en tiempo real, como sobrecarga por lluvias.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** Permite enfocar la tesina en el uso de GIS como base para analizar territorialmente los colectores unitarios y su comportamiento frente a lluvias. **Avalar:** Respalda que la integración de análisis espacial y modelación hidráulica es una metodología válida para diagnosticar redes sanitarias. **Complementar:** Aporta una visión integrada entre red sanitaria, territorio y dinámica hidráulica, mejorando el análisis tradicional.

Materiales más significantes:	**Tablas:** Parámetros de red (diámetro, nodos, pendientes). Como base para modelación hidráulica. **Gráficos:** Resultados de simulaciones (presión, caudal, velocidad). Permiten analizar comportamiento del sistema. **Ejemplos:** Casos de redes urbanas modeladas en GIS. Son referencia directa para Villarrica.

Ficha n°12

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Abdelfadeel Shaban, Eltoukhy, & Zayed, 2023)
Palabras claves:	Deterioro de redes sanitarias Modelación de fallas en tuberías Capacidad hidráulica y degradación Predictores de deterioro (operacionales y ambientales) Gestión y rehabilitación de infraestructura
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	“El deterioro… reduce sus capacidades estructurales e hidráulicas frente a cargas internas y externas.” El sistema pierde capacidad hidráulica con el tiempo, lo que lo vuelve más vulnerable a sobrecargas por lluvias, como ocurre en colectores unitarios. “Los predictores se agrupan en: tubería, suelo, operación y ambiente.” El comportamiento de los colectores unitarios no depende de una sola variable, sino de la interacción de múltiples factores. “Las redes requieren monitoreo continuo para modelar su deterioro.” Sin datos en tiempo real, no es posible anticipar fallas ni optimizar la operación del sistema.

Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** Permite enfocar la tesina en que el problema de los colectores unitarios no solo es hidráulico, sino también resultado del deterioro progresivo de la infraestructura. **Avalar:** Respalda técnicamente que la pérdida de capacidad hidráulica de las redes es una causa estructural de fallas y reboses. **Complementar:** Integra el análisis de lluvias y sobrecarga con variables propias del activo: edad, material, diámetro y condiciones del entorno.
Materiales más significantes:	**Tablas:** Predictores de deterioro (edad, material, condiciones operacionales). Base para definir variables del modelo. **Gráficos:** Mantiene una Relación deterioro – desempeño – fallas. La que permite explicar cómo se generan reboses. **Ejemplos:** Cuenta con **c**asos de modelación de fallas en redes sanitarias. Junto a Referencia para aplicar en Villarrica.

Ficha n°13

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Wang et al. 2025)
Palabras claves:	Gestión de aguas lluvias urbanas Soluciones basadas en la naturaleza (NBS) Escorrentía superficial urbana Análisis espacial de riesgo hídrico Mitigación de sobrecarga hidráulica

Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 10. **Redacciones propias**	“La infraestructura gris convencional es insuficiente en capacidad de conducción y drenaje.” Los sistemas tradicionales (como colectores unitarios) no logran manejar los caudales actuales, especialmente en eventos de lluvia intensa, generando sobrecarga. “El aumento de superficies impermeables incrementa el escurrimiento superficial.” En Villarrica, la urbanización provoca mayor ingreso de aguas lluvias al sistema unitario, aumentando el caudal más allá de su capacidad. “El porcentaje de superficie impermeable influye significativamente en el riesgo de inundación.” Las zonas más urbanizadas son las que generan mayor carga hidráulica hacia los colectores unitarios. “Las soluciones basadas en la naturaleza reducen el escurrimiento y el riesgo de inundación.” Las NBS permiten reducir el caudal que ingresa al sistema sanitario, atacando el problema desde su origen.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** Permite enfocar la tesina en la gestión del sistema pluvial como causa principal del problema. **Avalar:** Respalda que los colectores unitarios fallan por exceso de aguas lluvias y no solo por diseño. **Complementar:** Integra hidráulica urbana con planificación territorial y gestión pluvial. **Definir:** Permite definir variables clave: • Escorrentía. • superficie impermeable. • Topografía. • densidad urbana

Materiales más significantes:	**Mapas:** Hay aportes de ejemplos de mapa de riesgo/prioridad. Permitiendo: • Identificar zonas críticas. • Priorizar intervenciones. **Diagramas: aporta con** modelos de análisis multicriterio con base metodológica.

Ficha n°14

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(D'Ambrosio, Longobardi, & Schmalz, 2023)
Palabras claves:	Sistemas de drenaje sostenible (SuDS) Escorrentía urbana bajo cambio climático Sobrecarga hidráulica en sistemas combinados (CSO) Modelación hidrológica (SWMM) Adaptación al cambio climático en drenaje urbano
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	“La urbanización y los efectos del cambio climático en la precipitación son las principales causas del aumento del riesgo de inundaciones en zonas urbanas.” El problema de los colectores unitarios en Villarrica no es aislado: responde a un aumento sostenido de escorrentía producto de ciudades más impermeables y lluvias más intensas. “El sellado del suelo es una de las principales causas del aumento de inundaciones en contextos urbanos.” A mayor superficie impermeable, mayor volumen de agua que entra al sistema sanitario, generando sobrecarga.

	"Los sistemas de drenaje urbano están diseñados en base a condiciones climáticas históricas." Los colectores unitarios actuales operan bajo condiciones para las que no fueron diseñados, lo que explica su pérdida de eficiencia. "Se analizan los volúmenes y caudales descargados desde los desbordes de alcantarillado combinado." Los CSO son la manifestación directa del colapso del sistema frente a eventos de lluvia.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Avalar:** Respalda técnicamente que el aumento de escorrentía y lluvias intensas son factores determinantes en la ocurrencia de reboses (CSO). **Complementar:** Integra el análisis hidráulico con variables de urbanización y cambio climático, fortaleciendo el diagnóstico del sistema.
Materiales más significantes:	**Tablas:** Resultados de simulación (caudal máximo, volumen, nodos saturados). Sirven para cuantificar impacto hidráulico real del sistema. **Gráficos:** Relación lluvia – caudal – saturación del sistema. Permiten explicar cómo la lluvia genera sobrecarga. **Ejemplos:** Comparación escenario actual vs escenario con SuDS. Base directa para propuesta de soluciones en Villarrica.

Ficha n°15

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Lee, Yoon, Yang, Namkoong, & Kim, 2024)

Palabras claves:	Análisis de stakeholders Matriz poder–interés Conflicto de intereses Implementación de políticas Participación de actores
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	“El problema no es el diseño de la política, sino la baja tasa de implementación.” Los sistemas pueden estar bien diseñados (como colectores o normativas), pero fracasan si los actores clave no tienen incentivos para implementarlos. “Cualquier persona o grupo interesado en el resultado y con capacidad de influir.” En nuestro caso (Villarrica), esto incluye no solo la sanitaria, sino municipio, comunidad, regulador y actores económicos. “El poder es la capacidad de influir en la política, el interés es el nivel de impacto percibido.” Un actor puede tener mucho interés (ej. comunidad afectada) pero poco poder, o mucho poder (municipio) pero poco interés en actuar. “Los conflictos de interés entre actores dificultan la implementación.” Esto explica directamente por qué soluciones a colectores unitarios no se ejecutan, aunque sean técnicamente viables “No existen grupos fuertes que apoyen la política.” En sistemas sanitarios, muchas veces todos los actores relevantes tienen incentivos para no cambiar el sistema.

Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** Permite estructurar el problema no solo como hidráulico, sino como conflicto entre actores. **Avalar:** Demuestra que la falla del sistema es por falta de alineación entre actores. **Complementar:** Integra tu modelo técnico con gestión institucional.
Materiales más significantes:	Tablas de actores:

Actor	Poder	Interés	Rol
Sanitaria	Alto	Alto	Player
Municipio	Alto	Medio	Context Setter
Regulador	Alto	Bajo	Context Setter
Comunidad	Bajo	Alto	Subject
Otros usuarios	Medio	Alto	Player

Ficha n°16

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(OCDE, 2014)
Palabras claves:	Gobernanza multinivel del agua Coordinación institucional Eficiencia en gestión del agua Transparencia y rendición de cuentas Brechas de gobernanza (governance gaps)

Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	“Las crisis del agua son a menudo crisis de gobernanza.” El problema de los colectores unitarios no es solo hidráulico, sino institucional: las fallas del sistema responden a cómo se toman decisiones, se coordinan actores y se gestionan responsabilidades. “Las fronteras hidrológicas y los perímetros administrativos no coinciden.” Los sistemas unitarios fallan porque están gestionados por estructuras administrativas que no responden a la lógica del sistema hidráulico, generando descoordinación. “El agua vincula sectores, lugares y actores… y requiere coordinación.” El sistema de saneamiento no depende solo de la sanitaria, sino de múltiples actores (municipios, planificación urbana, drenaje), lo que explica por qué el sistema colapsa cuando no hay coordinación. “Brechas de políticas, financiamiento, capacidades, información, administración.” Las fallas de los colectores unitarios se explican directamente por estas brechas: falta de planificación, financiamiento insuficiente, baja capacidad técnica y mala información. “La eficiencia busca maximizar beneficios al menor costo para la sociedad.” Cuando el sistema unitario recibe caudales no controlados (lluvia), pierde eficiencia porque aumenta costos sin generar beneficios. “Asignar claramente roles y responsabilidades en políticas, operación y regulación.” Los colectores unitarios fallan porque no está claramente definido quién es responsable del manejo de aguas lluvias vs aguas servidas.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** Permite enfocar la tesina desde un problema técnico hacia un problema institucional. **Avalar:** Respalda que las fallas del sistema no son solo hidráulicas, sino de gobernanza. **Complementar:** Integra el análisis hidráulico con gestión pública, regulación y toma de decisiones.
Materiales más significantes:	**Diagramas**: Esquema de brechas de gobernanza, Puede usarse como base conceptual de tu problema

	Modelo conceptual: Ciclo de gobernanza del agua, conecta con política, implementación, monitoreo, evaluación **Principios estructurados: L**os 12 principios de gobernanza son la base directa para proponer soluciones **Otros y muy relevante:** Es marco multinivel de gobernanza que explica por qué fallan sistemas complejos como los unitarios

Ficha n°17

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(MMA, 2018)
Palabras claves:	• Vulnerabilidad hídrica urbana • Presión sobre infraestructura sanitaria • Eventos extremos de precipitación • Desbordes de alcantarillado (CSO) • Degradación ambiental por descargas
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 11. **Redacciones propias**	“La disponibilidad de agua disminuirá como consecuencia del cambio climático, generando presión sobre los sistemas de abastecimiento.” Esto permite establecer un contexto país: Chile enfrenta una presión creciente sobre sus recursos hídricos, lo que no solo afecta la disponibilidad, sino también la capacidad de los sistemas sanitarios para operar bajo condiciones variables. “La capacidad de los sistemas de alcantarillado está limitada por diseños antiguos y condiciones diferentes a las actuales.”

	Los sistemas sanitarios actuales, especialmente los unitarios, no fueron diseñados para las condiciones actuales de urbanización y cambio climático, lo que genera una presión estructural permanente. "El aumento en la frecuencia de precipitaciones intensas incrementará la presión sobre los sistemas de aguas lluvias." Los eventos de lluvia intensa son el principal gatillante de fallas operacionales en colectores unitarios, aumentando caudales, frecuencia de reboses y estrés en infraestructura. "Los eventos de desbordes de alcantarillado están fuertemente asociados a la precipitación acumulada." Esto valida metodológicamente que la lluvia es la variable crítica para modelar el comportamiento de colectores unitarios y predecir desbordes. "Los CSO descargan contaminantes como bacterias, nutrientes y materia orgánica directamente a los cuerpos de agua." Los desbordes no son solo un problema hidráulico, sino ambiental, ya que generan contaminación directa en ríos y lagos, afectando ecosistemas y usos recreativos.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Avala:** Impacto ambiental de descargas (CSO), lo que demuestra que los reboses generan contaminación directa en cuerpos receptores. Además, vulnerabilidad frente a lluvias intensas, que evidencia que el sistema falla principalmente por eventos climáticos. **Fundamenta:** demostrando que el problema no es local, es estructural y los colectores unitarios son sistemas vulnerables por diseño.
Materiales más significantes:	**Aporta a:** Modelamiento hidráulico y predictivo.

Ficha n°18

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Ministerio de Obras Publicas, 2020)

Palabras claves:	• Seguridad hídrica • Déficit de infraestructura sanitaria • Gestión fragmentada del recurso hídrico • Vulnerabilidad climática del sistema • Necesidad de modernización sanitaria
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 12. **Redacciones propias**	“Existe debilidad en la gestión de los recursos hídricos a nivel país y de cuencas, producto de la falta de coordinación entre instituciones.” Esto evidencia una brecha estructural en la gestión del agua en Chile, donde la falta de coordinación dificulta una respuesta eficiente ante eventos que afectan sistemas sanitarios como los colectores unitarios. “Se observa la falta de infraestructura adecuada para adaptarse al nuevo escenario hídrico.” El sistema actual no está preparado para enfrentar condiciones climáticas cambiantes, lo que se traduce en infraestructuras sobrepasadas, como los colectores unitarios frente a eventos de lluvia. “La ocurrencia de sequías más prolongadas y frecuentes, así como crecidas, se agravará en el tiempo.” Esto confirma que los sistemas sanitarios enfrentan escenarios cada vez más extremos, donde la falta de resiliencia aumenta el riesgo de fallas operacionales. “No existe un sistema nacional de información hídrica completo y confiable.” Esto es clave, ya que justifica el uso de herramientas como LiDAR y modelación para suplir la falta de información en la caracterización de aportes a colectores unitarios.

Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** Enfoca la tesina en la necesidad de modernizar sistemas sanitarios frente a nuevas condiciones climáticas. **Avalar:** Respalda que el problema no es puntual, sino estructural a nivel país (gestión + infraestructura). **Complementar:** Integra el análisis hidráulico con una mirada institucional y de gestión del recurso. **Definir:** Permite identificar brechas claras: gestión, infraestructura y resiliencia. **Contrapropuesta:** Refuerza la necesidad de avanzar hacia sistemas más modernos, dejando atrás infraestructuras obsoletas como colectores unitarios.
Materiales más significantes:	**Tablas:** Permiten evidenciar falta de avance estructural. **Gráficos:** Clave para justificar presión climática sobre sistemas sanitarios. **Ejemplos:** Aplicables para evidenciar vulnerabilidad territorial.

Ficha n°19

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Consejo Nacional de Innovación Para el Desarrollo, 2016)
Palabras claves:	Resiliencia frente a desastres Pérdidas económicas por eventos extremos Vulnerabilidad territorial Gestión del riesgo de desastres Infraestructura crítica expuesta

Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	“En promedio, cada año… Chile registró pérdidas cercanas al 1,2% de su PIB debido a desastres de origen natural.” Los eventos asociados a reboses y contaminación (como en el Lago Villarrica) no son aislados, sino que forman parte de una problemática mayor donde los desastres generan pérdidas económicas relevantes a nivel país y territorio. “Chile es uno de los países con mayor exposición a desastres de origen natural.” Villarrica se inserta en un contexto altamente vulnerable, donde la combinación de eventos climáticos y sistemas sanitarios sobrecargados aumenta el riesgo de contaminación y daño económico local. “Se requiere identificar, entender y mitigar el riesgo… para mejorar la toma de decisiones.” La problemática de los colectores unitarios debe abordarse desde una gestión integral del riesgo, considerando no solo la infraestructura, sino también los impactos ambientales y económicos asociados.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Avalar:** Respalda que los desastres y eventos asociados al agua generan pérdidas económicas significativas a nivel país y local. **Complementar:** Complementa el análisis hidráulico incorporando el enfoque de riesgo, vulnerabilidad y resiliencia.
Materiales más significantes:	Ejemplos de tablas que integren datos reales y permitan evidenciar el impacto económico, ya sea observado o proyectado, en función de la información disponible.

Ficha n°20

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Mai et al. 2020)
Palabras claves:	Riesgo de inundación urbana Impacto económico de eventos extremos Contaminación de cuerpos de agua (lago)

	Gestión integrada del riesgo hídrico Conflictos socioeconómicos por eventos sanitarios
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 13. **Redacciones propias**	“Las inundaciones generan daños económicos significativos en infraestructura, viviendas y actividades productivas.” Los reboses de colectores unitarios, al generar inundaciones y contaminación, impactan directamente la economía local de Villarrica, especialmente en turismo y comercio. “El riesgo de inundación aumenta debido a la urbanización y al cambio climático.” El crecimiento urbano en Villarrica y el aumento de lluvias intensas incrementan la probabilidad de reboses y descargas contaminantes al lago. “La gestión adecuada del riesgo puede reducir significativamente las pérdidas económicas.” Una mala gestión del sistema sanitario y pluvial aumenta los costos asociados a eventos, mientras que una gestión preventiva permite reducir impactos económicos. “Las medidas preventivas son más eficientes que la recuperación posterior a los eventos.” Invertir en soluciones como control de escorrentía o modernización de colectores es más eficiente que enfrentar los costos de contaminación y daños posteriores a los cuales se pueden exponer

Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** Permite enfocar la tesina en que los reboses y eventos de inundación no son solo hidráulicos, sino que generan impactos económicos sistémicos en el territorio (turismo, vivienda, servicios). **Avalar:** Respalda que los eventos de inundación generan pérdidas económicas significativas y crecientes, afectando múltiples sectores de la economía local. **Complementar:** Complementa el análisis hidráulico incorporando la relación: • inundación / reboses • contaminación ambiental • impacto económico territorial **Definir:** Permite definir variables económicas clave para Villarrica: • pérdidas económicas por eventos • impacto en turismo (lago contaminado) • afectación a viviendas y comercio • costos de recuperación
Materiales más significantes:	**Tablas:** Ejemplos de datos de pérdidas económicas asociadas a eventos de inundación. Estos sirven para cuantificar el impacto económico de los reboses en Villarrica. **Gráficos:** Relación entre frecuencia de eventos y magnitud de pérdidas. Los que permiten visualizar cómo aumenta el impacto económico con la recurrencia de eventos. **Ejemplos:** De Casos de eventos reales con daños económicos. Pudiendo usarlos como referencia análoga para justificar el impacto en el lago Villarrica.

13.2. FICHAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTARIAS.

Ficha n°21

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Özcan, Başkan, Düzgün, Kentel, & Alp, 2017)
Palabras claves:	• Contaminación difusa • Modelación (SWAT) • Nutrientes • Región semiárida • Cuenca de Lake Mogan
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 14. **Redacciones propias**	“Los modelos de destino y transporte de contaminantes son herramientas poderosas que ayudan a las autoridades a tomar decisiones objetivas para desarrollar estrategias de gestión sostenible.” La modelación hidrológica y de calidad de agua permite comprender cómo los sistemas de alcantarillado unitario responden ante eventos de lluvia, facilitando la identificación de sobrecargas y puntos críticos de rebose. “La variabilidad temporal y espacial de los eventos de lluvia dificulta el desarrollo de modelos confiables.” La alta variabilidad de las precipitaciones es un factor determinante en el aumento de caudales dentro de los colectores unitarios, lo que puede superar la capacidad hidráulica del sistema y generar fallas operacionales. “Los recursos hídricos son susceptibles a múltiples presiones como la contaminación (puntual y difusa), la urbanización y el cambio climático.” La contaminación difusa asociada a la escorrentía urbana es un componente relevante en los sistemas unitarios, ya que transporta contaminantes hacia el sistema de saneamiento, afectando su funcionamiento y el medio receptor.

	"La falta de datos observados es uno de los principales problemas para la modelación hidrológica." Los procesos hidrológicos como la escorrentía superficial, la infiltración y la evapotranspiración influyen directamente en la dinámica de caudales, siendo claves para entender el comportamiento del sistema durante eventos de lluvia. El uso de modelos permite evaluar escenarios de mejora, como la separación de redes, la implementación de infraestructura de control o almacenamiento, y la optimización operativa del sistema de saneamiento.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** El estudio orienta porque entrega bases metodológicas sobre cómo analizar sistemas hidrológicos y de contaminación frente a eventos de lluvia, lo que es directamente aplicable al comportamiento de colectores unitarios. **Complementar:** También complementa, ya que aporta conceptos técnicos (modelación, escorrentía, contaminación difusa, variabilidad de precipitaciones) que enriquecen el análisis del sistema de saneamiento.
Materiales más significantes:	El caso aplicado funciona como guía metodológica para desarrollar una evaluación similar en Villarrica, especialmente en el uso de modelación para estimar caudales y contaminantes. Bajo esta dinámica, el material en este paper aporta como base para diseñar material para el lago Villarrica.

Ficha n°22

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Leandro , Débora , Bruno , & Meirelles, 2024)
Palabras claves:	• Estado hidráulico de la red • Variabilidad del flujo (caudal) • Presión en nodos • Modelación hidráulica en tiempo real

	• Comportamiento dinámico del sistema
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 15. **Redacciones propias**	“Las redes de distribución de agua presentan una operación altamente dinámica debido a los patrones de consumo del sistema”. En este contexto, se puede entender que los sistemas de conducción, incluidos los colectores unitarios, están sometidos a variaciones constantes de caudal, lo que genera cambios en la velocidad del flujo y, por ende, en su comportamiento hidráulico. “Las intervenciones en tiempo real son necesarias para optimizar la operación y garantizar la calidad del servicio con costos mínimos”. Esto sugiere que la gestión de sistemas hidráulicos debe considerar la variabilidad operativa, especialmente en colectores unitarios, donde los eventos de lluvia requieren respuestas rápidas para evitar sobrecargas e impactos en el sistema. “El comportamiento hidráulico puede ser representado mediante variables como caudal, presión, niveles de agua y consumo energético”. Estas variables permiten caracterizar el estado del sistema, siendo especialmente relevante el caudal y la presión para analizar los efectos de cambios de velocidad en colectores. “Los métodos tradicionales de modelación hidráulica requieren un alto esfuerzo computacional, lo que dificulta su aplicación en tiempo real”. Por lo tanto, en sistemas complejos como los colectores unitarios, se hace necesario incorporar herramientas más eficientes que permitan analizar el comportamiento hidráulico de forma continua y oportuna. “Los modelos basados en datos permiten representar el comportamiento hidráulico a partir de mediciones reales como caudal, presión y niveles”. Esto abre la posibilidad de utilizar información operacional para comprender y anticipar fenómenos hidráulicos, como cambios bruscos de velocidad y sus efectos asociados. “Las redes hidráulicas responden de manera específica a diferentes condiciones de operación, generando distintos estados hidráulicos para cada escenario”.

	En el caso de colectores unitarios, esto implica que cada evento de lluvia o variación de carga produce un comportamiento distinto del sistema, afectando directamente su desempeño y potencial impacto ambiental.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orienta Avelar Define
Materiales más significantes:	Tablas Ejemplos

Ficha n°23

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Perspective et al. 2025)
Palabras claves:	• Descarga de aguas residuales sin tratar • Contaminación de cuerpos de agua • Eutrofización • Patógenos y riesgos sanitarios • Impacto en ecosistemas acuáticos
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 16. **Redacciones propias**	“La escorrentía superficial en los desbordes de colectores unitarios (CSO) puede conducir a la descarga de aguas residuales sin trata” Los colectores unitarios, al exceder su capacidad durante eventos de lluvia, descargan aguas residuales sin tratamiento al entorno. Esto refleja una limitación estructural del sistema, donde la sobrecarga hidráulica se traduce directamente en contaminación ambiental. “contaminando fuentes de agua potable y áreas recreativas con patógenos y contaminantes dañinos” Los desbordes afectan directamente la calidad de los cuerpos de agua, comprometiendo tanto su uso para consumo humano como para actividades recreativas. Esto evidencia la interacción crítica entre infraestructura sanitaria y protección del recurso hídrico.

	“Contribuyendo a la eutrofización y a la destrucción de hábitats” La incorporación de nutrientes provenientes de aguas residuales favorece procesos de eutrofización, lo que altera el equilibrio natural de los ecosistemas acuáticos, generando proliferación de algas, disminución de oxígeno y deterioro de la calidad del agua. “Representa riesgos significativos para la salud al contaminar aguas de consumo y recreación con patógenos nocivos” Los eventos de desborde no solo tienen efectos ambientales, sino también sanitarios, ya que introducen microorganismos patógenos en el agua, aumentando el riesgo de enfermedades en la población expuesta. “Provoca daño ambiental al contaminar cuerpos de agua y alterar los ecosistemas acuáticos” El funcionamiento de los colectores unitarios bajo condiciones críticas genera una degradación progresiva de los ecosistemas acuáticos, afectando su biodiversidad, estabilidad y capacidad de recuperación frente a perturbaciones.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orientar Avalar Complementar Definir
Materiales más significantes:	Tablas Gráficos Ejemplos Mapas

Ficha n°24

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Hauser, Back, Rauch, & Kleidorfer, 2026)
Palabras claves:	Carga contaminante. Impacto en la calidad del agua Cambio climático Escorrentía urbana
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	“Los sistemas de alcantarillado combinado descargan excedentes sin tratamiento durante eventos de lluvia, generando impactos significativos en la calidad del agua de los cuerpos receptores.” Esta condición evidencia que los colectores unitarios, bajo eventos de sobrecarga hidráulica, actúan como una fuente directa de contaminación, liberando aguas con alta carga orgánica y microbiológica hacia ríos o lagos, lo que afecta de manera inmediata la calidad ambiental del entorno. “El cambio climático incrementa la frecuencia e intensidad de eventos de rebose, aumentando las cargas contaminantes liberadas al medio ambiente.” En este contexto, el cambio climático no solo agrava el problema hidráulico del sistema, sino que también intensifica la presión ambiental, incrementando la frecuencia de episodios contaminantes y reduciendo la capacidad de recuperación de los ecosistemas receptores. “El crecimiento urbano y la expansión de superficies impermeables intensifican la escorrentía, contribuyendo a una mayor ocurrencia de desbordes.” Este fenómeno implica que el desarrollo urbano sin una adecuada planificación del drenaje incrementa el volumen de aguas lluvias que ingresan al sistema, generando arrastres de contaminantes difusos que terminan siendo descargados sin tratamiento al medio ambiente. “Las cargas contaminantes asociadas a los CSO incluyen sólidos suspendidos, materia orgánica y nutrientes que deterioran los ecosistemas acuáticos.” La presencia de estos contaminantes favorece procesos como la eutrofización, disminución del oxígeno disuelto y proliferación de patógenos, impactando negativamente la biodiversidad y los usos del agua, especialmente en cuerpos lacustres como Villarrica.

Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orientar Avalar Complementar
Materiales más significantes:	Tablas gráficos Ejemplos

Ficha n°25

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Tomperi , 2024)
Palabras claves:	• Transientes hidráulicos • Variación de velocidad del flujo • Resuspensión de sedimentos • Régimen hidráulico (flujo uniforme/no uniforme) • Impacto hidráulico en la calidad del agua
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 17. **Redacciones propias**	“Las anomalías en las condiciones hidráulicas dentro de una red de distribución están fuertemente relacionadas con el deterioro de la calidad del agua potable” En este sentido, se puede establecer que el comportamiento hidráulico de un sistema de conducción, incluyendo colectores unitarios, no solo define su capacidad de transporte, sino que también condiciona directamente la calidad del agua o del efluente, transformándose en un factor crítico dentro de la operación. “Los cambios bruscos de caudal y presión pueden desprender depósitos blandos y biofilm de las paredes de las tuberías, deteriorando la calidad del agua”. Esto resulta especialmente relevante en colectores unitarios, donde eventos como lluvias intensas generan aumentos repentinos de caudal, provocando la movilización de material acumulado y afectando la calidad del sistema de saneamiento. “Los cambios rápidos de flujo generan altos esfuerzos de corte que movilizan partículas desde los sedimentos y biofilm”.

	Desde una perspectiva operacional, estos esfuerzos de corte explican los procesos de resuspensión dentro de colectores, siendo un mecanismo clave para entender episodios de contaminación asociados a variaciones hidráulicas. "Los golpes de presión aumentan temporalmente la cantidad de partículas, la turbidez y la conductividad en el agua". De esta forma se asume que al superar los niveles de diseño al infiltrantra un volumen mayor de agua a las unidades de recolección, los sistemas trabajan sobre carga generando eventos transientes en la red, los que pueden ser interpretados como detonantes de deterioros puntuales en la calidad, lo que refuerza la necesidad de analizarlos dentro de la operación de sistemas unitarios. "Tiempos prolongados de permanencia favorecen el crecimiento de biofilm y la regeneración bacteriana". Esto implica que condiciones de baja velocidad o estancamiento en colectores favorecen la acumulación de material, generando un escenario propicio para que, ante un cambio hidráulico, se produzca una liberación masiva de contaminantes. "La turbidez y el flujo del agua están directamente relacionados". En consecuencia, las variaciones de caudal pueden ser utilizadas como un indicador indirecto del deterioro de la calidad, lo que abre la posibilidad de utilizar variables hidráulicas para anticipar eventos críticos en la operación del sistema.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orientar Avalar Complementar Definir
Materiales más significantes:	Ejemplos

Ficha n°26

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Decreto de fuerza de Ley 382 , 1988)
Palabras claves:	Operación de colectores Unitarios

Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 18. **Redacciones propias**	“Los servicios públicos de recolección de aguas servidas continuarán explotando los alcantarillados unitarios en actual operación.” • Las empresas sanitarias o entidades encargadas del alcantarillado pueden seguir usando los sistemas unitarios que ya existen, sin estar obligadas a cambiarlos de inmediato. “sin perjuicio de la legislación sobre aguas lluvias” • Aunque se permita seguir operando los alcantarillados unitarios, esto no los libera de cumplir con las normas que regulan las aguas lluvias.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Comprender la condición actual de operación de los colectores unitarios y cómo estos deben cumplir con la legislación de aguas lluvias, al mismo tiempo que se ajustan a las condiciones propias de un sistema de recolección.
Materiales más significantes:	El material más significativo de este documento radica en su aporte a los cimientos de esta tesina, ya que en estas obligaciones se originan gran parte de los problemas actuales. Estos están asociados al conflicto que enfrenta una infraestructura que debe adaptarse a distintas legislaciones, las cuales la obligan a cumplir simultáneamente en ambos ámbitos normativos.

Ficha n°27

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Vaquet et al. 2024)
Palabras claves:	Dinámica hidráulica de la red Dependencias temporales del flujo Variabilidad de la demanda (sistema demand-driven) Anomalías hidráulicas Dependencias espaciales en la red

Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	“Las redes de distribución de agua son sistemas complejos con múltiples componentes que pueden cambiar la dirección del flujo y la dinámica del sistema”. Esto permite entender que los colectores unitarios funcionan bajo condiciones altamente variables, donde los cambios de velocidad y dirección del flujo son inherentes a su operación, especialmente frente a eventos de carga como lluvias. “Los sistemas de distribución son sistemas impulsados por la demanda, lo que influye directamente en su comportamiento hidráulico”. En el caso de colectores unitarios, esta dependencia se traduce en variaciones significativas de caudal, lo que genera cambios en la velocidad del flujo y en las condiciones internas del sistema. “Las redes presentan dependencias temporales y espaciales que afectan el comportamiento del sistema” Esto implica que los fenómenos hidráulicos no ocurren de forma aislada, sino que se propagan a lo largo de la red, afectando distintos tramos del colector en función del tiempo y la ubicación. “La limitada disponibilidad de sensores genera una observabilidad reducida del sistema” En colectores unitarios, esta condición dificulta la identificación de eventos asociados a cambios hidráulicos, como aumentos bruscos de velocidad o sobrecargas. “Las anomalías en redes de agua pueden estar asociadas a fenómenos hidráulicos como fugas o eventos extremos”. De manera análoga, en colectores unitarios, los eventos hidráulicos críticos pueden generar impactos operacionales y ambientales, asociados a variaciones de caudal y velocidad. “Los sistemas presentan cambios en el comportamiento de los datos a lo largo del tiempo, conocidos como “concept drift”. Esto refleja que el comportamiento hidráulico no es estático, sino que evoluciona en el tiempo, lo que es coherente con la variabilidad observada en colectores unitarios bajo distintas condiciones operacionales.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orientar Complementar Definir
Materiales más significantes:	Tablas Gráficos Ejemplos

Ficha n°28	
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Langeveld et al. 2017)
Palabras claves:	• Modelación de afluente en sistemas unitarios • Dinámica hidráulica de colectores • Relación caudal–concentración • Flujo en tiempo húmedo (WWF) • Procesos de dilución e intrusión en red
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 19. **Redacciones propias**	“El modelo utiliza la dinámica hidráulica medida del afluente para derivar la calidad del agua de entrada.” El comportamiento del sistema puede ser explicado a partir de variables hidráulicas como caudal y nivel, lo que permite modelar indirectamente los aportes adicionales de agua, incluyendo infiltración. Esto es clave para cuantificar la intrusión sin depender exclusivamente de mediciones directas. “La variación de la calidad del afluente se relaciona con la hidráulica del sistema.” La relación entre caudal y concentración permite identificar procesos como dilución o aportes externos. En términos de intrusión, una disminución de concentración frente a aumentos de caudal puede evidenciar ingresos de aguas externas al sistema. “El modelo distingue entre flujo en tiempo seco (DWF) y flujo en tiempo húmedo (WWF).” Separar el comportamiento del sistema entre condiciones secas y húmedas es fundamental para identificar la intrusión de aguas. El DWF representa el caudal base, mientras que el WWF incorpora infiltración, escorrentía y otros aportes adicionales. “La dilución se modela en función de la relación entre el caudal actual y el caudal en tiempo seco.” El fenómeno de dilución es una herramienta clave para cuantificar la intrusión de aguas. A medida que aumenta el caudal respecto al DWF, la concentración disminuye, evidenciando la incorporación de aguas externas al sistema.

Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orientar Avalar Complementar Definir
Materiales más significantes:	Ejemplos

Ficha n°29

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Aguas Araucanía S.A.
Palabras claves:	• Capacidad hidráulica • Redes unitarias • Balance oferta-demanda • Modelación hidráulica • Infiltración • Aguas lluvias • Aliviaderos de tormenta • Resiliencia sanitaria
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 20. **Redacciones propias**	“A partir de la información disponible se realizará un balance oferta demanda de los colectores determinando la capacidad disponible o si existe un déficit.” “La demanda a utilizar será determinada a partir de los datos de consumo de la localidad y la infiltración de cada subcuenca.” “Se hace evidente que para evitar reboses en la vía pública se hace necesario un aliviadero de tormentas.”
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orienta** el análisis al utilizar un enfoque de balance oferta-demanda, permitiendo entender cómo evaluar la capacidad de una red sanitaria. **Avala** el uso de herramientas de modelación hidráulica basadas en datos reales, lo que respalda la validez de este tipo de análisis en contextos operacionales.

	Complementa el estudio al incorporar factores relevantes como la infiltración y el impacto de las aguas lluvias, los cuales son claves para entender el comportamiento real del sistema. **Define criterios técnicos importantes**, como el uso de niveles de ocupación de la tubería y la identificación de tramos críticos. **Contrapropuesta**, ya que evidencia la necesidad de avanzar desde análisis estáticos hacia modelos más predictivos, lo que se alinea directamente con el enfoque de esta tesina.
Materiales más significantes:	• Mapas • Resultados de modelos hidráulicos en tablas de datos

Ficha n°30

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Galiatsatou et al. 2026)
Palabras claves:	• Soluciones basadas en la naturaleza • Reducción de caudales punta • Desacople de aguas lluvias • Separación de sistemas unitarios • Adaptación al cambio climático
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 21. **Redacciones propias**	“Las soluciones basadas en la naturaleza permiten reducir la escorrentía superficial y mejorar la gestión de aguas lluvias en entornos urbanos.” Las soluciones basadas en la naturaleza, como áreas de infiltración, humedales urbanos o pavimentos permeables permiten disminuir el volumen de agua que ingresa al sistema de alcantarillado. En Villarrica, estas medidas resultan especialmente relevantes para reducir la presión sobre los colectores unitarios y mitigar los eventos de rebose. “La desconexión de aguas lluvias del sistema combinado reduce significativamente el volumen transportado por la red.” Separar o desviar las aguas lluvias antes de que ingresen al sistema unitario es una estrategia directa y efectiva. En la práctica, esto implica rediseñar conexiones

	domiciliarias o implementar soluciones locales, disminuyendo el volumen que debe ser transportado y tratado. "La separación de sistemas sigue siendo una de las soluciones estructurales más efectivas para eliminar los desbordes." La separación entre aguas servidas y aguas lluvias representa una solución definitiva al problema de los colectores unitarios. Sin embargo, su implementación suele ser compleja y costosa, por lo que se debe evaluar de manera estratégica en sectores prioritarios. "La gestión integrada del drenaje urbano combina múltiples estrategias para optimizar el desempeño del sistema." La solución al problema de los colectores unitarios no depende de una única medida, sino de la integración de distintas estrategias. Esto incluye infraestructura verde, control hidráulico y planificación urbana, generando un enfoque más completo y sostenible. "El control del escurrimiento superficial reduce el volumen y la velocidad del agua que ingresa al sistema." Reducir la velocidad y cantidad de agua que escurre por superficies impermeables permite disminuir la carga hidráulica sobre los colectores. Esto es clave en ciudades con crecimiento urbano, donde la impermeabilización incrementa el riesgo de reboses.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orientar Avalar Complementar Definir
Materiales más significantes:	Ejemplos

Ficha n°31

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Bernard Perry et al. 2024)

Palabras claves:	• Sobrecarga hidráulica en colectores combinados • Variabilidad de caudal y eventos de lluvia • Carga contaminante y transporte en red • Resuspensión de sedimentos en sistemas de alcantarillado • Dilución y dinámica en cuerpos receptores
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 22. **Redacciones propias**	“Los desbordamientos de alcantarillado combinado (CSO) están diseñados en las redes de aguas residuales para liberar descargas excedentes y reducir la sobrecarga durante eventos de tormenta”. Esto permite comprender que los colectores unitarios operan bajo condiciones límite, donde los aumentos de caudal y velocidad generan descargas como mecanismo de control hidráulico del sistema. “Los desbordamientos también pueden ser causados por falta de capacidad hidráulica, incluso fuera de eventos de lluvia intensa, además de fallas operacionales e infiltraciones”. Esto evidencia que el impacto hidráulico no depende únicamente de eventos extremos, sino también de condiciones estructurales y operacionales del sistema. “El aumento de la escorrentía superficial y la expansión urbana han incrementado los volúmenes de aguas residuales y los eventos de desbordamiento”. Esto indica que el crecimiento urbano genera mayores caudales en los colectores, lo que se traduce en incrementos de velocidad del flujo y mayor presión sobre la capacidad del sistema. “Las aguas residuales presentan una composición altamente variable, con aportes que cambian en el tiempo y el espacio”. Desde el punto de vista hidráulico, esta variabilidad implica que los cambios de caudal y velocidad afectan directamente el transporte y la concentración de contaminantes. “Los eventos de alto caudal provocan la resuspensión de sedimentos dentro del sistema de alcantarillado”. Esto demuestra que los incrementos de velocidad del flujo generan procesos de arrastre de material acumulado, siendo un mecanismo clave del impacto hidráulico en colectores unitarios.

	"La carga contaminante depende de la lluvia, las características del sistema y las condiciones de flujo en la red". Esto permite establecer que el comportamiento hidráulico (caudal, velocidad y régimen de flujo) es determinante en el impacto ambiental del sistema. "Los cambios en el caudal del río influyen en la dilución y el transporte de contaminantes en los cuerpos receptores" Esto vincula directamente la hidráulica del colector con su impacto aguas abajo, donde la velocidad y el caudal condicionan la dispersión de contaminantes.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Avalar Orientar Complementar
Materiales más significantes:	Gráficos Tablas Ejemplos

Ficha n°32

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Galiatsatou et al. 2026)
Palabras claves:	• Modelación hidrológica-hidráulica integrada • Variabilidad extrema de precipitaciones • Incertidumbre climática • Aumento de caudales pico • Sobrecarga sistémica del drenaje • Infraestructura obsoleta • Escorrentía rápida urbana • Presión sobre sistemas de drenaje • Diseño resiliente • Soluciones basadas en la naturaleza

Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 23. **Redacciones propias**	“las infraestructuras de drenaje urbano probablemente no serán adecuadas en el futuro… debido a que su diseño se basó en datos históricos de precipitación” La infraestructura sanitaria actual presenta una brecha estructural importante, ya que fue diseñada bajo condiciones climáticas pasadas, lo que hoy la expone a fallas frente a eventos más intensos, generando deterioro progresivo y pérdida de capacidad operativa. “todos los modelos indican un aumento en los volúmenes de desbordes de sistemas unitarios… lo que sugiere una presión creciente sobre los sistemas de drenaje urbano” El incremento de los reboses evidencia una mayor exigencia hidráulica sobre los colectores, lo que no solo afecta su funcionamiento, sino que también acelera los procesos de desgaste y daño estructural. “los eventos de precipitación extrema… presentan un comportamiento no estacionario” La variabilidad de las lluvias implica que los colectores enfrentan condiciones para las cuales no fueron diseñados, generando sobrecargas que comprometen su estabilidad estructural. “la escorrentía superficial en sistemas unitarios puede provocar la descarga de aguas residuales sin tratar… alterando los ecosistemas acuáticos” Los desbordes no solo reflejan un problema operativo, sino también una saturación del sistema, donde la infraestructura pierde su capacidad de conducción y control, evidenciando un estado de falla.

Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Orientar:** Permite enfocar el análisis hacia la relación directa entre cambio climático, aumento de caudales y daño estructural en colectores unitarios, identificando las principales causas del problema. **Avalar:** Entrega respaldo técnico y científico reciente que demuestra que las condiciones de diseño actuales son insuficientes frente a escenarios de precipitación extrema y no estacionaria. **Complementar:** Refuerza el marco teórico incorporando conceptos modernos como no estacionariedad, modelación climática y sobrecarga hidráulica, que amplían el enfoque tradicional del saneamiento urbano. **Definir:** Ayuda a establecer claramente que el daño en la infraestructura no es solo operativo, sino estructural, asociado a un desfase entre diseño hidráulico y condiciones climáticas actuales y futuras. **Contrapropuesta:** Permite fundamentar la necesidad de rediseño o adaptación de los sistemas, incorporando criterios de resiliencia, nuevas curvas IDF y soluciones basadas en la naturaleza. **Otros aportes:** Facilita la integración entre análisis hidráulico, impacto ambiental y gestión del riesgo, aportando una visión sistémica del problema en la microcuenca urbana de Villarrica.
Materiales más significantes:	Tablas Gráficos Ejemplos Fotografías Mapas

Ficha n°33

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Chiaburu & Bießmann, 2024)
Palabras claves:	• Sobrecarga hidráulica por eventos de lluvia intensa • Desbordamientos en sistemas unitarios (CSO) • Variación del nivel en estanques de tormenta (rain tanks) • Modelación de series temporales del flujo/volumen • Predicción del comportamiento hidráulico del sistema
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 24. **Redacciones propias**	“Los eventos de lluvia intensa generan un estrés hidráulico repentino en los sistemas de alcantarillado combinado”. Esto permite entender que los colectores unitarios están sometidos a aumentos bruscos de caudal y velocidad, lo que altera su funcionamiento normal y puede generar condiciones críticas de operación. “Durante eventos de lluvia, los sistemas CSO liberan aguas residuales al medio ambiente cuando se supera la capacidad del sistema”. Esto evidencia que los cambios hidráulicos asociados a incrementos de caudal derivan en desbordamientos, siendo una consecuencia directa de la sobrecarga del sistema. “Es necesario predecir el volumen de aguas residuales en estanques de tormenta para anticipar eventos de desbordamiento”. En términos operacionales, esto implica que el análisis del comportamiento hidráulico debe centrarse en variables que representen acumulación y variación de caudal, como niveles y volúmenes. “Los modelos de series de tiempo permiten predecir el comportamiento del sistema a partir de datos de sensores distribuidos en la red”. Esto sugiere que el comportamiento hidráulico en colectores puede ser analizado como un proceso dinámico en el tiempo, permitiendo identificar patrones de cambio en la velocidad del flujo.

	"El sistema de alcantarillado puede ser representado mediante múltiples sensores que registran variaciones en el tiempo". Esto refuerza la idea de que los colectores unitarios deben ser estudiados como sistemas dinámicos, donde las variaciones hidráulicas se manifiestan a través de cambios temporales en las variables del sistema. "Los modelos predictivos permiten anticipar eventos críticos y mejorar la gestión del sistema de aguas residuales". En este contexto, la incorporación de herramientas predictivas permite abordar de manera proactiva los impactos hidráulicos asociados a cambios de velocidad y caudal en colectores.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orientar Avalar Definir
Materiales más significantes:	Gráficos Ejemplos

Ficha n°34

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Ministerio de Obras Públicas, 1997
Palabras claves:	• Colectores unitarios • Redes combinadas • Separación de sistemas • Sistemas de alcantarillado • Interferencia entre aguas lluvias y servidas • Sobrecarga hidráulica • Capacidad de conducción • Inundaciones urbanas

	• Gestión integrada del drenaje • Diseño hidráulico
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 25. **Redacciones propias**	“Los sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias deberán ser planificados mediante planes maestros.” La ley deja claro que el manejo de las aguas lluvias no puede improvisarse. Es necesario planificar con anticipación cómo se van a evacuar, considerando el crecimiento de las ciudades y los eventos de lluvia. En este contexto, los problemas de los colectores unitarios muchas veces se explican por la falta de una planificación adecuada desde su origen. “Los sistemas deberán diseñarse y ejecutarse de manera que aseguren una adecuada evacuación de las aguas lluvias.” La ley exige que los sistemas funcionen correctamente frente a lluvias, pero en colectores unitarios esto es difícil de cumplir. Cuando llueve intensamente, la red se sobrecarga, lo que puede generar rebalses, inundaciones y fallas en el sistema sanitario. “La planificación de los sistemas de aguas lluvias se realizará mediante planes maestros.” La planificación es clave para evitar problemas en el drenaje urbano. En este sentido, los colectores unitarios reflejan una infraestructura antigua que no responde a las exigencias actuales, por lo que la ley permite sustentar la necesidad de avanzar hacia sistemas separados o soluciones más modernas.

Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Avala** que los sistemas de drenaje deben funcionar sin generar inundaciones ni daños, lo que permite evidenciar que los colectores unitarios presentan fallas cuando se sobrecargan en eventos de lluvia. **Define** el estándar esperado de evacuación de aguas lluvias, sirviendo como base para comparar el desempeño real de los colectores unitarios. **Orienta** el análisis hacia la necesidad de planificación del drenaje urbano, mostrando que los sistemas unitarios responden a soluciones antiguas no alineadas con este enfoque. **Complementa** el estudio al incorporar el contexto institucional y territorial del drenaje, útil para entender limitaciones en la gestión de estos sistemas. **Sustenta una contrapropuesta**, ya que permite justificar técnicamente la necesidad de migrar hacia sistemas separados o soluciones más modernas.
Materiales más significantes:	Contenido real aplicable a soluciones basado en responsabilidades establecidas

Ficha n°35

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Ord. N° 520, 1992)
Palabras claves:	• Alcantarillado unitario • Explotación del servicio • Mantención y reposición • Empresa sanitaria • Recolección conjunta (aguas servidas y lluvias)
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 26. **Redacciones propias**	“La explotación de los sistemas de alcantarillado unitario comprende la recolección conjunta de aguas servidas y aguas lluvias”. En los sistemas unitarios, la sanitaria no solo gestiona aguas servidas, sino también los efectos hidráulicos derivados del ingreso de aguas lluvias, lo que amplía su responsabilidad operacional. “La mantención y reposición de estas redes corresponde a la empresa sanitaria en su calidad de prestadora del servicio”.

	Existe una obligación implícita de operar y mantener infraestructura que no fue diseñada bajo los estándares actuales, generando tensiones entre normativa, operación y capacidad hidráulica. "No procede establecer cobros adicionales específicos por la evacuación de aguas lluvias en estos sistemas". El marco regulatorio reconoce esta condición como parte del servicio, pero no la aborda como un componente tarifario independiente, lo que contribuye a brechas en sostenibilidad y gestión del sistema.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	El Ord. 520/1992 de la SISS permite entender cómo la autoridad interpreta la operación de los sistemas de alcantarillado unitario, estableciendo que la empresa sanitaria debe hacerse cargo de su funcionamiento, incluso cuando estos reciben aguas lluvias. En este sentido, el documento orienta el análisis al clarificar el rol del prestador y, al mismo tiempo, avala que esta responsabilidad no es solo técnica, sino también normativa. Además, complementa el desarrollo de la tesina al incorporar una mirada regulatoria que explica por qué estos sistemas generan conflictos en su operación actual, especialmente al no existir una separación clara entre aguas servidas y aguas lluvias. Finalmente, ayuda a definir el contexto bajo el cual deben analizarse estos sistemas en Chile, evidenciando que el problema no radica únicamente en la infraestructura, sino también en la forma en que ha sido históricamente regulada su operación.
Materiales más significantes:	• Criterio interpretativo de la SISS. • Fundamento para análisis normativo. • Apoyo para justificar responsabilidades operacionales y de financiamiento

Ficha n°36

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Rezaee, Melville-Shreeve, & Rappel, 2025)
Palabras claves:	• Infiltración de aguas subterráneas • Caudal en tiempo seco (DWF) • Caudal en tiempo húmedo (WWF) • Modelación hidráulica de redes (SWMM) • Predicción de sobrecarga y reboses
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 27. **Redacciones propias**	“La infiltración de aguas subterráneas puede tener una contribución importante al caudal de un sistema de alcantarillado, lo que la hace relevante en el diseño de la red y de la planta de tratamiento.” La infiltración no es un aporte secundario, sino un componente estructural del sistema hidráulico. En términos de dimensionamiento, su correcta estimación es clave para evitar subdimensionamientos que deriven en sobrecargas, especialmente en sistemas unitarios como los presentes en Villarrica. “La infiltración se distribuye en diferentes meses del año según las variaciones del nivel freático.” La infiltración no es constante, sino que varía según condiciones hidrogeológicas y estacionales. Esto implica que el dimensionamiento debe considerar escenarios variables, especialmente en zonas con alta pluviometría o influencia del nivel freático, como ocurre en el sur de Chile. “El caudal en el sistema incluye aguas residuales, aguas lluvias y aportes de infiltración.” El caudal total que circula en un colector unitario es el resultado de múltiples aportes simultáneos. La infiltración se suma a las aguas servidas y lluvias, aumentando significativamente la carga hidráulica y afectando directamente el dimensionamiento de colectores y estructuras asociadas. “Las incertidumbres en precipitación, uso del agua y parámetros del sistema afectan la confiabilidad de las predicciones de flujo.”

	El cálculo de intrusión de aguas está sujeto a múltiples incertidumbres, lo que dificulta su estimación precisa. Esto refuerza la necesidad de incorporar márgenes de seguridad o enfoques probabilísticos en el dimensionamiento hidráulico. "Los modelos hidráulicos simulan el comportamiento del sistema mediante ecuaciones físicas, permitiendo representar el flujo en la red." El uso de modelos hidráulicos es fundamental para integrar los distintos aportes de caudal, incluyendo la infiltración. Estas herramientas permiten evaluar distintos escenarios y dimensionar adecuadamente la red frente a condiciones reales de operación. "La acumulación de flujos puede conducir a sobrecargas y desbordes en el sistema." Una estimación incorrecta de la intrusión de aguas puede generar condiciones de sobrecarga en la red, aumentando la probabilidad de reboses. Por ello, el dimensionamiento debe considerar estos aportes como un factor crítico en la operación del sistema.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orientar Avalar Complementar
Materiales más significantes:	Ejemplos

Ficha n°37

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Petrucci, Jalbert, Dorner, McQuaid, & Bicha, 2025)
Palabras claves:	• Infraestructura verde-azul (BGI) • Priorización de cuencas de drenaje • Índice de riesgo microbiológico • Modelación predictiva de reboses • Adaptación al cambio climático

Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 28. **Redacciones propias**	“La infraestructura verde-azul puede reducir el volumen y la frecuencia de eventos de desbordes al capturar parte de la escorrentía superficial” La infraestructura verde-azul representa una de las estrategias más efectivas para abordar el problema desde su origen, ya que permite interceptar y gestionar las aguas lluvias antes de que ingresen al sistema de alcantarillado. En una ciudad como Villarrica, donde existe alta interacción con cuerpos de agua, su implementación no solo reduce la carga hidráulica, sino que también disminuye significativamente el impacto ambiental y sanitario asociado a los reboses. “La combinación de infraestructura gris y verde puede ofrecer la mejor solución al maximizar las ventajas de ambos sistemas” Las soluciones actuales más robustas no se basan únicamente en ampliar la capacidad de la red, sino en integrar infraestructura tradicional con soluciones basadas en la naturaleza. Este enfoque híbrido permite responder adecuadamente a eventos extremos mediante infraestructura gris, mientras que la infraestructura verde gestiona eventos frecuentes, generando un sistema más eficiente y resiliente. “Se destaca la importancia de la localización espacial para priorizar cuencas urbanas en la implementación de medidas de mitigación” No todos los sectores urbanos presentan el mismo nivel de impacto frente a eventos de rebose. Por ello, resulta fundamental priorizar las cuencas en función de su vulnerabilidad, cercanía a cuerpos de agua y exposición de la población. En el caso de Villarrica, esta estrategia permite enfocar los recursos en zonas críticas, como áreas recreativas o de captación de agua. “Los patógenos provenientes de los desbordes representan un riesgo significativo para la salud pública, generando enfermedades gastrointestinales” La problemática de los colectores unitarios no debe abordarse únicamente desde una perspectiva hidráulica, sino también sanitaria. Incorporar el análisis de riesgo microbiológico permite dimensionar el impacto real en la salud de la población, especialmente en zonas de uso recreativo, fortaleciendo la justificación de medidas de mitigación.

	"La acumulación de precipitaciones proporciona variables sólidas para la predicción de eventos de desbordes" El uso de modelos predictivos basados en precipitaciones permite anticipar la ocurrencia de desbordes, facilitando una gestión más proactiva del sistema. Esta herramienta resulta clave para optimizar la operación, reducir riesgos y planificar intervenciones sin depender exclusivamente de modelos hidráulicos complejos. "La reducción del volumen de aguas lluvias que ingresa al sistema disminuye la ocurrencia de desbordes" Una de las estrategias más eficientes es intervenir en el origen del problema, reduciendo el ingreso de aguas lluvias al sistema unitario. Medidas como infiltración, retención o almacenamiento temporal permiten disminuir la sobrecarga hidráulica, evitando que el sistema alcance su capacidad máxima. "La densidad de superficies impermeables influye en la cantidad de contaminantes liberados durante los desbordes" El crecimiento urbano y la impermeabilización del suelo intensifican los problemas asociados a los colectores unitarios, aumentando tanto el volumen de escorrentía como la carga contaminante. Esto evidencia la necesidad de integrar la planificación urbana como parte de las soluciones de mitigación.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orientar Avalar Complementar Definir Contrapropuesta Otros aportes
Materiales más significantes:	Metodologías Ejemplos

Ficha n°38

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Anderson, Bennett, Sullivan, Warren, & Song, 2025)
Palabras claves:	• Control en tiempo real • Gestión dinámica del sistema sanitario • Optimización hidráulica • Tecnologías inteligentes aplicadas al saneamiento Reducción de eventos de rebose
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 29. **Redacciones propias**	“Las estrategias de control en tiempo real han surgido como una alternativa adaptable y costo-efectiva” control en tiempo real se posiciona como una alternativa eficiente frente a soluciones tradicionales, permitiendo gestionar el sistema de alcantarillado de manera adaptativa sin necesidad de grandes inversiones en infraestructura. En el contexto de Villarrica, esta estrategia abre la posibilidad de optimizar la operación existente para reducir reboses. “Los enfoques tradicionales de mitigación son intensivos en capital y a menudo inviables en entornos urbanos densos” Las soluciones convencionales, como la separación de redes o construcción de almacenamiento, presentan altos costos y dificultades de implementación en ciudades consolidadas. Esto refuerza la necesidad de buscar alternativas más flexibles y económicamente viables para la mitigación de colectores unitarios. “El control en tiempo real permite ajustar dinámicamente la operación del sistema en respuesta a condiciones hidráulicas cambiantes” El sistema deja de operar de manera estática y pasa a una gestión dinámica, ajustándose en función de las condiciones hidráulicas en tiempo real. Esto permite redistribuir caudales y evitar sobrecargas, mejorando significativamente el desempeño del sistema frente a eventos de lluvia. “Aprovechar la capacidad de almacenamiento no utilizada en la red” Una estrategia clave es utilizar de mejor manera la infraestructura existente, redistribuyendo los flujos hacia sectores con capacidad disponible. Esto evita la

	saturación localizada y reduce la ocurrencia de reboses sin necesidad de ampliar la red. “Integrando sensores, telemetría, dispositivos de control e inteligencia computacional” El uso de tecnologías como sensores, sistemas de monitoreo y algoritmos de control permite transformar la red en un sistema inteligente. Esto facilita la toma de decisiones en tiempo real y mejora la capacidad de anticiparse a eventos críticos. “Se logran reducciones significativas en el volumen y la frecuencia de los desbordes” La implementación de control en tiempo real demuestra ser efectiva para disminuir tanto la cantidad de reboses como su magnitud, lo que contribuye directamente a reducir impactos ambientales y riesgos sanitarios. “Mejora la resiliencia frente a la variabilidad de lluvias extremas” El sistema se vuelve más robusto frente a eventos climáticos intensos, permitiendo enfrentar de mejor manera escenarios de cambio climático y variabilidad hidrológica.
Aporte específico que se cree obtener sirve para	Orientar Avalar Complementar
Materiales más significantes:	Ejemplos

Ficha n°39

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Wild, Fuchs, & Davis, 2024)
Palabras claves:	• Contaminación de ríos por CSO • Descarga de contaminantes urbanos (patógenos, nutrientes, residuos) • Degradación de la calidad del agua • Eutrofización y déficit de oxígeno • Contaminación microbiológica y riesgo sanitario

Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 30. **Redacciones propias**	“Los desbordes de alcantarillado combinado (CSO) siguen siendo una fuente clave de contaminación, degradando la calidad de los cuerpos de agua” Los colectores unitarios, cuando operan bajo condiciones de sobrecarga, generan descargas directas a ríos y lagos, transformándose en una fuente estructural de contaminación que deteriora la calidad ambiental de los cuerpos receptores. “Las descargas contienen bacterias, patógenos, residuos industriales, aceites, grasas, nutrientes, materia orgánica y residuos sólidos” Los CSO liberan una mezcla compleja de contaminantes físicos, químicos y biológicos, lo que evidencia que el impacto ambiental no es puntual, sino multifactorial, afectando simultáneamente distintos componentes del ecosistema acuático. “Estos impactos degradan la calidad del agua de los cuerpos receptores” La operación de colectores unitarios incide directamente en la pérdida de calidad del agua, comprometiendo su uso para consumo, recreación y conservación ecológica, lo que representa un conflicto crítico en entornos urbanos. “Las descargas producen eutrofización y niveles reducidos de oxígeno en el agua” El aporte excesivo de nutrientes desde aguas residuales favorece procesos de eutrofización, generando condiciones de hipoxia que afectan la vida acuática y provocan fenómenos como mortandad de peces. “Los CSO son una fuente importante de contaminación microbiológica que afecta la calidad de aguas recreativas” Los desbordes introducen microorganismos patógenos en el agua, generando riesgos sanitarios relevantes, especialmente en zonas urbanas donde existe contacto directo de la población con estos cuerpos de agua.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	**Avalar:** demuestra con evidencia científica que los CSO son una fuente significativa de contaminación en cuerpos receptores. **Definir:** permite establecer conceptualmente qué es un rebose y sus impactos ambientales. **Orientar:** guía el análisis del problema desde una perspectiva hidráulica y ambiental integrada.

Materiales más significantes:	**Gráficos:** evolución de eventos CSO y cargas contaminantes **Tablas:** concentración de contaminantes (SST, DBO, nutrientes) **Ejemplos:** casos reales de sistemas urbanos con reboses

Ficha n°40

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	(Lewis et al. 2024)
Palabras claves:	• Desbordamientos de alcantarillado combinado (CSO) • Eventos de lluvia (rainfall-driven flow) • Variación del nivel hidráulico (nivel de río / sistema) • Dinámica de eventos hidráulicos extremos • Series temporales de variables hidráulicas
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 31. **Redacciones propias**	“Los sistemas de canales abiertos y redes de este tipo son influenciados por eventos como lluvias intensas, tormentas y condiciones extremas”. En colectores unitarios, estos eventos provocan aumentos bruscos de caudal y velocidad del flujo, alterando el comportamiento hidráulico normal del sistema. “La lluvia incrementa el nivel del río y modifica variables físicas como temperatura y conductividad”. Desde el punto de vista hidráulico, esto refleja un aumento en la carga del sistema, lo que genera variaciones en el régimen de flujo y potenciales condiciones de sobrecarga en colectores. “Los eventos de CSO y escorrentía agrícola presentan comportamientos distintos en términos de duración e intensidad”. Esto evidencia que los sistemas unitarios responden de forma diferenciada según el tipo de evento hidráulico, lo que es clave para caracterizar el impacto operacional y ambiental. “Los datos de sensores se analizan como series temporales, donde los eventos se identifican mediante cambios en la forma de las señales (picos y variaciones)”. Esto permite interpretar que los cambios de velocidad y caudal en colectores pueden ser identificados a través de variaciones temporales, facilitando el análisis del comportamiento hidráulico del sistema.

	“El comportamiento del sistema puede ser representado mediante modelos conceptuales que relacionan variables como lluvia, nivel, calidad y descargas”. En colectores unitarios, este enfoque permite comprender la interacción entre variables hidráulicas y de calidad, integrando la operación del sistema con sus efectos en el entorno.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Definir Orientar Complementar
Materiales más significantes:	Ejemplos

13.3. IMÁGENES



Figura N° 1, áreas tributarias de red unitaria Epulef 0, Epulef 1 y Epulef 3 (Fuente: GIS).



Figura N° 2, áreas tributarias de red unitaria Epulef 3 (Fuente: GIS).

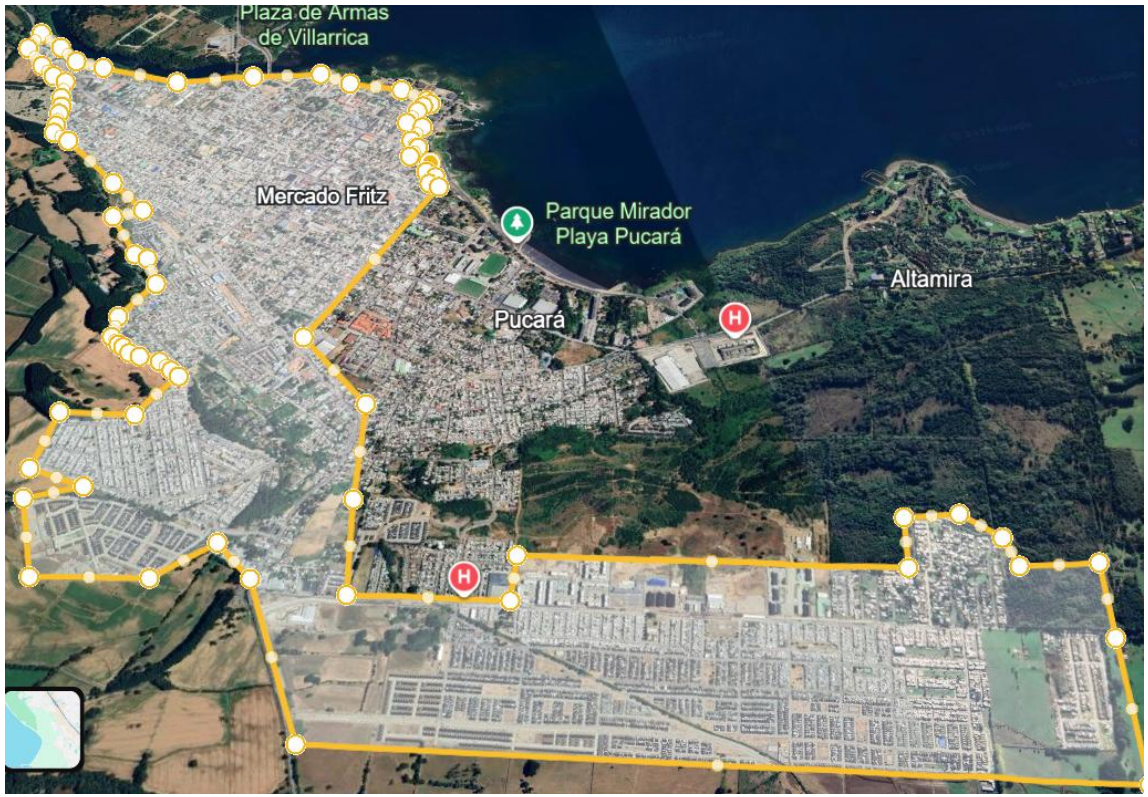


Figura N° 3, Area tributarias de red unitaria Colo Colo 2 (Fuente: GIS).

13.4. TABLAS

Tabla 13.4.1. resumen BOD conducción Epulef 0.

ID	Material	Di	L	i	Q_{inf}	Q_{mh}	Q	Q_{70}	Q/Q_{70}	Q_{70}-Q
		[mm]	[m]	[m/m]	[l/s]	[l/s]	[L/s]	[L/s]	[%]	[L/s]
23465	HDP	207,8	33,1	0,057	4,4	16,9	21,3	104,4	20	83
30727	HDP	207,8	20,3	0,067	4,4	16,9	21,3	113,4	19	92
30726	HDP	207,8	19,9	0,019	4,4	16,9	21,3	59,9	36	39
30725	HDP	207,8	28,3	0,064	4,4	16,9	21,3	111,5	19	90
30724	HDP	207,8	40,8	0,04	4,4	16,9	21,3	87,8	24	66
30723	HDP	207,8	33,3	0,015	5,2	18,6	23,8	54,4	44	31
30722	HDP	207,8	48,5	0,017	5,2	18,6	23,8	56,8	42	33
24398	Concrete	200	86,9	0,021	5,2	18,6	23,8	39,7	60	16
24401	PVC	334	19,1	0,076	5,2	18,6	23,8	427,7	6	404
30721	PVC	334	120,9	0,017	6,1	21,4	27,5	204,3	13	177
30720	PVC	334	39,1	0,015	6,1	21,4	27,5	192,9	14	165
CO-3	PVC	304,8	13,7	0,02	6,1	21,4	27,5	171,4	16	144

Tabla 13.4.2. Resumen BOD conducción Epulef 1.

ID	Material	Di	L	i	Q_{inf}	Q_{mh}	Q	Q_{70}	Q/Q_{70}	Q_{70}-Q
		[mm]	[m]	[m/m]	[l/s]	[l/s]	[L/s]	[L/s]	[%]	[L/s]
23272	PVC	169,4	73,1	0,007	0,9	5,1	6	21,5	28	15
19293	Steel	200	43,8	0,007	0,9	5,1	6	26,9	22	21
23084	PVC	169,4	13,9	0,008	0,9	5,1	6	22,7	26	17
22744	PVC	169,4	59	0,002	0,9	5,1	6	12	50	6

103073	PVC	188,2	12,5	0,055	0,9	5,1	6	78,8	8	73
103074	PVC	188,2	33,5	0,003	0,9	5,1	6	19,3	31	13
CO-3	PVC	304,8	13,7	0,02	6,1	21,4	27,5	171,4	16	144

Tabla 13.4.3. Resumen BOD conducción Epulef 2.

ID	Material	Di	L	i	Q_{inf}	Q_{mh}	Q	Q_{70}	Q/Q_{70}	Q_{70}-Q
		[mm]	[m]	[m/m]	[l/s]	[l/s]	[L/s]	[L/s]	[%]	[L/s]
23300	PVC	300	114,4	0,002	2,6	9,9	12,4	53,6	23	41
23034	PVC	300	68,2	0,003	2,6	9,9	12,4	63,3	20	51
22779	PVC	300	92,7	0,002	4,4	16,9	21,3	55,7	38	34
23320	PVC	300	123,3	0,001	6,1	21,6	27,7	27,9	99	0,2

Tabla13.4.4. Resumen BOD conducción Epulef 3

ID	Material	Di	L	i	Q_{inf}	Q_{mh}	Q	Q_{70}	Q/Q_{70}	Q_{70}-Q
		[mm]	[m]	[m/m]	[l/s]	[l/s]	[L/s]	[L/s]	[%]	[L/s]
22642	Concreto	300	20,1	0,013	15,1	48,8	63,9	93,8	68,1	29,9
30719	Concreto	300	68,7	0,008	15,1	48,8	63,9	74,4	85,9	10,5
30718	Concreto	300	108,1	0,006	15,1	48,8	63,9	64,5	99	0,6
30717	Concreto	300	17,8	0,026	15,1	48,8	63,9	130	49,1	66,1
30716	Concreto	300	116,9	0,012	15,1	48,8	63,9	87,7	72,9	23,8
30715	Concreto	300	90,5	0,009	15,1	48,8	63,9	74,7	85,6	10,8
30714	Concreto	300	30,2	0,009	15,1	48,8	63,9	76,6	83,4	12,7
30713	Concreto	400	117,6	0,003	15,1	48,8	63,9	95,1	67,2	31,2
30712	Concreto	400	121,6	0,002	15,1	48,8	63,9	74,2	86,1	10,3
30711	Concreto	400	116,9	0,003	15,1	48,8	63,9	91,2	70	27,3
30710	Concreto	400	114,2	0,001	15,1	48,8	63,9	64,5	99	0,6
CO-7(1)	Concreto	400	5,8	0,066	18,6	56,5	75,06	447,8	16,8	372,7

Tabla 13.4.5. Resumen BOD conducción Colo Colo

ID	Material	Di	L	i	Q_{inf}	Q_{mh}	Q	Q_{70}	Q/Q_{70}	Q_{70}-Q
		[mm]	[m]	[m/m]	[l/s]	[l/s]	[L/s]	[L/s]	[%]	[L/s]
20499	Cemento Asbestos	500	116,9	0,022	32,7	91,1	123,8	463,3	27	339
30709	Cemento Asbestos	500	122,7	0,003	32,7	91,1	123,8	175,9	70	52
30708	Cemento Asbestos	500	65,7	0,004	32,7	91,1	123,8	210	59	86
30707	Cemento Asbestos	500	118,4	0,004	32,7	91,1	123,8	201,3	62	77
30706	Cemento Asbestos	500	4,8	0,004	37,9	103,1	141	204,7	69	64
30705	Cemento Asbestos	500	5,1	0,029	37,9	103,1	141	542,1	26	401
30704	Cemento Asbestos	500	117,6	0,005	37,9	103,1	141	222,1	64	81
30703	Cemento Asbestos	500	119	0,008	37,9	103,1	141	289,8	49	149
30702	Cemento Asbestos	500	114,1	0,003	37,9	103,1	141	180	78	39
30932	Cemento Asbestos	500	4,4	0,044	37,9	103,1	141	659	21	518
30701	Cemento Asbestos	500	119,8	0,005	37,9	103,1	141	225,6	63	85
30698	Cemento Asbestos	600	115	0,004	49,6	150,4	200	321,6	62	122
30699	Cemento Asbestos	500	7,3	0,011	49,6	150,4	200	331,3	60	131
30931	Cemento Asbestos	600	3,1	-0,019	49,6	150,4	200	712,4	28	512
30696	Cemento Asbestos	600	111,4	0,002	49,6	150,4	200	238,6	84	39
30697	Cemento Asbestos	600	3,9	0,018	49,6	150,4	200	688,7	29	489
30695	Cemento Asbestos	600	115,7	0,002	49,6	150,4	200	234,1	85	34
30694	Cemento Asbestos	600	4,1	0,01	49,6	150,4	200	508,1	39	308
30693	Cemento Asbestos	600	118,2	0,001	49,6	150,4	200	170,5	117	-30
30692	Cemento Asbestos	600	120,7	0,004	49,6	150,4	200	327,6	61	128
23565	Cemento Asbestos	600	119,8	0,002	37,9	140,8	178,7	239,5	75	61
CO-6	Cemento Asbestos	700	176	0,004	37,9	140,8	178,7	463,9	39	285
30690	Cemento Asbestos	700	19,2	0,049	37,9	140,8	178,7	1714,3	10	1536
30689	Cemento Asbestos	700	33,4	0,005	37,9	140,8	178,7	536,6	33	358

CO-5	Sintético	655,6	3,2	0,276	49,6	157,1	206,7	4936,2	4	4729
29585	Sintético	655,6	9,5	0,059	49,6	186,3	235,9	2283,5	10	2048

Tabla 13.4.6. Caudales de afluente y bypass en PEAS San Martin Villarrica

Fecha	Hora	Caudal (l/s)	Bypass (l/s)		Fecha	Hora	Caudal (l/s)	Bypass (l/s)
2025-05-14	10:24:50.141	262.41	51,63		2025-05-14	10:24:50.141	262.41	51,63
2025-05-15	5:59:00.000	163.23			2025-05-15	5:59:00.000	163.23	
2025-05-15	5:15:49.185	314.97			2025-05-15	5:15:49.185	314.97	
2025-05-16	1:16:00.000	236.58	3,09		2025-05-16	1:16:00.000	236.58	3,09
2025-05-16	1:17:00.000	237.48	3,09		2025-05-16	1:17:00.000	237.48	3,09
2025-05-16	11:26:40.588	314.97	3,09		2025-05-16	11:26:40.588	314.97	3,09
2025-05-17	5:14:00.000	6.78	421,35		2025-05-17	5:14:00.000	6.78	421,35
2025-05-17	5:18:03.275	314.97	421,35		2025-05-17	5:18:03.275	314.97	421,35
2025-05-18	4:34:00.000	311.64	0		2025-05-18	4:34:00.000	311.64	0
2025-05-18	5:54:52.764	314.97	0		2025-05-18	5:54:52.764	314.97	0
2025-05-19	6:34:00.000	180.63			2025-05-19	6:34:00.000	180.63	
2025-05-19	7:00:00.000	249.48			2025-05-19	7:00:00.000	249.48	
2025-05-19	7:01:00.000	195.75			2025-05-19	7:01:00.000	195.75	
2025-05-20	3:21:00.000	174.24			2025-05-20	3:21:00.000	174.24	
2025-05-20	8:57:00.000	314.40			2025-05-20	8:57:00.000	314.40	
2025-05-20	9:51:00.000	266.94			2025-05-20	9:51:00.000	266.94	
2025-05-20	9:52:00.000	201.42			2025-05-20	9:52:00.000	201.42	
2025-05-21	3:31:55.596	314.97			2025-05-21	3:31:55.596	314.97	
2025-05-22	3:48:00.000	143.64			2025-05-22	3:48:00.000	143.64	
2025-05-22	12:43:00.000	258.33			2025-05-22	12:43:00.000	258.33	
2025-05-22	12:44:00.000	258.12			2025-05-22	12:44:00.000	258.12	
2025-05-22	1:32:59.897	314.97			2025-05-22	1:32:59.897	314.97	
2025-05-23	4:36:00.000	118.86			2025-05-23	4:36:00.000	118.86	
2025-05-24	3:35:00.000	134.73	0		2025-05-24	3:35:00.000	134.73	0
2025-05-24	3:36:00.000	134.97	0		2025-05-24	3:36:00.000	134.97	0
2025-05-25	6:33:00.000	118.35	121,17		2025-05-25	6:33:00.000	118.35	121,17
2025-05-25	10:17:12.553	314.97	121,17		2025-05-25	10:17:12.553	314.97	121,17

Tabla 13.4.7. Variables operacionales de PTAS Villarrica

			Y	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
Año	Mes	Dia	Afluente (m3/d)	Lodos Deshidratados (m3/d)	Energía (Kw-h/d)	Cloro Gas (kg/d)	Hipoclorito de sodio (L/d)	Metabisulfito de sodio (kg/d)	Hidróxido de Calcio (Kg/d)	Polímero (Kg/d)	Vol by-pass (m3/d)	Lodo Desechado (m3/d)	Residuos Pretratamiento (kg/d)
2024	Enero	1	9258	12,2	840	89	1	4,2	0	0	0	0	320
2024	Enero	2	9537	2,0	780	92	1	4,2	0	0	0	0	520
2024	Enero	3	8832	5,0	780	85	1	4,2	200	12	0	0	440
2024	Enero	4	10032	10,3	1020	96	41	4,2	200	10	0	0	520
2024	Enero	5	10438	6,6	960	100	301	4,2	200	10	0	36	480
2024	Enero	6	9014	0,0	600	87	1	3,6	200	0	0	0	480
2024	Enero	7	8950	6,6	840	86	1	3,6	800	12	0	0	380

2024	Enero	8	8630	6,7	1080	83	1	3,6	300	8	0	0	660
2024	Enero	9	10869	10,7	1080	104	1	3,6	200	12	0	0	860
2024	Enero	10	8719	2,9	780	84	1	3,6	600	4	0	0	960
2024	Enero	11	8513	9,2	1020	82	1	3,5	300	14	0	36	540
2024	Enero	12	8774	10,9	1020	84	1	3,5	500	13	0	0	500
2024	Enero	13	10271	10,9	1140	99	1	4,2	500	12	0	0	400
2024	Enero	14	7635	7,9	900	73	1	4,2	500	7	0	0	500
2024	Enero	15	9593	6,4	900	92	1	4,2	200	12	0	36	480
2024	Enero	16	9159	15,7	1020	88	1	4,2	400	16	0	0	540

2024	Enero	17	10729	11,7	1080	103	1	4,1	200	8	0	0	480
2024	Enero	18	9011	4,3	780	114	1	4,1	200	4	0	0	420
2024	Enero	19	9161	4,4	840	88	1	4,2	200	0	0	36	420
2024	Enero	20	9058	5,8	840	87	1	4,2	300	11	0	0	740
2024	Enero	21	9596	11,8	1020	129	1	4,2	200	18	0	0	260
2024	Enero	22	10903	7,7	900	146	1	4,2	0	8	0	0	900
2024	Enero	23	9100	10,7	840	122	1	4,1	400	12	0	36	3050
2024	Enero	24	9396	5,8	1020	126	1	4,1	600	17	0	0	540
2024	Enero	25	11365	3,8	1020	152	1	3,6	100	11	0	0	520

2024	Enero	26	9519	0,0	720	128	1	3,6	200	0	0	36	440
2024	Enero	27	9289	5,8	1020	124	1	3,6	400	12	0	0	440
2024	Enero	28	8911	5,3	900	119	1	3,6	0	16	0	0	280
2024	Enero	29	11920	2,1	900	160	1	3,6	400	4,0	0	0	280
2024	Enero	30	9580	1,1	900	128	1	3,5	100	7,0	0	0	400
2024	Enero	31	8563	2,4	780	115	11	3,5	300	18,0	0	24	540
2024	febrero	1	8237	7,9	840	116	1	5,2	246	9,3	0	0	540
2024	febrero	2	11242	7,9	840	152	1	5,2	246	9,3	0	36	400
2024	febrero	3	9512	7,9	840	88	1	5,2	246	9,3	0	0	420

2024	febrero	4	8974	7,9	960	93	1	5,2	246	9,3	0	0	220
2024	febrero	5	9485	7,9	960	97	1	5,2	246	9,3	0	0	300
2024	febrero	6	12435	7,9	960	114	1	5,2	246	9,3	0	36	380
2024	febrero	7	13062	7,9	1020	120	1	5,2	246	9,3	0	0	480
2024	febrero	8	8575	7,9	840	89	16	5,2	246	9,3	0	0	420
2024	febrero	9	9696	7,9	720	89	1	5,2	246	9,3	0	0	420
2024	febrero	10	11657	7,9	780	107	11	5,2	246	9,3	0	0	420
2024	febrero	11	8928	7,9	780	92	1	5,2	246	9,3	0	0	240
2024	febrero	12	9570	7,9	720	90	1	5,2	246	9,3	0	24	340

2024	febrero	13	9998	7,9	780	102	1	5,2	246	9,3	0	0	460
2024	febrero	14	11863	7,9	1020	154	1	5,2	246	9,3	0	0	260
2024	febrero	15	11088	7,9	960	125	1	5,2	246	9,3	0	0	460
2024	febrero	16	7548	7,9	600	98	1	5,2	245	9,3	0	0	360
2024	febrero	17	9048	7,9	720	112	1	5,2	245	9,3	0	0	460
2024	febrero	18	9368	7,9	720	156	1	5,2	245	9,3	0	0	120
2024	febrero	19	9219	7,8	720	139	1	5,2	245	9,3	0	36	240
2024	febrero	20	8566	7,8	840	94	20	5,2	245	9,3	0	0	140
2024	febrero	21	10292	7,8	840	96	10	5,2	245	9,3	0	0	480

2024	febrero	22	8297	7,8	1320	77	1	5,1	245	9,3	0	0	820
2024	febrero	23	9734	7,8	1140	91	21	5,1	245	9,3	0	36	760
2024	febrero	24	8340	7,8	1140	78	11	5,1	245	9,3	0	0	480
2024	febrero	25	8634	7,8	1080	80	1	5,1	245	9,3	0	0	160
2024	febrero	26	9442	7,8	960	88	1	5,1	245	9,3	0	0	240
2024	febrero	27	8575	7,8	1020	80	1	5,1	245	9,4	0	36	380
2024	febrero	28	8376	7,8	1200	78	1	5,1	245	9,4	0	0	440
2024	febrero	29	7636	7,8	1140	80	1	5,1	245	9,4	0	24	340
2024	Marzo	4	8445	5,4	780	133	11	3,2	230	14	0	36	0
2024	Marzo	5	10596	5,4	1200	167	11	3,2	230	14	0	0	6180

2024	Marzo	6	5925	5,4	1080	94	11	3,2	230	14	0	0	80
2024	Marzo	7	8519	5,4	780	134	11	3,2	230	14	0	0	100
2024	Marzo	8	11433	5,4	660	180	11	3,2	230	14	0	24	240
2024	Marzo	9	8519	5,4	840	128	11	3,2	230	14	0	0	80
2024	Marzo	10	8470	5,4	780	133	11	3,2	230	14	0	0	80
2024	Marzo	11	7797	5,4	840	102	11	3,2	230	14	0	36	220
2024	Marzo	12	9803	5,4	660	124	11	3,2	231	14	0	0	320
2024	Marzo	13	9898	5,4	780	121	11	3,2	231	14	0	0	180
2024	Marzo	14	10472	5,4	600	145	11	3,2	231	14	0	0	780
2024	Marzo	15	6916	5,4	780	89	11	3,2	231	14	0	0	180
2024	Marzo	16	7709	5,4	1020	110	11	3,2	231	14	0	0	100
2024	Marzo	17	8084	5,4	1080	77	11	3,2	231	14	0	0	100

2024	Marzo	18	8242	5,4	1020	97	11	3,2	231	14	0	0	200
2024	Marzo	19	10289	5,4	1020	92	31	3,2	231	14	0	36	180
2024	Marzo	20	18115	5,4	1020	213	1	3,2	231	14	0	0	280
2024	Marzo	21	10881	5,4	1260	68	1	3,2	231	14	0	0	300
2024	Marzo	22	14818	5,4	840	100	1	3,2	231	14	0	0	360
2024	Marzo	23	19039	5,4	1200	115	1	3,2	231	14	0	0	360
2024	Marzo	24	12368	5,4	1140	87	1	3,3	231	13	0	0	320
2024	Marzo	25	11832	5,4	1320	80	1	3,3	231	13	0	0	380
2024	Marzo	26	9597	5,5	1080	56	1	3,3	231	13	0	0	380
2024	Marzo	27	9505	5,5	1020	60	101	3,3	231	13	0	36	580
2024	Marzo	28	8999	5,5	1080	58	1	3,3	231	13	0	0	340
2024	Marzo	29	10275	5,5	1140	60	3	3,3	231	13	0	0	280

2024	Marzo	30	7924	5,5	960	59	1	3,3	231	13	0	0	320
2024	Marzo	31	8234	5,5	960	53	1	3,3	231	13	0	0	200
2024	Abril	1	9665	4,4	1260	92	1	4,1	195	6,7	0	0	280
2024	Abril	2	18892	4,4	960	137	1	4,1	195	6,7	0	0	420
2024	Abril	3	17931	4,4	900	137	1	4,1	195	6,7	0	36	500
2024	Abril	4	11081	4,4	900	212	1	4,1	195	6,7	0	0	320
2024	Abril	5	11015	4,4	660	204	1	4,1	195	6,7	0	0	580
2024	Abril	6	7653	4,4	780	95	1	4,1	195	6,7	0	0	260
2024	Abril	7	11456	4,4	660	142	1	4,1	195	6,7	0	0	400
2024	Abril	8	13115	4,4	780	163	1	4,1	195	6,7	0	0	320
2024	Abril	9	12593	4,4	900	156	1	4,1	195	6,7	0	0	5700
2024	Abril	10	10854	4,4	660	135	1	4,1	195	6,7	0	0	100

2024	Abril	11	10752	4,4	1020	133	1	4,2	195	6,7	0	0	140
2024	Abril	12	9776	4,4	840	121	1	4,2	195	6,7	0	36	460
2024	Abril	13	9563	4,4	900	119	1	4,2	195	6,7	0	0	340
2024	Abril	14	9605	4,4	780	119	1	4,2	195	6,7	0	0	260
2024	Abril	15	8006	4,4	720	99	1	4,2	195	6,7	0	0	460
2024	Abril	16	12531	4,4	960	112	1	4,2	195	6,7	0	0	340
2024	Abril	17	10495	4,4	1020	125	1	4,2	195	6,7	0	0	200
2024	Abril	18	11081	4,4	780	135	1	4,2	195	6,7	0	36	160
2024	Abril	19	11836	4,4	900	123	1	4,2	195	6,7	0	0	320
2024	Abril	20	10928	4,4	840	95	1	4,2	195	6,7	0	0	180
2024	Abril	21	8685	4,4	900	76	1	4,2	194	6,8	0	0	180
2024	Abril	22	22308	4,4	900	196	21	4,2	194	6,8	0	0	380

2024	Abril	23	16720	4,4	540	147	1	4,2	194	6,8	0	0	540
2024	Abril	24	11828	4,4	960	104	1	4,2	194	6,8	0	0	200
2024	Abril	25	20801	4,4	960	183	11	4,2	194	6,8	0	0	300
2024	Abril	26	23081	4,4	1140	203	1	4,2	194	6,8	0	24	300
2024	Abril	27	17209	4,4	1020	151	1	4,2	194	6,8	0	0	280
2024	Abril	28	14598	4,4	960	128	1	4,2	194	6,8	0	0	520
2024	Abril	29	15848	4,4	960	139	1	4,2	194	6,8	0	0	440
2024	Abril	30	18774	4,4	960	165	1	4,2	194	6,8	0	0	200
2024	Mayo	1	15267	1,5	900	198	1	4	150	2,5	0	0	200
2024	Mayo	2	13554	1,5	840	178	31	4	149	2,5	0	0	1200
2024	Mayo	3	21595	1,5	1200	181	1	4	149	2,5	0	24	180
2024	Mayo	4	25474	1,5	1020	257	1	4	149	2,5	0	0	100

2024	Mayo	5	18160	1,5	960	214	1	4	149	2,5	0	0	160
2024	Mayo	6	24561	1,5	780	224	1	4	149	2,5	0	0	160
2024	Mayo	7	20448	1,5	780	213	1	4	149	2,5	0	0	320
2024	Mayo	8	18606	1,5	960	221	1	4	149	2,5	0	0	220
2024	Mayo	9	15198	1,5	960	181	1	4	149	2,5	0	0	160
2024	Mayo	10	14280	1,5	1080	194	1	4	149	2,5	0	0	360
2024	Mayo	11	14010	1,5	1200	183	41	4	149	2,5	0	0	740
2024	Mayo	12	13636	1,5	1080	171	1	4	149	2,5	0	0	580
2024	Mayo	13	13992	1,5	1080	155	1	4	149	2,5	0	0	160
2024	Mayo	14	12977	1,5	960	136	1	4	149	2,5	0	0	180
2024	Mayo	15	13637	1,5	1020	132	1	4	149	2,5	0	0	360
2024	Mayo	16	12915	1,5	960	135	1	4	149	2,5	0	0	220

2024	Mayo	17	12529	1,6	900	130	1	4	149	2,6	0	0	220
2024	Mayo	18	12351	1,6	840	122	1	4	149	2,6	0	0	300
2024	Mayo	19	17304	1,6	900	160	1	4	149	2,6	0	0	140
2024	Mayo	20	19258	1,6	960	216	1	4	149	2,6	0	0	260
2024	Mayo	21	24805	1,6	900	240	11	4	149	2,6	0	0	220
2024	Mayo	22	12816	1,6	1200	149	1	4	149	2,6	0	0	560
2024	Mayo	23	12572	1,6	960	112	1	4	149	2,6	0	24	640
2024	Mayo	24	14601	1,6	780	130	1	4	149	2,6	0	0	380
2024	Mayo	25	17899	1,6	1200	159	1	4	149	2,6	0	0	400
2024	Mayo	26	14037	1,6	840	125	1	4	149	2,6	0	0	940
2024	Mayo	27	12580	1,6	960	112	101	4	149	2,6	0	0	340
2024	Mayo	28	17891	1,6	1080	159	31	4	149	2,6	0	0	260

2024	Mayo	29	15791	1,6	1200	141	21	4	149	2,6	0	0	440
2024	Mayo	30	11616	1,6	1140	103	21	4	149	2,6	0	0	1060
2024	Mayo	31	17457	1,6	1020	155	31	5	149	2,6	0	0	400
2024	Junio	1	18971	3,2	960	169	1	2,5	110	2,9	0	0	240
2024	Junio	2	16483	3,2	780	147	1	2,5	110	2,9	0	0	600
2024	Junio	3	14024	3,2	720	125	1	2,5	110	2,9	0	0	360
2024	Junio	4	16801	3,2	1140	150	1	2,5	110	2,9	0	0	140
2024	Junio	5	24707	3,2	960	217	1	2,5	110	2,9	0	36	180
2024	Junio	6	22159	3,2	1140	195	1	2,5	110	2,9	0	0	240
2024	Junio	7	18515	3,2	1200	163	281	2,5	110	2,9	0	0	200
2024	Junio	8	22134	3,2	1320	195	1	2,5	110	2,9	0	0	220
2024	Junio	9	22656	3,2	1020	199	1	2,5	110	2,9	0	0	440

2024	Junio	10	25992	3,2	1140	229	1	2,5	110	2,9	0	36	3120
2024	Junio	11	23783	3,2	960	209	41	2,5	110	2,9	0	0	700
2024	Junio	12	29169	3,2	1080	240	1	2,5	110	2,9	0	0	280
2024	Junio	13	26555	3,2	1140	234	20	2,5	110	2,9	0	0	520
2024	Junio	14	24824	3,2	1200	218	1	2,5	110	2,9	0	0	400
2024	Junio	15	16978	3,2	1020	159	1	2,5	110	2,9	0	0	260
2024	Junio	16	15720	3,2	1080	148	1	2,5	110	2,9	0	0	140
2024	Junio	17	27610	3,2	780	240	1	2,5	110	2,9	0	0	100
2024	Junio	18	21961	3,2	720	193	1	2,5	110	2,9	0	0	380
2024	Junio	19	18160	3,2	720	160	31	2,5	110	2,9	0	24	220
2024	Junio	20	24455	3,2	720	215	1	2,5	110	2,9	0	0	80
2024	Junio	21	29512	3,2	780	240	1	2,5	110	3,0	0	0	180

2024	Junio	22	23097	3,2	780	203	1	2,5	110	3,0	0	0	120
2024	Junio	23	16436	3,2	600	145	1	2,5	110	3,0	0	0	180
2024	Junio	24	15640	3,2	720	138	1	2,5	110	3,0	0	0	140
2024	Junio	25	21788	3,2	720	178	1	2,5	110	3,0	0	0	480
2024	Junio	26	21381	3,2	780	240	1	2,5	110	3,0	0	0	180
2024	Junio	27	23175	3,2	720	204	51	2,5	110	3,0	0	0	200
2024	Junio	28	17179	3,2	780	151	181	2,5	110	3,0	0	0	200
2024	Junio	29	17758	3,2	1020	156	1	2,5	110	3,0	0	0	140
2024	Junio	30	23587	3,2	1080	208	1	2,5	110	3,0	0	0	280
2024	Julio	1	24710	1,9	1020	215	1	2,4	106	2,7	0	0	480
2024	Julio	2	20083	1,9	1020	175	1	2,4	106	2,7	0	0	260
2024	Julio	3	21196	1,9	1380	183	1	2,4	106	2,7	0	0	140

2024	Julio	4	12940	1,9	1080	116	1	2,4	106	2,7	0	0	360
2024	Julio	5	14271	1,9	1140	178	21	2,4	106	2,7	0	0	1160
2024	Julio	6	13728	1,9	900	148	11	2,4	106	2,7	0	0	280
2024	Julio	7	14118	1,9	1140	119	1	2,4	106	2,7	0	0	300
2024	Julio	8	13565	1,9	1200	111	1	2,4	106	2,7	0	0	200
2024	Julio	9	14417	1,9	1140	105	1	2,4	106	2,7	0	0	660
2024	Julio	10	12208	1,9	1140	93	1	2,4	106	2,7	0	0	180
2024	Julio	11	13725	1,9	1080	103	1	2,4	106	2,7	0	0	440
2024	Julio	12	12777	1,9	840	100	1	2,4	106	2,7	0	36	540
2024	Julio	13	12632	1,9	1020	95	1	2,4	106	2,7	0	0	420
2024	Julio	14	11793	1,9	960	81	1	2,4	106	2,7	0	0	420
2024	Julio	15	16473	1,9	1320	97	1	2,4	106	2,7	0	0	360

2024	Julio	16	14175	1,9	1200	115	1	2,4	106	2,7	0	0	600
2024	Julio	17	16062	1,9	1080	123	11	2,4	106	2,7	0	0	320
2024	Julio	18	14029	1,9	840	115	1	2,4	107	2,7	0	0	1160
2024	Julio	19	15130	1,9	1020	120	1	2,4	107	2,7	0	0	600
2024	Julio	20	14406	1,9	840	100	1	2,4	107	2,7	0	0	480
2024	Julio	21	11530	2,0	780	105	1	2,4	107	2,7	0	0	740
2024	Julio	22	11993	2,0	780	80	1	2,4	107	2,7	0	0	280
2024	Julio	23	13197	2,0	840	88	401	2,4	107	2,7	0	0	100
2024	Julio	24	12447	2,0	840	83	1	2,4	107	2,7	0	0	360
2024	Julio	25	16946	2,0	960	113	1	2,4	107	2,7	0	0	500
2024	Julio	26	11710	2,0	960	78	1	2,5	107	2,7	0	24	480
2024	Julio	27	17669	2,0	780	118	1	2,5	107	2,7	0	0	220

2024	Julio	28	10240	2,0	1020	69	1	2,5	107	2,7	0	0	400
2024	Julio	29	12625	2,0	780	85	1	2,5	107	2,8	0	0	340
2024	Julio	30	12320	2,0	900	83	1	2,5	107	2,8	0	0	320
2024	Julio	31	21915	2,0	660	147	1	2,5	107	2,8	0	0	740
2024	Agosto	1	30642	1,6	0	205	1	2,4	58	1,2	0	0	160
2024	Agosto	2	19897	1,6	0	133	1	2,4	58	1,2	0	0	60
2024	Agosto	3	20053	1,6	0	134	1	2,4	58	1,2	0	0	60
2024	Agosto	4	17057	1,6	360	114	1	2,4	58	1,2	0	0	320
2024	Agosto	5	16847	1,6	720	113	1	2,4	58	1,2	0	0	320
2024	Agosto	6	15406	1,6	660	103	1	2,4	58	1,2	0	0	340
2024	Agosto	7	13243	1,6	780	122	11	2,4	58	1,2	0	0	160
2024	Agosto	8	14390	1,6	900	132	1	2,4	58	1,2	0	0	280

2024	Agosto	9	14357	1,6	660	132	1	2,4	58	1,2	0	0	280
2024	Agosto	10	17486	1,6	720	161	1	2,4	59	1,2	0	0	460
2024	Agosto	11	14146	1,6	840	130	1	2,4	59	1,2	0	0	200
2024	Agosto	12	13904	1,6	840	128	1	2,4	59	1,2	0	0	400
2024	Agosto	13	12695	1,6	600	117	1	2,4	59	1,2	0	0	580
2024	Agosto	14	20147	1,6	840	185	11	2,4	59	1,2	0	0	680
2024	Agosto	15	13210	1,6	840	122	1	2,4	59	1,2	0	0	580
2024	Agosto	16	13886	1,6	840	128	1	2,4	59	1,2	0	0	420
2024	Agosto	17	13160	1,6	900	121	1	2,4	59	1,2	0	0	300
2024	Agosto	18	12229	1,6	840	113	1	2,4	59	1,2	0	0	220
2024	Agosto	19	14115	1,6	900	130	1	2,4	59	1,2	0	0	280
2024	Agosto	20	11842	1,6	1080	109	1	2,4	59	1,2	0	0	400

2024	Agosto	21	14196	1,6	720	109	1	2,4	59	1,2	0	0	2880
2024	Agosto	22	20339	1,6	720	157	1	2,4	59	1,2	0	0	4120
2024	Agosto	23	12085	1,6	900	93	1	2,4	59	1,2	0	0	180
2024	Agosto	24	14009	1,6	1020	108	1	2,4	59	1,2	0	0	240
2024	Agosto	25	16110	1,6	840	124	1	2,4	59	1,2	0	0	260
2024	Agosto	26	19124	1,6	780	147	1	2,5	59	1,2	0	0	260
2024	Agosto	27	12693	1,6	660	98	1	2,5	59	1,2	0	0	360
2024	Agosto	28	13001	1,6	540	100	1	2,5	59	1,2	0	40	440
2024	Agosto	29	14089	1,6	480	108	1	2,5	59	1,2	0	10	440
2024	Agosto	30	13214	1,6	480	102	1	2,5	59	1,2	0	0	420
2024	Agosto	31	12488	1,6	540	96	1	2,5	59	1,2	0	0	240
2024	Septiembre	1	16941	2,4	540	130	1	3,3	66	1,3	0	0	120

2024	Septiembre	2	18119	2,4	540	140	1	3,3	66	1,3	0	0	260
2024	Septiembre	3	16447	2,4	480	127	1	3,3	66	1,3	0	0	340
2024	Septiembre	4	14049	2,4	540	108	1	3,3	66	1,3	0	0	260
2024	Septiembre	5	17339	2,4	540	149	1	3,3	66	1,3	0	0	220
2024	Septiembre	6	17978	2,4	540	155	1	3,3	66	1,3	0	0	300
2024	Septiembre	7	12831	2,4	480	110	1	3,3	66	1,3	0	36	240
2024	Septiembre	8	12381	2,4	540	106	1	3,3	66	1,3	0	0	200
2024	Septiembre	9	17661	2,4	480	152	1	3,3	66	1,3	0	0	200
2024	Septiembre	10	16198	2,4	540	139	1	3,3	66	1,3	0	0	180
2024	Septiembre	11	13109	2,4	540	113	1	3,3	67	1,3	0	0	280
2024	Septiembre	12	12244	2,4	660	105	1	3,3	67	1,3	0	0	240
2024	Septiembre	13	14889	2,4	540	128	1	3,3	67	1,3	0	0	120

2024	Septiembre	14	12537	2,4	480	108	1	3,3	67	1,3	0	0	400
2024	Septiembre	15	12726	2,4	600	109	1	3,3	67	1,3	0	0	340
2024	Septiembre	16	12725	2,4	540	109	1	3,3	67	1,3	0	0	240
2024	Septiembre	17	12053	2,4	420	104	1	3,3	67	1,3	0	12	320
2024	Septiembre	18	14088	2,4	660	121	1	3,3	67	1,3	0	0	840
2024	Septiembre	19	19411	2,4	660	167	1	3,3	67	1,3	0	0	740
2024	Septiembre	20	17739	2,4	720	152	1	3,3	67	1,3	0	0	540
2024	Septiembre	21	21455	2,4	660	135	1	3,4	67	1,4	0	0	480
2024	Septiembre	22	16459	2,4	600	105	1	3,4	67	1,4	0	0	720
2024	Septiembre	23	24660	2,4	600	158	1	3,4	67	1,4	0	0	480
2024	Septiembre	24	17631	2,4	720	113	1	3,4	67	1,4	0	0	400
2024	Septiembre	25	15546	2,4	540	99	1	3,4	67	1,4	0	0	340

2024	Septiembre	26	13770	2,4	600	88	1	3,4	67	1,4	0	0	600
2024	Septiembre	27	15936	2,4	660	102	1	3,4	67	1,4	0	24	590
2024	Septiembre	28	22758	2,4	720	146	1	3,4	67	1,4	0	0	300
2024	Septiembre	29	25216	2,4	720	161	1	3,4	67	1,4	0	0	220
2024	Septiembre	30	24851	2,4	540	159	1	3,4	67	1,4	0	0	340
2024	Octubre	1	17623	4,26	660	113	1	3,23	140	3,2	0	0	380
2024	Octubre	2	16355	4,26	720	105	1	3,23	140	3,2	0	0	400
2024	Octubre	3	14968	4,26	840	96	6	3,23	140	3,2	0	0	440
2024	Octubre	4	14256	4,26	780	91	1	3,23	140	3,2	0	0	540
2024	Octubre	5	12859	4,26	600	107	1	3,23	140	3,2	0	0	300
2024	Octubre	6	12446	4,26	780	103	1	3,23	140	3,2	0	0	320
2024	Octubre	7	13587	4,26	660	113	1	3,23	140	3,2	0	0	280

2024	Octubre	8	13903	4,26	600	115	1	3,23	140	3,2	0	36	200
2024	Octubre	9	11536	4,26	420	96	3	3,23	140	3,2	0	0	160
2024	Octubre	10	14331	4,26	660	119	11	3,23	140	3,2	0	0	2680
2024	Octubre	11	20847	4,26	780	173	1	3,23	140	3,2	0	0	220
2024	Octubre	12	13674	4,26	720	113	1	3,23	140	3,2	0	0	200
2024	Octubre	13	12119	4,26	720	101	1	3,23	140	3,2	0	0	80
2024	Octubre	14	12320	4,26	780	102	1	3,23	140	3,2	0	0	640
2024	Octubre	15	13058	4,26	780	108	1	3,23	140	3,2	0	0	780
2024	Octubre	16	17116	4,26	540	142	1	3,23	140	3,2	0	36	700
2024	Octubre	17	12718	4,26	600	106	6	3,23	140	3,2	0	0	720
2024	Octubre	18	12053	4,26	720	100	1	3,23	140	3,2	0	0	440
2024	Octubre	19	13622	4,26	900	113	1	3,23	140	3,2	0	0	330

2024	Octubre	20	17939	4,26	720	149	1	3,23	140	3,2	0	0	430
2024	Octubre	21	12547	4,26	840	102	1	3,23	140	3,2	0	0	680
2024	Octubre	22	12227	4,26	780	99	1	3,23	140	3,2	0	0	440
2024	Octubre	23	14267	4,26	780	116	1	3,23	140	3,2	0	0	1540
2024	Octubre	24	15708	4,26	600	127	1	3,23	140	3,2	0	36	480
2024	Octubre	25	12177	4,26	540	99	1	3,23	140	3,2	0	0	280
2024	Octubre	26	13151	4,26	720	107	1	3,23	140	3,2	0	0	260
2024	Octubre	27	13359	4,26	900	108	1	3,23	140	3,2	0	0	260
2024	Octubre	28	12766	4,26	780	103	1	3,23	140	3,2	0	0	280
2024	Octubre	29	11931	4,26	720	97	1	3,23	140	3,2	0	0	180
2024	Octubre	30	11924	4,26	900	97	1	3,23	140	3,2	0	0	260
2024	Octubre	31	13572	4,26	660	110	1	3,23	140	3,2	0	24	80

2024	Novi embre	1	17477	3,2	660	13 2	1	3,3	127	2,9	0	0	340
2024	Novi embre	2	12899	3,2	540	10 4	1	3,3	127	2,9	0	0	120
2024	Novi embre	3	16740	3,2	600	12 6	1	3,3	127	2,9	0	0	140
2024	Novi embre	4	20084	3,2	600	15 3	1	3,3	127	2,9	0	0	160
2024	Novi embre	5	13625	3,2	780	11 3	1	3,3	127	2,9	0	0	400
2024	Novi embre	6	12689	3,2	780	10 5	1	3,3	127	2,9	0	0	300
2024	Novi embre	7	11991	3,2	720	10 0	1	3,3	127	2,9	0	0	220
2024	Novi embre	8	17475	3,2	660	13 5	1	3,3	127	2,9	0	36	240
2024	Novi embre	9	20758	3,2	660	16 2	1	3,3	127	2,9	0	0	240
2024	Novi embre	1 0	17074	3,2	540	13 2	1	3,3	127	2,9	0	0	280
2024	Novi embre	1 1	14794	3,2	600	12 3	1	3,3	127	2,9	0	0	320
2024	Novi embre	1 2	14646	3,2	720	11 2	1	3,3	127	2,9	0	0	340

2024	Novembre	13	13062	3,2	780	108	1	3,3	127	2,9	0	0	480
2024	Novembre	14	11997	3,2	720	100	1	3,3	127	2,9	0	0	420
2024	Novembre	15	16273	3,2	840	135	1	3,3	127	2,9	0	0	420
2024	Novembre	16	13670	3,2	720	113	1	3,3	127	2,9	0	0	240
2024	Novembre	17	12669	3,2	480	105	1	3,3	127	2,9	0	0	60
2024	Novembre	18	13065	3,2	540	108	1	3,3	127	2,9	0	0	200
2024	Novembre	19	12352	3,2	540	103	1	3,3	127	2,9	0	36	3000
2024	Novembre	20	13953	3,2	540	116	1	3,3	127	2,9	0	0	500
2024	Novembre	21	12382	3,2	660	103	1	3,3	127	2,9	0	0	580
2024	Novembre	22	12181	3,2	720	101	1	3,3	127	2,9	0	0	540
2024	Novembre	23	12343	3,2	660	102	1	3,3	127	2,9	0	0	340
2024	Novembre	24	14956	3,2	840	124	1	3,3	127	2,9	0	0	280

2024	Novembre	25	15024	3,2	600	125	1	3,3	127	2,9	0	0	460
2024	Novembre	26	13010	3,2	660	101	1	3,3	127	2,9	0	0	360
2024	Novembre	27	12644	3,2	780	99	1	3,3	127	2,9	0	0	300
2024	Novembre	28	13640	3,2	600	106	1	3,3	127	2,9	0	0	500
2024	Novembre	29	13183	3,2	600	103	1	3,3	127	2,9	0	24	460
2024	Novembre	30	11847	3,2	660	92	1	3,3	127	2,9	0	0	260
2024	Dicembre	1	14939	6,97	720	117	1	3,2	331	7,5	0	0	220
2024	Dicembre	2	13237	6,97	840	103	1	3,2	331	7,5	0	0	280
2024	Dicembre	3	12831	6,97	600	100	1	3,2	331	7,5	0	0	280
2024	Dicembre	4	12079	6,97	720	94	71	3,2	331	7,5	0	36	340
2024	Dicembre	5	15388	6,97	720	120	1	3,2	331	7,5	0	0	460
2024	Dicembre	6	16146	6,97	780	126	1	3,2	331	7,5	0	0	320

2024	Dicembre	7	12790	6,97	720	100	1	3,2	331	7,5	0	0	440
2024	Dicembre	8	12240	6,97	600	104	1	3,2	331	7,5	0	0	240
2024	Dicembre	9	11934	6,97	480	101	1	3,2	331	7,5	0	0	420
2024	Dicembre	10	13579	6,97	600	115	1	3,2	331	7,5	0	36	340
2024	Dicembre	11	12728	6,97	660	108	1	3,2	331	7,5	0	0	280
2024	Dicembre	12	13803	6,97	660	117	1	3,2	331	7,5	0	0	680
2024	Dicembre	13	12962	6,97	600	110	1	3,2	331	7,5	0	0	620
2024	Dicembre	14	12908	6,97	600	110	1	3,2	331	7,5	0	0	340
2024	Dicembre	15	13297	6,97	840	113	1	3,2	331	7,5	0	0	320
2024	Dicembre	16	12690	6,97	720	108	1	3,2	331	7,5	0	0	320
2024	Dicembre	17	13208	6,97	600	112	1	3,2	331	7,5	0	36	300
2024	Dicembre	18	13972	6,97	780	119	1	3,2	331	7,5	0	0	1160

2024	Diciembre	19	12486	6,97	840	106	1	3,2	331	7,5	0	0	260
2024	Diciembre	20	14563	6,97	720	124	1	3,2	331	7,5	0	0	260
2024	Diciembre	21	13313	6,97	600	123	1	3,2	331	7,5	0	36	160
2024	Diciembre	22	14026	6,97	780	130	1	3,2	331	7,5	0	0	640
2024	Diciembre	23	14400	6,97	600	134	1	3,2	331	7,5	0	0	540
2024	Diciembre	24	12005	6,97	780	111	1	3,2	331	7,5	0	0	600
2024	Diciembre	25	13776	6,97	600	128	1	3,2	331	7,5	0	0	380
2024	Diciembre	26	14294	6,97	540	133	1	3,2	331	7,5	0	36	440
2024	Diciembre	27	13045	6,97	720	121	1	3,2	331	7,5	0	0	460
2024	Diciembre	28	12750	6,97	600	118	1	3,2	331	7,5	0	0	500
2024	Diciembre	29	12073	6,97	600	112	1	3,2	331	7,5	0	0	280
2024	Diciembre	30	14954	6,97	720	139	1	3,2	331	7,5	0	0	500

2024	Diciembre	31	13192	6,97	1080	122	1	3,2	331	7,5	0	36	420
2025	Enero	1	14491	3,48	1020	134	1	3,2	174,2	3,58	0	0	380
2025	Enero	2	13570	3,48	1020	126	1	3,2	174,2	3,58	0	0	3020
2025	Enero	3	13800	3,48	840	128	1	3,2	174,2	3,58	0	0	3480
2025	Enero	4	13566	3,48	840	126	1	3,2	174,2	3,58	0	24	300
2025	Enero	5	13199	3,48	720	122	1	3,2	174,2	3,58	0	0	220
2025	Enero	6	13183	3,48	720	122	1	3,2	174,2	3,58	0	0	5770
2025	Enero	7	13541	3,48	480	197	1	3,2	174,2	3,58	0	0	220
2025	Enero	8	14367	3,48	780	209	1	3,2	174,2	3,58	0	0	220
2025	Enero	9	12909	3,48	540	188	1	3,2	174,2	3,58	0	0	280
2025	Enero	10	13446	3,48	480	195	1	3,2	174,2	3,58	0	36	240
2025	Enero	11	13769	3,48	480	200	1	3,2	174,2	3,58	0	0	140

2025	Enero	12	13773	3,48	600	200	1	3,2	174,2	3,58	0	0	120
2025	Enero	13	13081	3,48	600	190	1	3,2	174,2	3,58		0	60
2025	Enero	14	15374	3,48	600	223	1	3,2	174,2	3,58	0	0	200
2025	Enero	15	18160	3,48	600	240	1	3,2	174,2	3,58	0	0	260
2025	Enero	16	13429	3,48	540	195	1	3,2	174,2	3,58	0	0	260
2025	Enero	17	12822	3,48	480	186	1	3,2	174,2	3,58	0	0	1260
2025	Enero	18	13031	3,48	480	189	1	3,2	174,2	3,58	0	24	180
2025	Enero	19	13679	3,48	420	199	1	3,2	174,2	3,58	0	0	60
2025	Enero	20	12560	3,48	540	183	1	3,2	174,2	3,58	0	0	2800
2025	Enero	21	13831	3,48	600	201	1	3,2	174,2	3,58	0	0	980
2025	Enero	22	13866	3,48	540	201	1	3,2	174,2	3,58	0	0	180
2025	Enero	23	14456	3,48	540	210	1	3,2	174,2	3,58	0	0	2640

2025	Enero	24	13261	3,48	420	192	1	3,2	174,2	3,58	0	0	300
2025	Enero	25	9154	3,48	360	175	1	3,2	174,2	3,58	0	0	220
2025	Enero	26	8729	3,48	300	120	1	3,2	174,2	3,58	0	0	60
2025	Enero	27	10525	3,48	360	157	1	3,2	174,2	3,58	0	0	80
2025	Enero	28	9558	3,48	240	137	1	3,2	174,2	3,58	0	24	80
2025	Enero	29	9711	3,48	480	140	51	3,2	174,2	3,58	0	0	4060
2025	Enero	30	9487	3,48	540	136	1	3,2	174,2	3,58	0	0	1240
2025	Enero	31	10086	3,48	540	157	1	3,2	174,2	3,58	0	0	280
2025	Febrero	1	8181	5,57	480	119	1	2,7	257,1	5,54	0	0	160
2025	Febrero	2	8001	5,57	540	116	1	2,7	257,1	5,54	0	0	160
2025	Febrero	3	9433	5,57	660	137	1	2,7	257,1	5,54	0	0	280
2025	Febrero	4	9588	5,57	480	139	1	2,7	257,1	5,54	0	0	240

2025	Febrero	5	9438	5,57	420	137	1	2,7	257,1	5,54	0	0	160
2025	Febrero	6	9086	5,57	480	127	1	2,7	257,1	5,54	0	36	220
2025	Febrero	7	10286	5,57	540	145	1	2,7	257,1	5,54	0	0	440
2025	Febrero	8	10641	5,57	418	151	1	2,7	257,1	5,54	0	0	400
2025	Febrero	9	9608	5,57	540	136	1	2,7	257,1	5,54	0	0	220
2025	Febrero	10	10205	5,57	420	145	1	2,7	257,1	5,54	0	0	400
2025	Febrero	11	9837	5,57	480	140	1	2,7	257,1	5,54	0	0	360
2025	Febrero	12	8803	5,57	540	125	1	2,7	257,1	5,54	0	24	560
2025	Febrero	13	9433	5,57	720	134	1	2,7	257,1	5,54	0	0	200
2025	Febrero	14	9312	5,57	600	133	1	2,7	257,1	5,54	0	0	1160
2025	Febrero	15	9021	5,57	420	128	1	2,7	257,1	5,54	0	36	400
2025	Febrero	16	9432	5,57	540	134	1	2,7	257,1	5,54	0	0	440

2025	Febrero	17	9687	5,57	600	138	1	2,7	257,1	5,54	0	0	240
2025	Febrero	18	9536	5,57	480	135	1	2,7	257,1	5,54	0	0	620
2025	Febrero	19	9359	5,57	420	133	1	2,7	257,1	5,54	0	0	480
2025	Febrero	20	9603	5,57	420	136	1	2,7	257,1	5,54	0	24	420
2025	Febrero	21	9415	5,57	420	134	1	2,7	257,1	5,54	0	0	420
2025	Febrero	22	8985	5,57	780	128	1	2,7	257,1	5,54	0	0	380
2025	Febrero	23	8392	5,57	720	124	1	2,7	257,1	5,54	0	0	340
2025	Febrero	24	10311	5,57	480	146	1	2,7	257,1	5,54	0	0	360
2025	Febrero	25	8661	5,57	420	123	1	2,7	257,1	5,54	0	36	240
2025	Febrero	26	8974	5,57	360	127	1	2,7	257,1	5,54	0	0	280
2025	Febrero	27	7994	5,57	420	114	31	2,7	257,1	5,54	0	0	480
2025	Febrero	28	10538	5,57	840	150	1	2,7	257,1	5,54	0	0	1200

2025	Marzo	1	9153	5,81	720	123	1	3,2	213	6,6	0	0	240
2025	Marzo	2	8836	5,81	360	118	1	3,2	213	6,6	0	0	280
2025	Marzo	3	8987	5,81	420	120	1	3,2	213	6,6	0	0	1220
2025	Marzo	4	8663	5,81	600	116	1	3,2	213	6,6	0	36	1820
2025	Marzo	5	10161	5,81	900	136	1	3,2	213	6,6	0	0	820
2025	Marzo	6	11172	5,81	840	150	1	3,2	213	6,6	0	0	660
2025	Marzo	7	18970	5,81	900	240	1	3,2	213	6,6	0	36	500
2025	Marzo	8	11132	5,81	900	149	1	3,2	213	6,6	0	0	460
2025	Marzo	9	9183	5,81	420	123	1	3,2	213	6,6	0	0	140
2025	Marzo	10	9017	5,81	540	130	1	3,2	213	6,6	0	0	500
2025	Marzo	11	8210	5,81	480	118	1	3,2	213	6,6	0	12	300
2025	Marzo	12	9778	5,81	720	141	1	3,2	213	6,6	0	0	5400

2025	Marzo	13	9336	5,81	480	135	1	3,2	213	6,6	0	24	460
2025	Marzo	14	7703	5,81	360	111	1	3,2	213	6,6	0	0	600
2025	Marzo	15	7125	5,81	420	103	1	3,2	213	6,6	0	0	1480
2025	Marzo	16	9321	5,81	600	134	1	3,2	213	6,6	0	0	860
2025	Marzo	17	8415	5,81	480	121	1	3,2	213	6,6	0	0	420
2025	Marzo	18	8247	5,81	540	119	1	3,2	213	6,6	0	0	540
2025	Marzo	19	8242	5,81	540	119	1	3,2	213	6,6	0	0	280
2025	Marzo	20	8702	5,81	720	125	1	3,2	213	6,6	0	0	720
2025	Marzo	21	6325	5,81	540	92	1	3,2	213	6,6	0	0	680
2025	Marzo	22	7893	5,81	840	115	1	3,2	213	6,6	0	0	420
2025	Marzo	23	9082	5,81	300	133	1	3,2	213	6,6	0	0	260
2025	Marzo	24	13989	5,81	420	131	1	3,2	213	6,6	0	0	160

2025	Marzo	25	14115	5,81	780	138	1	3,2	213	6,6	0	0	200
2025	Marzo	26	7149	5,81	480	104	1	3,2	213	6,6	0	24	520
2025	Marzo	27	7608	5,81	840	111	1	3,2	213	6,6	0	12	580
2025	Marzo	28	9076	5,81	780	133	1	3,2	213	6,6	0	0	1060
2025	Marzo	29	13391	5,81	660	196	1	3,2	213	6,6	0	0	1740
2025	Marzo	30	8408	5,81	480	123	1	3,2	213	6,6	0	0	360
2025	Marzo	31	9020	5,81	480	132	1	3,2	213	6,6	0	36	540
2025	Abril	1	9805	2,40	720	143	1	3,3	150	3,2	0	0	300
2025	Abril	2	7801	2,40	600	70	1	3,3	150	3,2	0	0	180
2025	Abril	3	9033	2,40	780	81	1	3,3	150	3,2	0	0	380
2025	Abril	4	8235	2,40	600	74	1	3,3	150	3,2	0	12	640
2025	Abril	5	8260	2,40	600	74	1	3,3	150	3,2	0	0	640

2025	Abril	6	7836	2,40	600	71	101	3,3	150	3,2	0	0	280
2025	Abril	7	8342	2,40	600	75	1	3,3	150	3,2	0	0	300
2025	Abril	8	7151	2,40	600	64	1	3,3	150	3,2	0	0	460
2025	Abril	9	8284	2,40	660	75	1	3,3	150	3,2	0	0	340
2025	Abril	10	26112	2,40	540	235	1	3,3	150	3,2	0	0	760
2025	Abril	11	10583	2,40	540	95	1	3,3	150	3,2	21	24	560
2025	Abril	12	11143	2,40	540	100	1	3,3	150	3,2	0	0	480
2025	Abril	13	10041	2,40	540	93	1	3,3	150	3,2	0	0	280
2025	Abril	14	19598	2,40	540	176	1	3,3	150	3,2	0	0	400
2025	Abril	15	13982	2,40	600	125	1	3,3	150	3,2	3	0	260
2025	Abril	16	24593	2,40	660	221	1	3,3	150	3,2	0	0	440
2025	Abril	17	14068	2,40	720	127	1	3,3	150	3,2	24	0	640

2025	Abril	18	11416	2,40	480	103	1	3,3	150	3,2	0	0	520
2025	Abril	19	10338	2,40	600	93	1	3,3	150	3,2	0	0	440
2025	Abril	20	8389	2,40	600	76	1	3,3	150	3,2	0	0	220
2025	Abril	21	38226	2,40	600	240	1	3,3	150	3,2	0	36	260
2025	Abril	22	35954	2,40	600	240	1	3,3	150	3,2	8	0	200
2025	Abril	23	44302	2,40	540	240	1	3,3	150	3,2	25	0	260
2025	Abril	24	30400	2,40	540	204	1	3,3	150	3,2	24	0	2160
2025	Abril	25	41846	2,40	540	240	1	3,3	150	3,2	4	0	340
2025	Abril	26	30545	2,40	540	205	1	3,3	150	3,2	2	0	440
2025	Abril	27	21839	2,40	540	146	1	3,3	150	3,2	3	0	640
2025	Abril	28	12942	2,40	600	107	1	3,3	150	3,2	10	0	340
2025	Abril	29	12963	2,40	420	107	1	3,3	150	3,2	0	0	940

2025	Abril	30	11813	2,40	600	99	1	3,3	150	3,2	0	0	520
2025	Mayo	1	22331	3,87	600	150	407	3,2	228	2,7	0	0	440
2025	Mayo	2	13786	3,87	720	95	450	3,2	228	2,7	0	0	3880
2025	Mayo	3	29421	3,87	540	203	0	3,2	228	2,7	0	24	480
2025	Mayo	4	29588	3,87	420	204	0	3,2	228	2,7	0	0	320
2025	Mayo	5	18816	3,87	600	130	0	3,2	228	2,7	0	0	2080
2025	Mayo	6	20857	3,87	600	144	0	3,2	228	2,7	0	0	560
2025	Mayo	7	14930	3,87	540	103	1	3,2	228	2,7	0	0	280
2025	Mayo	8	14193	3,87	720	98	1	3,2	228	2,7	0	0	440
2025	Mayo	9	26702	3,87	660	184	1	3,2	228	2,7	14	0	660
2025	Mayo	10	28405	3,87	720	196	1	3,2	228	2,7	1	24	720
2025	Mayo	11	17085	3,87	720	118	1	3,2	228	2,7	0	0	560

2025	Mayo	12	14527	3,87	720	100	1	3,2	228	2,7	0	0	600
2025	Mayo	13	22543	3,87	900	156	1	3,2	228	2,7	0	0	500
2025	Mayo	14	23595	3,87	660	158	1	3,2	228	2,7	0	0	480
2025	Mayo	15	16199	3,87	840	109	1	3,2	228	2,7	0	0	400
2025	Mayo	16	11515	3,87	720	77	1	3,2	228	2,7	0	0	480
2025	Mayo	17	35711	3,87	840	239	1	3,2	228	2,7	0	0	280
2025	Mayo	18	21940	3,87	660	147	1	3,2	228	2,7	0	0	640
2025	Mayo	19	19694	3,87	780	132	1	3,2	228	2,7	0	0	660
2025	Mayo	20	14744	3,87	780	99	1	3,2	228	2,7	0	36	320
2025	Mayo	21	16105	3,87	840	81	1	3,2	228	2,7	0	0	580
2025	Mayo	22	12897	3,87	720	64	1	3,2	228	2,7	0	0	460
2025	Mayo	23	14538	3,87	840	73	1	3,2	228	2,7	0	0	500

2025	Mayo	24	11563	3,87	900	58	1	3,2	228	2,7	0	0	300
2025	Mayo	25	25231	3,87	840	126	1	3,2	228	2,7	34	0	220
2025	Mayo	26	39681	3,87	720	198	1	3,2	228	2,7	62	0	6180
2025	Mayo	27	29565	3,87	720	148	1	3,2	228	2,7	0	36	200
2025	Mayo	28	16631	3,87	660	83	1	3,2	228	2,7	0	0	140
2025	Mayo	29	13302	3,87	780	67	1	3,2	228	2,7	0	0	1160
2025	Mayo	30	12396	3,87	840	62	1	3,2	228	2,7	0	0	140
2025	Mayo	31	12072	3,87	780	60	1	3,2	228	2,7	0	0	400
2025	Junio	1	10589	1,60	600	64	1	3,3	77	2,2	0	0	80
2025	Junio	2	10725	1,60	600	64	1	3,3	77	2,2	0	0	220
2025	Junio	3	11060	1,60	660	66	1	3,3	77	2,2	10	0	200
2025	Junio	4	22115	1,60	660	133	1	3,3	77	2,2	0	0	200

2025	Junio	5	12829	1,60	540	77	1	3,3	77	2,2	0	0	1740
2025	Junio	6	10616	1,60	600	64	1	3,3	77	2,2	0	0	140
2025	Junio	7	10143	1,60	600	61	1	3,3	77	2,2	0	0	100
2025	Junio	8	11350	1,60	720	68	1	3,3	77	2,2	0	0	80
2025	Junio	9	8267	1,60	540	50	1	3,3	77	2,2	0	0	160
2025	Junio	10	8991	1,60	600	54	1	3,3	77	2,2	0	0	640
2025	Junio	11	8541	1,60	600	51	1	3,3	77	2,2	0	0	160
2025	Junio	12	18848	1,60	540	113	21	3,3	77	2,2	91	0	980
2025	Junio	13	14080	1,60	660	84	1	3,3	77	2,2	0	0	320
2025	Junio	14	18461	1,60	840	111	1	3,3	77	2,2	1	0	160
2025	Junio	15	34201	1,60	420	205	1	3,3	77	2,2	26	0	80
2025	Junio	16	30225	1,60	840	181	1	3,3	77	2,2	1	0	240

2025	Junio	17	31319	1,60	720	188	1	3,3	77	2,2	0	0	220
2025	Junio	18	17922	1,60	780	108	1	3,3	77	2,2	0	0	260
2025	Junio	19	13513	1,60	600	81	1	3,3	77	2,2	0	24	160
2025	Junio	20	18974	1,60	900	114	1	3,3	77	2,2	0	0	120
2025	Junio	21	18342	1,60	780	182	1	3,3	77	2,2	1	0	140
2025	Junio	22	31304	1,60	900	240	1	3,3	77	2,2	0	0	140
2025	Junio	23	20752	1,60	780	205	21	3,3	77	2,2	0	0	340
2025	Junio	24	22608	1,60	720	224	1	3,3	77	2,2	14	0	930
2025	Junio	25	27260	1,60	780	240	1	3,3	77	2,2	0	24	700
2025	Junio	26	18006	1,60	840	178	1	3,3	77	2,2	4	0	500
2025	Junio	27	25537	1,60	780	240	1	3,3	77	2,2	2	0	620
2025	Junio	28	21066	1,60	1080	209	1	3,3	77	2,2	8	0	540

2025	Junio	29	13571	1,60	900	134	1	3,3	77	2,2	0	0	440
2025	Junio	30	14924	1,60	1080	148	1	3,3	77	2,2	0	0	260
2025	Julio	1	10878	2,32	1020	108	1	3,2	45	1,9	0	0	2595
2025	Julio	2	12785	2,32	960	127	1	3,2	45	1,9	19	36	620
2025	Julio	3	9342	2,32	900	67	1	3,2	45	1,9	0	0	380
2025	Julio	4	9427	2,32	1020	68	1	3,2	45	1,9	0	0	300
2025	Julio	5	9828	2,32	1020	71	1	3,2	45	1,9	0	0	480
2025	Julio	6	16309	2,32	900	117	1	3,2	45	1,9	111	0	500
2025	Julio	7	20677	2,32	840	149	1	3,2	45	1,9	63	36	460
2025	Julio	8	16081	2,32	1080	116	50	3,2	45	1,9	0	0	660
2025	Julio	9	10027	2,32	660	72	1	3,2	45	1,9	0	0	6680
2025	Julio	10	12742	2,32	900	92	1	3,2	45	1,9	0	0	500

2025	Julio	11	9984	2,32	780	72	1	3,2	45	1,9	2	0	520
2025	Julio	12	9123	2,32	720	66	1	3,2	45	1,9	0	0	380
2025	Julio	13	9257	2,32	1140	67	1	3,2	45	1,9	0	0	360
2025	Julio	14	10366	2,32	960	75	1	3,2	45	1,9	0	0	400
2025	Julio	15	11992	2,32	780	86	1	3,2	45	1,9	0	0	1620
2025	Julio	16	12596	2,32	660	69	1	3,2	45	1,9	66	0	360
2025	Julio	17	11771	2,32	600	63	1	3,2	45	1,9	0	0	320
2025	Julio	18	10277	2,32	720	74	1	3,2	45	1,9	0	36	480
2025	Julio	19	9533	2,32	600	69	1	3,2	45	1,9	0	0	140
2025	Julio	20	8272	2,32	540	60	1	3,2	45	1,9	0	0	200
2025	Julio	21	13107	2,32	540	92	1	3,2	45	1,9	0	0	300
2025	Julio	22	10454	2,32	540	73	1	3,2	45	1,9	29	0	4200

2025	Julio	23	9587	2,32	420	67	1	3,2	45	1,9	0	0	100
2025	Julio	24	18912	2,32	420	92	1	3,2	45	1,9	1	0	240
2025	Julio	25	25672	2,32	420	187	1	3,2	45	1,9	119	0	160
2025	Julio	26	30849	2,32	480	216	1	3,2	45	1,9	0	0	60
2025	Julio	27	27757	2,32	420	194	1	3,2	45	1,9	15	0	140
2025	Julio	28	33657	2,32	420	216	1	3,2	45	1,9	2	0	140
2025	Julio	29	33367	2,32	420	216	1	3,2	45	1,9	1	0	100
2025	Julio	30	36307	2,32	420	216	1	3,2	45	1,9	5	0	1120
2025	Julio	31	33415	2,32	360	216	1	3,2	45	1,9	0	0	40
2025	Agosto	1	25429	0,52	480	215	1	4,0	74	0,9	0	0	80
2025	Agosto	2	24438	0,52	420	216	1	4,0	74	0,9	0	0	40
2025	Agosto	3	29478	0,52	300	198	1	4,0	74	0,9	0	0	60

2025	Agosto	4	26010	0,52	420	174	1	4,0	74	0,9	136	0	300
2025	Agosto	5	23961	0,52	360	161	1	4,0	74	0,9	18	0	160
2025	Agosto	6	27332	0,52	480	183	1	4,0	74	0,9	3	0	240
2025	Agosto	7	16809	0,52	360	113	1	4,0	74	0,9	2	0	7140
2025	Agosto	8	15186	0,52	420	102	1	4,0	74	0,9	0	0	180
2025	Agosto	9	13618	0,52	660	95	1	4,0	74	0,9	0	0	200
2025	Agosto	10	14249	0,52	480	87	1	4,0	74	0,9	0	0	120
2025	Agosto	11	17476	0,52	600	117	51	4,0	74	0,9	11	0	27140
2025	Agosto	12	30060	0,52	540	201	1	4,0	74	0,9	17	0	380
2025	Agosto	13	18229	0,52	540	122	1	4,0	74	0,9	0	0	27240
2025	Agosto	14	14643	0,52	540	98	1	4,0	74	0,9	0	0	320
2025	Agosto	15	13725	0,52	540	92	1	4,0	74	0,9	0	0	400

2025	Agosto	16	12810	0,52	600	86	1	4,0	74	0,9	0	0	340
2025	Agosto	17	12945	0,52	600	80	1	4,0	74	0,9	0	0	340
2025	Agosto	18	12577	0,52	600	75	11	4,0	74	0,9	0	0	27300
2025	Agosto	19	17214	0,52	480	115	1	4,0	74	0,9	3	0	280
2025	Agosto	20	21062	0,52	600	141	1	4,0	74	0,9	1	0	27580
2025	Agosto	21	32653	0,52	660	199	1	4,0	74	0,9	0	0	320
2025	Agosto	22	31090	0,52	540	189	1	4,0	74	0,9	0	0	27340
2025	Agosto	23	29015	0,52	600	177	1	4,0	74	0,9	15	0	720
2025	Agosto	24	30301	0,52	600	185	1	4,0	74	0,9	0	0	400
2025	Agosto	25	20218	0,52	720	201	21	4,0	74	0,9	4	0	400
2025	Agosto	26	15290	0,52	600	119	1	4,0	74	0,9	0	0	520
2025	Agosto	27	14979	0,52	0	91	1	4,0	74	0,9	21	0	840

2025	Agosto	28	13396	0,52	0	82	1	4,0	74	0,9	0	0	680
2025	Agosto	29	12531	0,52	600	76	1	4,0	74	0,9	0	0	2980
2025	Agosto	30	11570	0,52	720	71	1	4,0	74	0,9	0	0	580
2025	Agosto	31	12111	0,52	900	74	1	4,0	74	0,9	0	0	480
2025	Septiembre	1	15145	2,80	600	86	1	2,5	132	3,1	1	0	500
2025	Septiembre	2	16449	2,80	840	94	1	2,5	132	3,1	0	0	720
2025	Septiembre	3	11893	2,80	540	68	1	2,5	132	3,1	0	0	340
2025	Septiembre	4	12179	2,80	660	69	1	2,5	132	3,1	0	0	300
2025	Septiembre	5	12045	2,80	600	69	1	2,5	132	3,1	0	24	620
2025	Septiembre	6	11053	2,80	720	63	1	2,5	132	3,1	0	0	600
2025	Septiembre	7	9187	2,80	780	52	31	2,5	132	3,1	0	0	440
2025	Septiembre	8	14053	2,80	840	80	5	2,5	132	3,1	0	0	560

2025	Septiembre	9	28798	2,80	600	164	1	2,5	132	3,1	17	24	800
2025	Septiembre	10	31328	2,80	780	179	1	2,5	132	3,1	0	0	2080
2025	Septiembre	11	25351	2,80	600	145	1	2,5	132	3,1	57	0	820
2025	Septiembre	12	21019	2,80	720	120	1	2,5	132	3,1	1	0	720
2025	Septiembre	13	27881	2,80	720	159	1	2,5	132	3,1	52	0	600
2025	Septiembre	14	20014	2,80	600	114	1	2,5	132	3,1	12	0	420
2025	Septiembre	15	13887	2,80	600	79	1	2,5	132	3,1	0	0	460
2025	Septiembre	16	13764	2,80	720	78	1	2,5	132	3,1	1	0	540
2025	Septiembre	17	14143	2,80	660	81	1	2,5	132	3,1	3	0	740
2025	Septiembre	18	13290	2,80	540	76	1	2,5	132	3,1	6	0	720
2025	Septiembre	19	15003	2,80	600	86	1	2,5	132	3,1	50	0	360
2025	Septiembre	20	27268	2,80	600	155	1	2,5	132	3,1	158	0	300

2025	Septiembre	21	29387	2,80	600	209	1	2,5	132	3,1	0	0	80
2025	Septiembre	22	29093	2,80	600	209	1	2,5	132	3,1	7	0	320
2025	Septiembre	23	21471	2,80	660	209	1	2,5	132	3,1	47	0	1240
2025	Septiembre	24	19046	2,80	660	186	1	2,5	132	3,1	4	0	740
2025	Septiembre	25	13825	2,80	660	135	1	2,5	132	3,1	3	0	600
2025	Septiembre	26	17339	2,80	660	169	1	2,5	132	3,1	54	0	1260
2025	Septiembre	27	14522	2,80	600	142	1	2,5	132	3,1	45	0	680
2025	Septiembre	28	20470	2,80	660	200	1	2,5	132	3,1	5	0	640
2025	Septiembre	29	15643	2,80	780	153	1	2,5	132	3,1	0	36	480
2025	Septiembre	30	11961	2,80	840	117	1	2,5	132	3,1	13	0	1100
2025	Octubre	1	12006	4,26	840	117	1	3,2	110	4,3	0	0	580
2025	Octubre	2	11631	4,26	540	114	1	3,2	110	4,3	0	0	480

2025	Octubre	3	11925	4,26	660	81	1	3,2	110	4,3	0	36	220
2025	Octubre	4	17824	4,26	600	121	1	3,2	110	4,3	0	0	680
2025	Octubre	5	13716	4,26	780	93	1	3,2	110	4,3	17	0	480
2025	Octubre	6	13203	4,26	0	90	1	3,2	110	4,3	0	0	340
2025	Octubre	7	12181	4,26	0	83	1	3,2	110	4,3	0	0	1000
2025	Octubre	8	12195	4,26	600	83	1	3,2	110	4,3	0	0	520
2025	Octubre	9	10891	4,26	600	74	1	3,2	110	4,3	0	0	460
2025	Octubre	10	12975	4,26	600	88	1	3,2	110	4,3	0	0	800
2025	Octubre	11	18015	4,26	960	123	1	3,2	110	4,3	13	0	460
2025	Octubre	12	11826	4,26	720	80	1	3,2	110	4,3	1	0	820
2025	Octubre	13	11683	4,26	660	79	1	3,2	110	4,3	0	0	340
2025	Octubre	14	11897	4,26	720	81	1	3,2	110	4,3	0	36	460

2025	Octubre	15	20364	4,26	720	138	1	3,2	110	4,3	3	0	540
2025	Octubre	16	13244	4,26	720	90	1	3,2	110	4,3	0	0	580
2025	Octubre	17	11908	4,26	780	81	1	3,2	110	4,3	0	0	680
2025	Octubre	18	12668	4,26	840	86	1	3,2	110	4,3	0	0	620
2025	Octubre	19	9742	4,26	660	66	1	3,2	110	4,3	0	0	360
2025	Octubre	20	12301	4,26	660	84	1	3,2	110	4,3	1	36	680
2025	Octubre	21	11008	4,26	660	127	31	3,2	110	4,3	0	0	580
2025	Octubre	22	10103	4,26	840	119	1	3,2	110	4,3	0	0	2420
2025	Octubre	23	10031	4,26	660	118	21	3,2	110	4,3	0	0	480
2025	Octubre	24	9895	4,26	720	117	1	3,2	110	4,3	0	0	360
2025	Octubre	25	9375	4,26	660	112	1	3,2	110	4,3	0	0	380
2025	Octubre	26	13209	4,26	600	148	1	3,2	110	4,3	0	0	340

2025	Octubre	27	11573	4,26	720	133	1	3,2	110	4,3	0	0	620
2025	Octubre	28	11689	4,26	720	134	1	3,2	110	4,3	0	0	460
2025	Octubre	29	10083	4,26	780	118	1	3,2	110	4,3	0	0	780
2025	Octubre	30	9298	4,26	720	111	121	3,2	110	4,3	0	24	580
2025	Octubre	31	10301	4,26	780	120	1	3,2	110	4,3	2	0	510
2025	Noviembre	1	8823	3,60	840	94	1	3,3	113	5,0	0	0	600
2025	Noviembre	2	9793	3,60	840	104	1	3,3	113	5,0	0	0	380
2025	Noviembre	3	9432	3,60	720	100	1	3,3	113	5,0	0	0	460
2025	Noviembre	4	9276	3,60	720	98	1	3,3	113	5,0	0	36	460
2025	Noviembre	5	9950	3,60	900	105	1	3,3	113	5,0	0	0	460
2025	Noviembre	6	8603	3,60	600	91	1	3,3	113	5,0	0	0	480
2025	Noviembre	7	9423	3,60	1020	100	21	3,3	113	5,0	0	24	700

2025	Novembre	8	9237	3,60	840	98	16	3,3	113	5,0	0	0	660
2025	Novembre	9	9382	3,60	780	99	1	3,3	113	5,0	0	0	400
2025	Novembre	10	8648	3,60	840	92	1	3,3	113	5,0	0	0	580
2025	Novembre	11	12481	3,60	600	132	1	3,3	113	5,0	0	0	840
2025	Novembre	12	9912	3,60	600	105	151	3,3	113	5,0	0	0	420
2025	Novembre	13	9896	3,60	660	105	61	3,3	113	5,0	0	0	640
2025	Novembre	14	8935	3,60	600	95	1	3,3	113	5,0	0	0	540
2025	Novembre	15	9346	3,60	660	99	1	3,3	113	5,0	0	0	380
2025	Novembre	16	8940	3,60	660	95	1	3,3	113	5,0	0	0	520
2025	Novembre	17	8652	3,60	840	92	1	3,3	113	5,0	0	0	380
2025	Novembre	18	9435	3,60	840	100	1	3,3	113	5,0	0	0	460
2025	Novembre	19	8765	3,60	840	93	21	3,3	113	5,0	0	0	480

2025	Novembre	20	9454	3,60	660	100	1	3,3	113	5,0	0	24	540
2025	Novembre	21	9818	3,60	660	104	1	3,3	113	5,0	0	0	560
2025	Novembre	22	9501	3,60	540	101	1	3,3	113	5,0	0	0	600
2025	Novembre	23	9113	3,60	660	97	1	3,3	113	5,0	0	0	450
2025	Novembre	24	9741	3,60	720	103	6	3,3	113	5,0	0	0	680
2025	Novembre	25	10064	3,60	780	107	1	3,3	113	5,0	0	0	640
2025	Novembre	26	8302	3,60	780	88	1	3,3	113	5,0	0	0	520
2025	Novembre	27	9501	3,60	840	101	1	3,3	113	5,0	0	0	460
2025	Novembre	28	8483	3,60	600	90	1	3,3	113	5,0	0	24	570
2025	Novembre	29	13395	3,60	720	95	61	3,3	113	5,0	0	0	420
2025	Novembre	30	16466	3,60	660	107	1	3,3	113	5,0	2	0	560
2025	Dicembre	1	9235	2,71	780	121	1	3,2	106	4,4	0	0	520

2025	Diciembre	2	8787	2,71	720	116	1	3,2	106	4,4	0	0	680
2025	Diciembre	3	9534	2,71	900	124	1	3,2	106	4,4	0	0	600
2025	Diciembre	4	8513	2,71	960	112	1	3,2	106	4,4	0	0	520
2025	Diciembre	5	8870	2,71	780	117	21	3,2	106	4,4	0	0	480
2025	Diciembre	6	8926	2,71	780	117	101	3,2	106	4,4	0	24	460
2025	Diciembre	7	9107	2,71	840	119	1	3,2	106	4,4	0	0	380
2025	Diciembre	8	9135	2,71	720	120	1	3,2	106	4,4	0	0	560
2025	Diciembre	9	10591	2,71	840	124	1	3,2	106	4,4	0	0	620
2025	Diciembre	10	9069	2,71	720	106	1	3,2	106	4,4	0	0	560
2025	Diciembre	11	8745	2,71	720	102	1	3,2	106	4,4	0	0	680
2025	Diciembre	12	8706	2,71	660	102	1	3,2	106	4,4	0	0	1100
2025	Diciembre	13	9387	2,71	780	110	1	3,2	106	4,4	0	0	620

2025	Diciembre	14	8225	2,71	840	96	1	3,2	106	4,4	0	0	520
2025	Diciembre	15	15502	2,71	780	120	1	3,2	106	4,4	0	0	640
2025	Diciembre	16	13201	2,71	660	113	61	3,2	106	4,4	0	0	560
2025	Diciembre	17	9458	2,71	480	111	1	3,2	106	4,4	0	0	580
2025	Diciembre	18	9167	2,71	900	107	1	3,2	106	4,4	0	36	620
2025	Diciembre	19	8687	2,71	600	102	16	3,2	106	4,4	0	0	840
2025	Diciembre	20	11800	2,71	660	138	1	3,2	106	4,4	0	0	1280
2025	Diciembre	21	14287	2,71	900	146	1	3,2	106	4,4	0	0	520
2025	Diciembre	22	10809	2,71	780	110	51	3,2	106	4,4	0	0	700
2025	Diciembre	23	15138	2,71	780	154	1	3,2	106	4,4	0	0	1260
2025	Diciembre	24	11810	2,71	720	120	1	3,2	106	4,4	0	0	480
2025	Diciembre	25	7434	2,71	540	76	1	3,2	106	4,4	0	0	420

2025	Diciembre	26	10171	2,71	780	104	1	3,2	106	4,4	0	24	560
2025	Diciembre	27	9342	2,71	660	95	1	3,2	106	4,4	0	0	460
2025	Diciembre	28	8732	2,71	600	89	1	3,2	106	4,4	0	0	360
2025	Diciembre	29	10265	2,71	660	105	1	3,2	106	4,4	0	0	920
2025	Diciembre	30	9236	2,71	780	94	1	3,2	106	4,4	0	24	1760
2025	Diciembre	31	11067	2,71	720	83	1	3,2	106	4,4	0	0	1040
2026	Enero	1	8150	5,81	840	98	1	3,2	261	8,6	0	0	620
2026	Enero	2	9350	5,81	600	112	1	3,2	261	8,6	0	0	600
2026	Enero	3	9720	5,81	720	117	1	3,2	261	8,6	0	0	500
2026	Enero	4	9840	5,81	600	118	1	3,2	261	8,6	0	0	460
2026	Enero	5	8735	5,81	660	105	1	3,2	261	8,6	0	0	500
2026	Enero	6	8185	5,81	720	98	1	3,2	261	8,6	0	0	520

2026	Enero	7	10240	5,81	660	123	1	3,2	261	8,6	0	0	820
2026	Enero	8	9156	5,81	780	110	1	3,2	261	8,6	0	24	1220
2026	Enero	9	9332	5,81	720	112	1	3,2	261	8,6	0	0	660
2026	Enero	10	9488	5,81	660	114	1	3,2	261	8,6	0	0	520
2026	Enero	11	9383	5,81	780	113	1	3,2	261	8,6	0	0	480
2026	Enero	12	8991	5,81	900	108	1	3,2	261	8,6	0	0	1780
2026	Enero	13	8149	5,81	720	98	1	3,2	261	8,6	0	0	460
2026	Enero	14	9167	5,81	660	110	1	3,2	261	8,6	0	36	420
2026	Enero	15	9376	5,81	780	113	1	3,2	261	8,6	0	0	480
2026	Enero	16	8774	5,81	540	105	1	3,2	261	8,6	0	0	280
2026	Enero	17	9446	5,81	780	113	1	3,2	261	8,6	0	0	760
2026	Enero	18	8851	5,81	780	106	1	3,2	261	8,6	0	0	440

2026	Enero	19	9977	5,81	720	120	1	3,2	261	8,6	0	0	820
2026	Enero	20	9082	5,81	720	109	1	3,2	261	8,6	0	36	600
2026	Enero	21	9086	5,81	900	109	1	3,2	261	8,6	0	0	450
2026	Enero	22	9127	5,81	840	110	1	3,2	261	8,6	0	36	9560
2026	Enero	23	8849	5,81	660	106	1	3,2	261	8,6	0	0	520
2026	Enero	24	10210	5,81	900	123	1	3,2	261	8,6	0	0	300
2026	Enero	25	8205	5,81	600	98	1	3,2	261	8,6	0	0	320
2026	Enero	26	9290	5,81	540	111	1	3,2	261	8,6	0	0	420
2026	Enero	27	9713	5,81	540	117	1	3,2	261	8,6	0	24	540
2026	Enero	28	9491	5,81	600	114	1	3,2	261	8,6	0	0	620
2026	Enero	29	10574	5,81	840	127	1	3,2	261	8,6	0	0	660
2026	Enero	30	13013	5,81	480	156	1	3,2	261	8,6	0	0	640

2026	Enero	31	10911	5,81	720	131	1	3,2	261	8,6	0	24	760
2026	Febrero	1	10581	6,86	660	149	1	1,8	357	6,4	0	0	540
2026	Febrero	2	12296	6,86	720	172	1	1,8	357	6,4	0	0	680
2026	Febrero	3	11279	6,86	840	159	1	1,8	357	6,4	0	36	680
2026	Febrero	4	12190	6,86	840	170	1	1,8	357	6,4	0	0	680
2026	Febrero	5	10575	6,86	660	149	1	1,8	357	6,4	0	0	30540
2026	Febrero	6	10253	6,86	600	144	1	1,8	357	6,4	0	0	30580
2026	Febrero	7	9721	6,86	720	137	1	1,8	357	6,4	0	0	30680
2026	Febrero	8	9218	6,86	540	133	26	1,8	357	6,4	0	0	400
2026	Febrero	9	10747	6,86	720	151	1	1,8	357	6,4	0	0	600
2026	Febrero	10	14288	6,86	720	199	1	1,8	357	6,4	0	36	640
2026	Febrero	11	11601	6,86	660	162	1	1,8	357	6,4	0	0	3000

2026	Febrero	12	10538	6,86	780	149	1	1,8	357	6,4	0	0	3260
2026	Febrero	13	10349	6,86	600	146	1	1,8	357	6,4	0	24	460
2026	Febrero	14	10005	6,86	660	136	1	1,8	357	6,4	0	0	420
2026	Febrero	15	9924	6,86	780	135	1	1,8	357	6,4	0	0	80
2026	Febrero	16	10408	6,86	420	142	1	1,8	357	6,4	0	0	2840
2026	Febrero	17	12355	6,86	540	168	1	1,8	357	6,4	0	0	1180
2026	Febrero	18	10230	6,86	660	139	1	1,8	357	6,4	0	0	1080
2026	Febrero	19	9358	6,86	540	127	1	1,8	357	6,4	0	36	500
2026	Febrero	20	10720	6,86	780	146	1	1,8	357	6,4	0	0	640
2026	Febrero	21	9945	6,86	600	180	1	1,8	357	6,4	0	0	600
2026	Febrero	22	9614	6,86	720	175	1	1,8	357	6,4	0	0	440
2026	Febrero	23	8689	6,86	780	161	1	1,8	357	6,4	0	0	680

2026	Febrero	24	9780	6,86	600	178	1	1,8	357	6,4	0	36	540
2026	Febrero	25	9703	6,86	900	176	1	1,8	357	6,4	0	0	680
2026	Febrero	26	8284	6,86	780	155	1	1,8	357	6,4	0	0	1580
2026	Febrero	27	9063	6,86	600	166	1	1,8	357	6,4	0	24	1380
2026	Febrero	28	11137	6,86	600	198	1	1,8	357	6,4	0	0	1100
2026	Marzo	1	14718	2,71	480	240	1	2,4	87	0,8	0	0	760
2026	Marzo	2	16669	2,71	600	240	0	2,4	87	0,8	0	0	880
2026	Marzo	3	13268	2,71	660	225	1	2,4	87	0,8	0	0	520
2026	Marzo	4	10446	2,71	540	182	1	2,4	87	0,8	0	0	460
2026	Marzo	5	9028	2,71	540	160	1	2,4	87	0,8	0	0	2100
2026	Marzo	6	9844	2,71	720	173	1	2,4	87	0,8	0	0	940
2026	Marzo	7	10140	2,71	660	177	1	2,4	87	0,8	0	0	460

2026	Marzo	8	8885	2,71	600	158	1	2,4	87	0,8	0	0	480
2026	Marzo	9	7209	2,71	540	51	1	2,4	87	0,8	0	36	440
2026	Marzo	10	8540	2,71	840	61	1	2,4	87	0,8	0	0	460
2026	Marzo	11	9524	2,71	780	68	1	2,4	87	0,8	0	0	440
2026	Marzo	12	9173	2,71	600	65	1	2,4	87	0,8	0	36	460
2026	Marzo	13	9100	2,71	540	65	1	2,4	87	0,8	0	0	420
2026	Marzo	14	9332	2,71	540	66	1	2,4	87	0,8	0	0	260
2026	Marzo	15	33978	2,71	480	240	1	2,4	87	0,8	0	0	280
2026	Marzo	16	18853	2,71	480	134	1	2,4	87	0,8	0	0	300
2026	Marzo	17	26427	2,71	420	188	1	2,4	87	0,8	0	0	300
2026	Marzo	18	14130	2,71	420	100	1	2,4	87	0,8	0	0	100
2026	Marzo	19	37791	2,71	600	240	1	2,4	87	0,8	0	0	700

2026	Marzo	20	31193	2,71	480	221	1	2,4	87	0,8	0	0	1140
2026	Marzo	21	15765	2,71	540	112	1	2,4	87	0,8	0	0	840
2026	Marzo	22	21054	2,71	600	149	1	2,4	87	0,8	0	0	660
2026	Marzo	23	20184	2,71	600	206	1	2,4	87	0,8	0	12	780
2026	Marzo	24	25401	2,71	600	240	1	2,4	87	0,8	0	0	900
2026	Marzo	25	13713	2,71	600	140	1	2,4	87	0,8	0	0	280
2026	Marzo	26	11839	2,71	480	121	1	2,4	87	0,8	0	0	240
2026	Marzo	27	11875	2,71	600	121	1	2,4	87	0,8	0	0	2760
2026	Marzo	28	10567	2,71	660	108	1	2,4	87	0,8	0	0	440
2026	Marzo	29	9900	2,71	600	101	1	2,4	87	0,8	0	0	340
2026	Marzo	30	10374	2,71	720	106	1	2,4	87	0,8	0	0	580
2026	Marzo	31	15332	2,71	780	156	1	2,4	87	0,8	0	0	660

2026	Abril	1	11024	3,60	600	112	1	3,3	124	2,2	0	0	360
2026	Abril	2	8665	3,60	480	88	1	3,3	124	2,2	0	24	300
2026	Abril	3	9085	3,60	600	93	1	3,3	124	2,2	0	0	280
2026	Abril	4	10480	3,60	480	107	1	3,3	124	2,2	0	0	160
2026	Abril	5	9823	3,60	600	100	1	3,3	124	2,2	0	0	140
2026	Abril	6	8994	3,60	480	92	1	3,3	124	2,2	0	0	300
2026	Abril	7	8512	3,60	420	87	1	3,3	124	2,2	0	0	280
2026	Abril	8	10709	3,60	660	109	1	3,3	124	2,2	0	24	320
2026	Abril	9	7540	3,60	420	73	1	3,3	124	2,2	0	0	280
2026	Abril	10	8413	3,60	540	82	1	3,3	124	2,2	0	0	340
2026	Abril	11	8273	3,60	420	80	1	3,3	124	2,2	0	0	220
2026	Abril	12	10222	3,60	600	99	1	3,3	124	2,2	0	0	160

2026	Abril	13	8129	3,60	540	79	1	3,3	124	2,2	0	24	240
2026	Abril	14	14766	3,60	640	143	1	3,3	124	2,2	0	0	2000
2026	Abril	15	11624	3,60	600	113	1	3,3	124	2,2	0	0	5240
2026	Abril	16	12873	3,60	600	125	1	3,3	124	2,2	0	12	240
2026	Abril	17	10365	3,60	420	101	1	3,3	124	2,2	0	12	300
2026	Abril	18	18569	3,60	600	180	1	3,3	124	2,2	0	0	340
2026	Abril	19	11550	3,60	480	112	1	3,3	124	2,2	0	0	180
2026	Abril	20	10910	3,60	480	106	1	3,3	124	2,2	0	12	180
2026	Abril	21	9731	3,60	480	94	1	3,3	124	2,2	0	0	260
2026	Abril	22	11453	3,60	420	111	1	3,3	124	2,2	0	0	580
2026	Abril	23	8179	3,60	420	79	1	3,3	124	2,2	0	0	580
2026	Abril	24	12425	3,60	480	104	1	3,3	124	2,2	0	0	2225

2026	Abril	25	8598	3,60	360	72	1	3,3	124	2,2	0	0	200
2026	Abril	26	11107	3,60	420	93	1	3,3	124	2,2	0	0	140
2026	Abril	27	15006	3,60	480	126	1	3,3	124	2,2	0	0	340
2026	Abril	28	21105	3,60	420	177	1	3,3	124	2,2	0	0	6700
2026	Abril	29	20842	3,60	360	175	1	3,3	124	2,2	0	0	360
2026	Abril	30	12663	3,60	420	106	1	3,3	124	2,2	0	0	340

13.4.8. Variables operacionales de PTAS Villarrica (mensual)correspondiente a la data desde enero del 2024 al abril del 2026

Año	Mes	Volumen tratado (m^3)	Energía (kWh)	Cloro (kg)	Lodos (m^3)	Bypass (m^3)	(x1*X1)	(x1*x2)	(x1*x3)	(x1*x4)	x2*x2	x2*x3	x2*x4	x3*x3	x3*x4	x4*x4	X1*Y	X2*Y	X3*Y	X4*Y
2024	Enero	294.325	28.320	3.270	206,5	0	802022400	92606400	5848080	0	10692900	675255	0	42642,25	0	0	8335284000	962442750	60778112,5	0
2024	Febrero	277.397	26.460	2.970	228	0	700131600	78586200	6032880	0	8820900	677160	0	51984	0	0	7787839500	874145250	67106100	0
2024	Marzo	307.355	29.640	3.260	168	0	878529600	96626400	4979520	0	10627600	547680	0	28224	0	0	8723793000	959499500	49446600	0
2024	Abril	398.680	26.520	4.150	132	0	703310400	110058000	3500640	0	17222500	547800	0	17424	0	0	7805499000	1221448750	38850900	0
2024	Mayo	501.817	30.660	5.190	48	0	940035600	159125400	1471680	0	26936100	249120	0	2304	0	0	9024004500	1527546750	14127600	0

2024	Junio	641.210	27.780	5.670	96	0	771728400	157512600	2666880	0	32148900	544320	0	9216	0	0	8176348500	1668822750	28255200	0
2024	Julio	455.030	30.660	3.540	60	0	940035600	108536400	1839600	0	12531600	212400	0	3600	0	0	9024004500	1041910500	17659500	0
2024	Agosto	480.058	21.000	3.870	50	0	441000000	81270000	1050000	0	14976900	193500	0	2500	0	0	6180825000	1139037750	14716250	0
2024	Septiembre	499.744	17.400	3.800	72	0	302760000	66120000	1252800	0	14440000	273600	0	5184	0	0	5121255000	1118435000	21191400	0
2024	Octubre	430.959	22.200	3.430	132	0	492840000	76146000	2930400	0	11764900	452760	0	17424	0	0	6534015000	1009534750	38850900	0
2024	Noviembre	428.503	19.800	3.440	96	0	392040000	68112000	1900800	0	11833600	330240	0	9216	0	0	5827635000	1012478000	28255200	0
2024	Diciembre	415.609	21.420	3.580	216	0	458816400	76683600	4626720	0	12816400	773280	0	46656	0	0	6304441500	1053683500	63574200	0
2025	Enero						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2025	Febrero	523.520	37.370	58,1	29.276	0	1396516900	2171197	1094044120	0	3375,61	1700935,6	0	857084176	0	0	1099892525	17100282,5	861665870	0
2025	Marzo	592.818	40.420	31	37.080	0	1633776400	1253020	1498773600	0	961	1149480	0	1374926400	0	0	1189661650	9124075	1091357100	0
2025	Abril	1.031.680	40.030	130,1	35.280	248	1602400900	5207903	1412258400	9927440	16926,01	4589928	32264,8	1244678400	8749440	61504	1178182975	38291682,5	103837860	72992600
2025	Mayo	1.241.126	38.660	882,9	44.760	222	1494595600	34132914	1730421600	8582520	779512,41	3951860	196003,8	2003457600	9936720	49284	1137860450	25985954,5	131739870	65340150
2025	Junio	1.072.278	39.400	70,1	43.320	316	1552360000	2761940	1706808000	1245040	4914,01	3036732	22151,6	1876622400	1368912 0	99856	1159640500	20632182,5	127501590	93006700
2025	Julio	1.008.702	34.770	80,1	43.320	866	1208952900	2785077	1506236400	3011082 0	6416,01	3469932	69366,6	1876622400	3751512 0	74995 6	1023368025 0	23575432,5	127501590 00	254885450
2025	Agosto	1.220.810	41.390	111,1	34.440	462	1713132100	4598429	1425471600	1912218 0	12343,21	3826284	51328,2	1186113600	1591128 0	21344 4	1218211175 0	32699507,5	101365530 00	135978150
2025	Septiembre	1.093.014	37.490	64,1	40.080	1.072	1405500100	2403109	1502599200	4018928 0	4108,81	2569128	68715,2	1606406400	4296576 0	11491 84	1103424425 0	18866232,5	117965460 00	315516400
2025	Octubre	757.520	32.130	201,2	43.680	74	1032336900	6464556	1403438400	2377620	40481,44	8788416	14888,8	1907942400	3232320	5476	9456662250	59218190	128561160 00	217800 50
2025	Noviembre	585.534	29.920	360,4	44.040	4	895206400	10783168	1317676800	119680	129888,16	1587201 6	1441,6	1939521600	176160	16	8806204000	10607473 0	129620730 00	1177300
2025	Diciembre	625.872	34.590	276,3	46.080	0	1196468100	9557217	1593907200	0	76341,69	1273190 4	0	2123366400	0	0	1018070175 0	81321997,5	135624960 00	0
2026	Enero	291.861	21.960	3.502	180	0	482241600	76903920	3952800	0	12264004	630360	0	32400	0	0	6463377000	1030726150	52978500	0
2026	Febrero	292.851	19.020	4.402	192	0	361760400	83726040	3651840	0	19377604	845184	0	36864	0	0	5598061500	1295618650	56510400	0
2026	Marzo	474.252	18.300	4.613	84	0	334890000	84417900	1537200	0	21279769	387492	0	7056	0	0	5386147500	1357721225	24723300	0
2026	Abril	341.635	14.920	3.220	108	0	222606400	48042400	1611360	0	10368400	347760	0	11664	0	0	4391329000	9477265 0	31787100	0
2026	Mayo	270.021	7.320	1.492	0	0	53582400	10921440	0	0	2226064	0	0	0	0	0	2154459000	4391329 0	0	0
	Sumatoria	16.554.181	789.550	65.664	443.425	3.264	24.409.577.100	1.557.513.230	16.240.488.520	122.879.940	251.403.409	104.941.271	456.161	17.997.066.134	132.175.920	2.328.720	232.384.303.750	19.326.674.530	130.510.915.963	960.676.800