UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

Departamento de Obras Civiles

METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO EFICIENTE DE LAS DESCARGAS DIFUSAS DE RILES A REDES DE ALCANTARILLADO URBANO

Memoria de Título presentada por

Diego Andrés Moreno Lorca

como requisito parcial para optar al título de la carrera de

Ingeniería Civil

Profesor Guía
Alberto Javier Kresse Zamorano

Profesora Correferente
Vivian Clarisa Aranda Núñez

Enero de 2026

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

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

Título del trabajo: Metodología para el monitoreo eficiente de las descargas difusas de riles a redes de alcantarillado urbano

Nombre del candidato(a): Diego Andrés Moreno Lorca

Carrera / Grado: Ingeniería Civil / Titulado

Campus: San Joaquín **Departamento:** Obras Civiles

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Vivian Clarisa 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)

X 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: 28/10/2026 **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 28/10/2026 **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

TITULO DE LA TESIS:

METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO EFICIENTE DE LAS DESCARGAS DIFUSAS DE RILES A REDES DE ALCANTARILLADO URBANO

AUTOR:

DIEGO ANDRÉS MORENO LORCA

TRABAJO DE MEMORIA, presentado como requisito parcial para optar al título de la carrera de INGENIERIA CIVIL de la Universidad Técnica Federico Santa María.

	Nombre	Firma
Prof. Guía	Alberto Kresse Z.	.....
Prof. Correferente	Vivian Aranda N.	.....

Santiago, Chile, enero de 2026

METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO EFICIENTE DE LAS DESCARGAS DIFUSAS DE RILES A REDES DE ALCANTARILLADO URBANO

Diego Andrés Moreno Lorca, Alberto Javier Kresse Zamorano, Vivian Clarisa Aranda Núñez

Universidad Técnica Federico Santa María

Resumen

En la operación de los sistemas de alcantarillado de zonas urbanas, se ha evidenciado que malas prácticas asociadas a las descargas de aguas residuales no controladas por parte de algunos usuarios, pueden generar impactos negativos en las redes, como también una disminución en la eficiencia de los sistemas de tratamiento.

En este sentido, se desarrolló una metodología, aplicable a diferentes localidades, para identificar de manera eficiente los sectores a recibir descargas fuera de norma, basándose en los registros que normalmente llevan las empresas sanitarias a cargo de la operación de las redes e información municipal de georreferenciación de comercios e industrias de la zona urbana.

Para estos efectos, se propuso la generación de un índice que cruza la infraestructura de transporte con los tipos de aportes y la probabilidad de afectación de los servicios de recolección, buscando identificar las zonas de mayor concentración de descargas, que como lo evidenció Mattsson et al. (2014), son las que presentan mayores riesgos de incidencias.

La metodología se aplicó y calibró con los datos de las comunas de Villarrica y Pucón, verificando en terreno las condiciones que se deben considerar para una ejecución efectiva de este método. Por medio de cartografías de impacto se visualizaron las tuberías más propensas a presentar inconvenientes, lo que permitió identificar los puntos de control prioritarios dentro de la red y, así optimizar los recursos disponibles.

Finalmente, se analizaron en el contexto normativo los formatos de los contratos que ha celebrado la actual operadora sanitaria de la zona, y se levantaron criterios que pudiesen ser considerados para celebrar convenios con los establecimientos que califiquen como generadores de RILes.

Glosario de Abreviaturas

Abreviatura	Significado
A y G	Aceites y Grasas
BACI	Before – After – Control – Impact (Antes-Después-Control-Impacto)
BCN	Biblioteca del Congreso Nacional de Chile
CIIU	Clasificación Industrial Internacional Uniforme
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días
DFL	Decreto con Fuerza de Ley
DS	Decreto Supremo
EI	Establecimiento Industrial
HDPE	High Density Polyethilene (Polietileno de alta densidad)
II_C	Índice de Impacto cliente
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile
MOP	Ministerio de Obras Públicas de Chile
NH4+	Nitrógeno Amoniacal
PE	Poder Espumógeno
PEAS	Planta Elevadora de Aguas Servidas
PROCOF	Procedimiento de Control y Fiscalización
Pt	Fósforo Total
PTAS	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas
PVC	Policloruro de Vinilo
RILes	Residuos Líquidos
SAE	Simple Actividad Económica
SISS	Superintendencia de Servicios Sanitarios
SS	Sólidos Sedimentables
SST	Sólidos Suspendidos Totales
UF	Unidad de Fomento
VDM	Volumen de Descarga Mensual

Índice de contenidos

1 Introducción 9
2 Objetivos 10
2.1 Objetivo General 10
2.2 Objetivos Específicos 10
3 Antecedentes Generales 11
3.1 Composición e impacto de las descargas al sistema de alcantarillado 11
3.2 Normativa chilena relativa a descargas al sistema de alcantarillado 11
3.3 Caracterización de descargas gastronómicas 12
3.3.1 Tecnologías de monitoreo de RILes 12
4 Metodología 14
4.1 Etapa 1: Levantamiento de información de usuarios y red de alcantarillado 14
4.2 Etapa 2: Diseño del plan de monitoreo 14
4.3 Etapa 3: Validación del plan en la región de La Araucanía 14
4.4 Etapa 4: Gestión comercial para la implementación del plan propuesto 14
5 Levantamiento de información de usuarios y sistema de alcantarillado 16
5.1 Región de La Araucanía 16
5.2 Levantamiento usuarios de interés 17
5.3 Sistemas de alcantarillado y control de descargas 18
6 Diseño metodología de monitoreo 23
6.1 Caracterización de los clientes comerciales 23
6.2 Ponderación por rubro 23
6.3 Índice de impacto de los usuarios 24
6.4 Criterios de priorización de monitoreo 25
6.5 Protocolo de muestreo en terreno 26
7 Implementación metodología en la región de La Araucanía 27
7.1 Levantamiento y georreferenciación de clientes gastronómicos 27
7.2 Cálculo del indicador de impacto y mapas de calor 27
7.3 Identificación puntos de control 29
7.4 Visita a Aguas Araucanía S.A. 30
7.4.1 Equipos disponibles empresa Aguas Araucanía S.A. 31
7.4.2 Campaña de muestreo en terreno 31
7.5 Elección sistema de monitoreo 32
8 Calificación, cargos y convenios 33
8.1 Instrumentos de control 33
8.2 Cargos por caracterización de los efluentes 33
8.3 Convenios de descarga con clientes que califiquen como generadores de RILes 34
8.4 Propuesta para el control de RILes 36

9 Comentarios y conclusiones 37
10 Referencias 38
11 Anexo 40
11.1 Costos equipos de monitoreo 40

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Equipos para medir las condiciones en terreno (Fuente: www.segea.cl) 13
Ilustración 2: Equipos muestreadores automáticos (Fuente: www.simtech.cl) 13
Ilustración 3: Diagrama de flujo de las etapas metodológicas del proyecto (Creación propia) 15
Ilustración 4: Establecimientos de interés Villarrica (Creación propia, Fuente: Patentes Comerciales Municipalidad de Villarrica, 2025) 17
Ilustración 5: Establecimientos de interés Pucón (Creación propia, Fuente: Patentes Comerciales Municipalidad de Pucón, 2022) 18
Ilustración 6: Subcuencas Aguas Servidas Villarrica (Fuente: Aguas Araucanía S.A., 2025) 19
Ilustración 7: Subcuencas Aguas Servidas Pucón (Fuente: Aguas Araucanía S.A., 2025) 20
Ilustración 8: Planificación territorial comunas de Villarrica y Pucón (Creación propia, Fuente: BCN, 2019; MINVU, 2021) 21
Ilustración 9: Extracto red de Alcantarillado Villarrica (Creación propia, Fuente: Aguas Araucanía S.A., 2025) 22
Ilustración 10: Extracto red de Alcantarillado Pucón (Creación propia, Fuente: Aguas Araucanía S.A., 2025) 22
Ilustración 11: Asociación espacial por proximidad cliente Aguas Araucanía S.A. y patentes comerciales para ambos municipios (Creación propia, Fuente: Aguas Araucanía S.A., 2025; Patentes Comerciales Municipalidad de Villarrica, 2025; Patentes Comerciales Municipalidad de Pucón, 2022) 27
Ilustración 12: Mapa de calor tuberías con impacto gastronómico Villarrica (Creación propia) 28
Ilustración 13: Mapa de calor tuberías con impacto gastronómico Pucón (Creación propia) 28
Ilustración 14: Puntos de control prioritarios Villarrica (Creación propia, Fuente: Aguas Araucanía S.A., 2025) 29
Ilustración 15: Puntos de control prioritarios Pucón (Creación propia, Fuente: Aguas Araucanía S.A., 2025) 30
Ilustración 16: Equipos de medición automática y medidor de caudal tipo molinete Aguas Araucanía S.A. (Fotografía tomada por el autor, 2025) 31
Ilustración 17: Medición caudal mediante medidor tipo Molinete y registro pH y temperatura mediante medidor multiparamétrico pertenecientes a Aguas Araucanía S.A. (Fotografía tomada por el autor, 2025) 31
Ilustración 18: Equipo de monitoreo instalado en cámara de inspección municipal (Fotografía tomada por el autor, 2025) 32

Índice de tablas

Tabla 1: Máximos Permitidos Regulación Chilena (Fuente: Tabla 4, Decreto Supremo 609) 11
Tabla 2: Carga Contaminante Promedio 28 Restaurantes Texas (Fuente: Garza, 2004) 12
Tabla 3: Empresas por comuna del rubro "Actividades de alojamiento y de servicio de comidas" (Creación propia, Fuente: SII, 2025; INE, 2025) 16
Tabla 4: Valores de Producción de Grasa en Restaurantes (Fuente: Adaptado de American Society of Plumbing Engineers, 2016) 23
Tabla 5: Ponderación Asignada por Rubro (Creación propia) 24
Tabla 6: Tarifa por parámetro (Fuente: Decreto 274) 34
Tabla 7: Tarifa por duración de muestreo (Fuente: Decreto 274) 34
Tabla 8: Cargo empresa por administración (Fuente: Decreto 274) 34
Tabla 9: Muestreos de autocontrol RILes (Fuente: Inciso 6.3.1 punto a) DS 609) 35
Tabla 10: Equipos de muestreo condiciones en terreno (Creación propia) 40
Tabla 11: Muestreadores automáticos disponibles en el mercado (Creación propia) 40
Tabla 12: Equipos de muestreo manual (Creación propia) 40

1 Introducción

El presente trabajo propone una metodología de monitoreo orientada a la identificación de las descargas difusas de residuos líquidos (en adelante RILes), en redes de alcantarillado urbano. El incumplimiento de la normativa vigente por parte de usuarios que realizan este tipo de descargas puede afectar la capacidad de transporte de las tuberías y la eficiencia de remoción de las plantas de tratamiento de aguas servidas (en adelante PTAS) reduciendo así su capacidad depuradora (Cassidy et al., 2020) y, en consecuencia, amenazar el cumplimiento de los estándares de calidad exigibles en los efluentes tratados.

Las descargas difusas se definen como aquellas cuyo origen no está definido, por lo que no es posible detectar con certeza al generador, situación que sí ocurre con usuarios industriales, que normalmente cuentan con convenios específicos para su control, o con sistemas de tratamientos particulares para sus RILes.

El Decreto Supremo 609/1998 (en adelante DS 609) del MOP, fija límites de emisión para una serie de parámetros asociados a estas descargas. En el presente trabajo se busca dotar a la empresa responsable de los servicios sanitarios, de un conjunto de herramientas para construir directrices orientadas a un actuar preventivo en lo que respecta a la identificación de estas descargas. Con ello se pretende optimizar la fiscalización y el uso de los recursos disponibles, reduciendo el riesgo de incumplimiento de los estándares de calidad exigidos para los efluentes de las PTAS y evitar, a su vez, sanciones por parte del regulador, a saber, la Superintendencia de Servicios Sanitarios (en adelante SISS).

La construcción de la metodología comprende el análisis topológico de las redes, la revisión del estado del arte de las tecnologías de monitoreo y control, la evaluación del impacto en el servicio sanitario producto de potenciales incumplimientos y el estudio de los marcos legales y contractuales aplicables.

La validación de este enfoque se desarrolla mediante un ejercicio aplicado en localidades de la región de La Araucanía, enfocado en las descargas provenientes de la industria gastronómica. La elección responde a la alta concentración de este rubro en la zona y a la evidencia documentada en otros contextos internacionales.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Definir un modelo de monitoreo eficiente de descargas difusas de RILes que permita identificar eventuales incumplimientos del DS 609 en redes de alcantarillado urbano.

2.2 Objetivos Específicos

1) Identificar mecanismos para reconocer potenciales generadores de RILes, mediante la caracterización de los usuarios y el análisis topológico de la red de alcantarillado.
2) Diseñar un plan para monitorear las descargas difusas de RILes basándose en el estado del arte de la instrumentación disponible.
3) Aplicar y validar el criterio a partir de un ejercicio desarrollado en localidades de la región de La Araucanía.
4) Cuantificar el costo de implementar la metodología propuesta, y proponer alternativas legales y contractuales frente a clientes con potencial incumplimiento del DS 609.

3 Antecedentes Generales

A continuación, se presentan antecedentes normativos, técnicos y metodológicos vinculados al monitoreo de descargas difusas.

Si bien el modelo que se desarrolla en este estudio busca ser aplicado en cualquier red de alcantarillado urbano, se ha decidido trabajar con los datos de la empresa sanitaria Aguas Araucanía S.A. que facilitó los registros comerciales para este efecto.

3.1 Composición e impacto de las descargas al sistema de alcantarillado

Los sistemas de alcantarillado son infraestructuras ramificadas, donde las tuberías secundarias recolectan las descargas generadas por diferentes fuentes, ya sean residenciales, comerciales, industriales, institucionales, entre otros, y las conducen hacia colectores principales. A lo largo de su operación, estos sistemas pueden requerir procedimientos de mantenimiento o reparación debido a distintos factores. Uno de los problemas más recurrentes corresponde a los taponamientos de las tuberías provocados por masas sólidas de grasas y otros desechos no biodegradables, fenómeno conocido como *Fatberg.*

En Londres, Reino Unido, se analizó el contenido de un *Fatberg* de 250 metros de largo y un peso superior a 140 toneladas que ocasionaba un taponamiento en la red de alcantarillado. Se reveló que la grasa de cocina constituía aproximadamente el 90% de su composición, evidenciando que este tipo de residuos representa la principal causa de la problemática (Khomami, 2018).

En la misma línea, el estudio desarrollado por He et al. (2017), en Carolina del Norte, Estados Unidos, asigna como principal causante de bloqueos recurrentes en las tuberías, a las descargas provenientes de establecimientos de comida, lo que genera riesgos sanitarios y operativos. Ducoste et al. (2008), por su parte, reseña que en Estados Unidos, estos compuestos son responsables de aproximadamente el 40-50% de los taponamientos en las redes.

Con base en estos antecedentes, se decidió enfocar el presente trabajo en una metodología de monitoreo que permita identificar de manera eficiente las descargas provenientes de clientes principalmente del rubro gastronómico.

3.2 Normativa chilena relativa a descargas al sistema de alcantarillado

La tabla a continuación resume los límites normativos establecidos por el DS 609 para los parámetros característicos de este tipo de efluentes.

Tabla 1: Máximos Permitidos Regulación Chilena (Fuente: Tabla 4, Decreto Supremo 609)

Contaminante	Unidad	Límite
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	[mg/L]	300
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	[mg/L]	300
Aceites y Grasas (A y G)	[mg/L]	150
Poder Espumógeno (PE)	[mm]	7

Los datos de DBO5, SST y la concentración de A y G, son parámetros normalmente asociados y controlados en todo tipo de aguas residuales, y son críticos en el diseño de los sistemas de tratamiento de este tipo de aguas.

El poder espumógeno, por su parte, se define como la capacidad de una solución de producir espuma, el que en las plantas de tratamiento interfiere en el correcto funcionamiento del sistema, producto del daño efectuado a equipos eléctricos.

Se levanta este parámetro, porque las actividades de limpieza, propias de la industria gastronómica, utilizan detergentes y jabones desengrasantes, siendo una fuente directa de espumas que ingresan a la red. El año 2019 en la ciudad de Puerto Montt, la SISS responsabilizó a la empresa sanitaria local por falta de fiscalización adecuada al vertimiento de líquidos provenientes de un barrio industrial hacia la red de alcantarillado, lo que resultó en rebalses de espuma hacia la vía pública, la que posteriormente se infiltró en los colectores de aguas lluvia (Briones, 2019).

3.3 Caracterización de descargas gastronómicas

Como antecedente internacional, Garza (2004) evaluó la carga contaminante en el efluente de 28 restaurantes en Texas, Estados Unidos. Los establecimientos seleccionados representan una variedad de tipos de restaurantes, abarcando distintos tipos de funcionamientos y gastronomía. Garza (2004) realizó el estudio mediante muestras recolectadas diariamente desde cada punto de descarga durante 6 días consecutivos, repitiendo el procedimiento a las 2 semanas posteriores, lo que registró los siguientes valores promedios.

Tabla 2: Carga Contaminante Promedio 28 Restaurantes Texas (Fuente: Garza, 2004)

Contaminante	Unidad	Promedio
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	[mg/L]	1045
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	[mg/L]	358
Aceites y Grasas (A y G)	[mg/L]	123

Como se observa, las concentraciones de los parámetros referidos exceden los límites para DBO5 y SST establecidos en el DS 609.

La cantidad de comensales y el tipo de cocina constituyen factores determinantes en los niveles de contaminantes presentes en las aguas descargadas por los establecimientos gastronómicos (Garza, 2004). En su estudio, Garza (2004) concluyó que las concentraciones más elevadas se presentan en locales de comida mexicana, seguidos por los de comida asiática y comida del mar.

3.3.1 Tecnologías de monitoreo de RILes

Existen diferentes técnicas para la recolección de muestras en las redes de alcantarillado, por lo que se hace necesario seleccionar la más apropiada a cada situación. Estas se establecen en el Manual Operativo de la Norma NCh 411/10 Of2005 de la SISS, donde indica que para efectuar el monitoreo se debe contar mínimamente con un equipo para la recolección de muestras ya sean manuales o automáticos, además de instrumentos para el registro de las condiciones en terreno.

3.3.1.1 Equipos de muestreo disponibles en el mercado

Los parámetros básicos para la caracterización de las aguas servidas en terreno son el caudal, el pH y la temperatura del efluente. Para esto, se utiliza comúnmente un medidor multiparámetro y un medidor de caudal tipo molinete.



Ilustración 1: Equipos para medir las condiciones en terreno (Fuente: www.segea.cl)

3.3.1.2 Muestreadores automáticos

Los muestreadores automáticos son dispositivos utilizados en la monitorización ambiental para recopilar muestras de forma programada limitando el actuar del personal en el proceso, asegurando precisión y consistencia.

Los muestreadores automáticos simples recolectan muestras discretas en momentos específicos definidos por el usuario, en donde cada alícuota se obtiene en forma individual, lo que permite analizar la variación puntual de los parámetros de interés. Este equipo es útil para identificar eventos particulares en la descarga de un tramo ya que cada registro representa un instante específico del tiempo de monitoreo.

Los muestreadores automáticos compuestos recogen una serie de muestras discretas durante un intervalo de tiempo determinado, combinándolas posteriormente en un único compuesto representativo, lo que reduce el impacto de las variaciones puntuales en el efluente y permite generar un ejemplar que refleja el comportamiento general de las aguas residuales durante el periodo de muestreo. Este sistema resulta especialmente útil para monitorear eventos en franjas horarias específicas, por ejemplo, durante la hora de mayor descarga en una tubería de forma tal de obtener parámetros de calidad representativos sin la necesidad de procesar un elevado número de muestras individuales.



Ilustración 2: Equipos muestreadores automáticos (Fuente: www.simtech.cl)

3.3.1.3 Muestreadores Manuales

La recolección manual de muestras es un proceso que debe ser realizado por personal capacitado, el que debe asegurar la integridad y representatividad de las alícuotas que obtuvo. De igual forma, se pueden recolectar muestras simples y compuestas, la elección depende de los objetivos del monitoreo.

En el caso de preparar una muestra compuesta a través de porciones puntuales recolectadas, en NCh 411/10 Of2005 sección 6.2.1 se establecen los pasos a seguir y el equipamiento necesario.

4 Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se contemplan las etapas que se describen a continuación.

4.1 Etapa 1: Levantamiento de información de usuarios y red de alcantarillado

Esta primera etapa tiene como finalidad comprender la interacción entre las actividades comerciales de interés y las redes de alcantarillado de los sistemas a analizar. El trabajo se aborda con la siguiente secuencia:

1. Seleccionar localidades que se utilizarán como base para el análisis.
2. Analizar la información comercial para la identificación y georreferenciación de los potenciales generadores de RILes.
3. Caracterizar el sistema de alcantarillado local: análisis de la estructura de la red (materiales, diseño, subcuencas) y vinculación con los clientes potenciales de RILes.

4.2 Etapa 2: Diseño del plan de monitoreo

Se busca desarrollar un plan de monitoreo considerando aspectos económicos y operativos, a partir de la revisión del estado del arte de la instrumentación disponible en el mercado. La metodología se planteará de forma teórica pero orientada a que su implementación sea factible en el futuro.

1. Revisar el estado del arte en monitoreo de RILes: catastro de técnicas y equipos disponibles para el control de descargas, considerando la normativa vigente.
2. Identificar puntos de control dentro de la red y de las cuencas de las localidades analizadas.
3. Diseñar el plan de monitoreo: construcción de un modelo que pondere caudales y calidades esperadas de descarga, en función de las características de los potenciales usuarios generadores de RILes. Estructuración de una estrategia de monitoreo, con frecuencia de muestreo y parámetros a medir, alineada con las tecnologías disponibles y las restricciones operativas identificadas.

4.3 Etapa 3: Validación del plan en la región de La Araucanía

Se validará la aplicabilidad del plan desarrollado de manera teórica en dos localidades de la región de La Araucanía, verificando su implementación práctica con los recursos disponibles de la empresa sanitaria.

1. Aplicar la metodología en casos piloto: Implementar el plan de monitoreo propuesto utilizando la información disponible en las comunas de Villarrica y Pucón.
2. Generar cartografía de impacto: Elaborar mapas de calor que destaquen los tramos de la red más afectados por aportes de RILes.
3. Identificar puntos de control prioritarios: Seleccionar, a partir de la cartografía de impacto y la disposición de la red, las cámaras de inspección estratégicas para el control de la red.
4. Seleccionar el sistema de monitoreo: Con base en las condiciones operacionales locales, definir el equipo de monitoreo más adecuado para el control de las descargas.

4.4 Etapa 4: Gestión comercial para la implementación del plan propuesto

Esta última etapa busca establecer los costos y beneficios de implementar la propuesta de monitoreo desarrollada.

1. Analizar el marco normativo y contractual: Revisar las disposiciones legales que definen criterios y responsabilidades para el control de RILes.
2. Estimar los costos de monitoreo: Estimar los costos asociados a realizar controles directos en terreno.
3. Revisar los convenios de descarga celebrados por parte de la empresa sanitaria con algunos usuarios, para establecer criterios que permitan adscribir a los generadores de RILes detectados.

La Ilustración N°3 resume el esquema metodológico diseñado para el desarrollo de esta memoria. En este diagrama se visualiza la secuencia lógica de las etapas necesarias para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

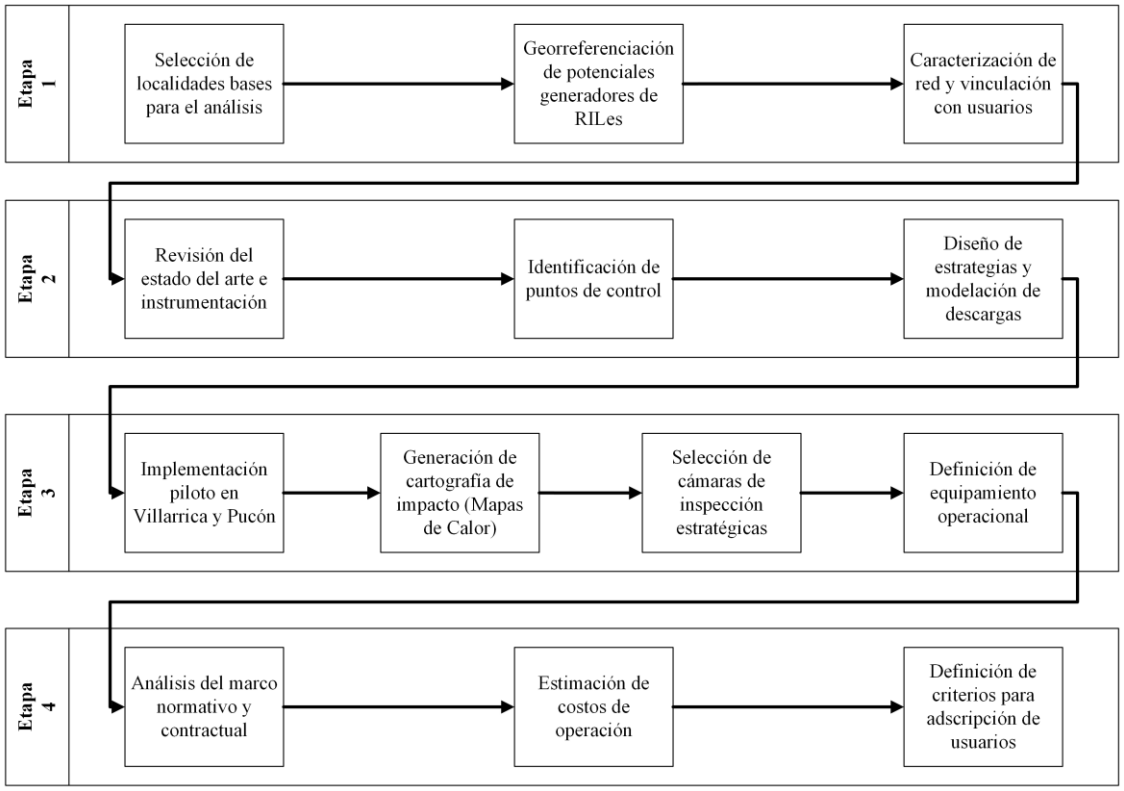


Ilustración 3: Diagrama de flujo de las etapas metodológicas del proyecto (Creación propia)

5 Levantamiento de información de usuarios y sistema de alcantarillado

Como fue referido en capítulos anteriores, el presente trabajo se desarrolla con los antecedentes de sistemas de alcantarillado de la región de la Araucanía, donde se ha contado con el apoyo de la empresa sanitaria que opera este servicio en las ciudades de esta región, a saber, Aguas Araucanía S.A.

El análisis se centra en dos sistemas en particular, Villarrica y Pucón, cuya selección se fundamenta en los puntos siguientes.

5.1 Región de La Araucanía

La región de La Araucanía cuenta con una superficie de 31.842 [km^2] y una población de 1.010.423 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas, 2025). Administrativamente está compuesta por las provincias de Cautín y Malleco, las que se dividen en 32 comunas y su capital regional es la ciudad de Temuco. La empresa Aguas Araucanía está a cargo de la operación del servicio sanitario de 35 localidades urbanas, en donde para el año 2023 sumaba una extensión de 1.998 [km] de red de alcantarillado (Aguas Araucanía S.A., 2023).

En la definición de la zona de estudio, se priorizaron los sectores con mayor densidad de establecimientos gastronómicos. Para ello, se emplearon los registros del año comercial 2024 del Servicio de Impuestos Internos (2025), los que reportan que las comunas de Villarrica y Pucón concentran el 25% de las empresas regionales del rubro de alojamiento y servicios de comida. Dicha representatividad justifica la selección de ambas comunas como escenarios idóneos para el desarrollo de este estudio.

En esta misma base, Temuco, la ciudad más importante en términos poblacionales y económicos de la región, abarca el 23,9% de los servicios de este tipo, sin embargo, se decidió priorizar las ciudades de la zona lacustre, debido a que, según lo levantado con Aguas Araucanía S.A. la capital regional ya cuenta con un plan de monitoreo continuo de descargas para esta ciudad.

Existen otras localidades con una población significativa en la región, como Padre Las Casas, Angol, Lautaro y Victoria, pero en estos sistemas, no se observa un gran desarrollo de la actividad económica de interés, no observándose dificultades particulares en los sistemas de tratamiento. La densidad de empresas que tributan a las redes de alcantarillado en las principales ciudades de la región se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 3: Empresas por comuna del rubro "Actividades de alojamiento y de servicio de comidas"
(Creación propia, Fuente: SII, 2025; INE, 2025)

Comuna	Población	Cantidad de empresas registradas	Densidad empresarial por cada 1000 habitantes
Temuco	292.518	1.410	4,82
Padre Las Casas	80.656	166	2,06
Villarrica	**67.737**	**744**	**10,98**
Angol	53.022	283	5,34
Lautaro	41.936	165	3,93
Victoria	34.464	172	4,99
Nueva Imperial	33.988	134	3,94
Pucón	**32.321**	**726**	**22,46**

5.2 Levantamiento usuarios de interés

El levantamiento de los clientes a los que apunta este plan de monitoreo se hace en virtud del registro de patentes municipales vigentes (información de acceso público, según Ley N°20.285).

En cuanto al acceso a la información, se obtuvo la nómina de patentes comerciales vigentes a junio 2025 para Villarrica, y al no disponer el municipio de Pucón de un listado consolidado vigente, se utilizó la información disponible a noviembre 2022. De esta forma, se construyó para cada comuna un catastro de los establecimientos vinculados a los servicios gastronómicos. Se registraron 230 establecimientos de este tipo en la comuna de Villarrica y 151 en Pucón, los que fueron georreferenciados y se presentan a continuación.

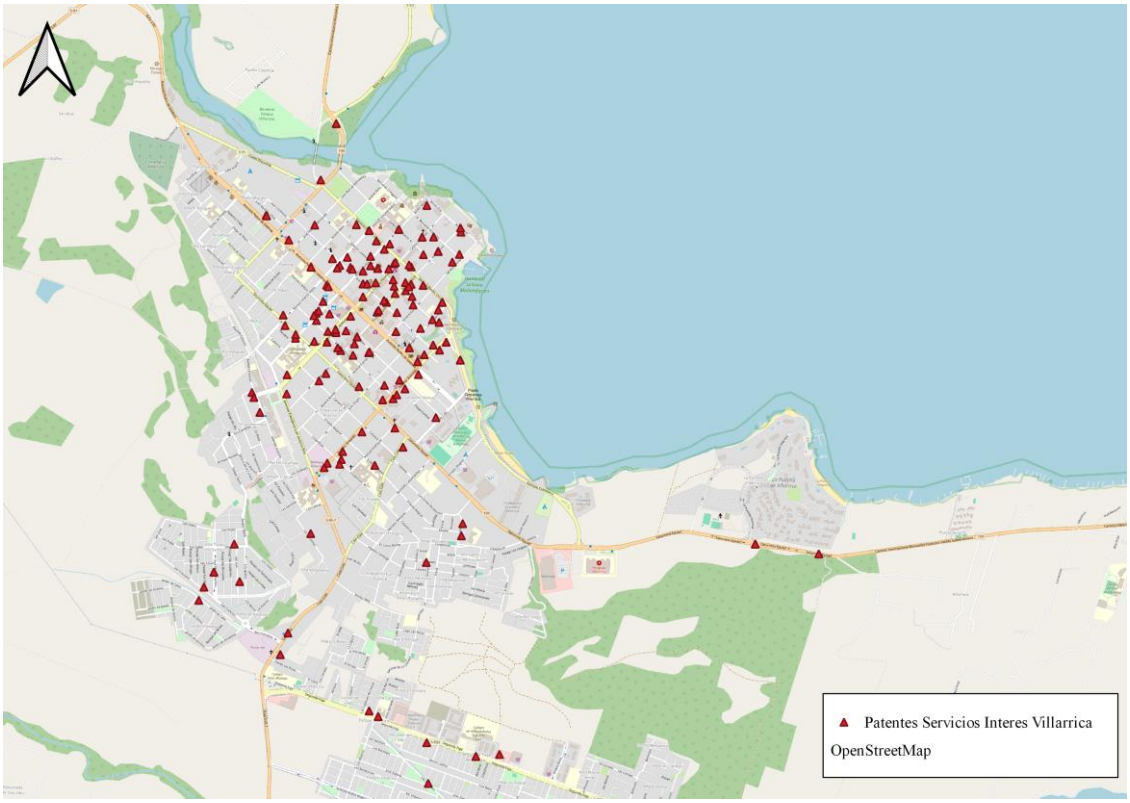


Ilustración 4: Establecimientos de interés Villarrica (Creación propia, Fuente: Patentes Comerciales Municipalidad de Villarrica, 2025)

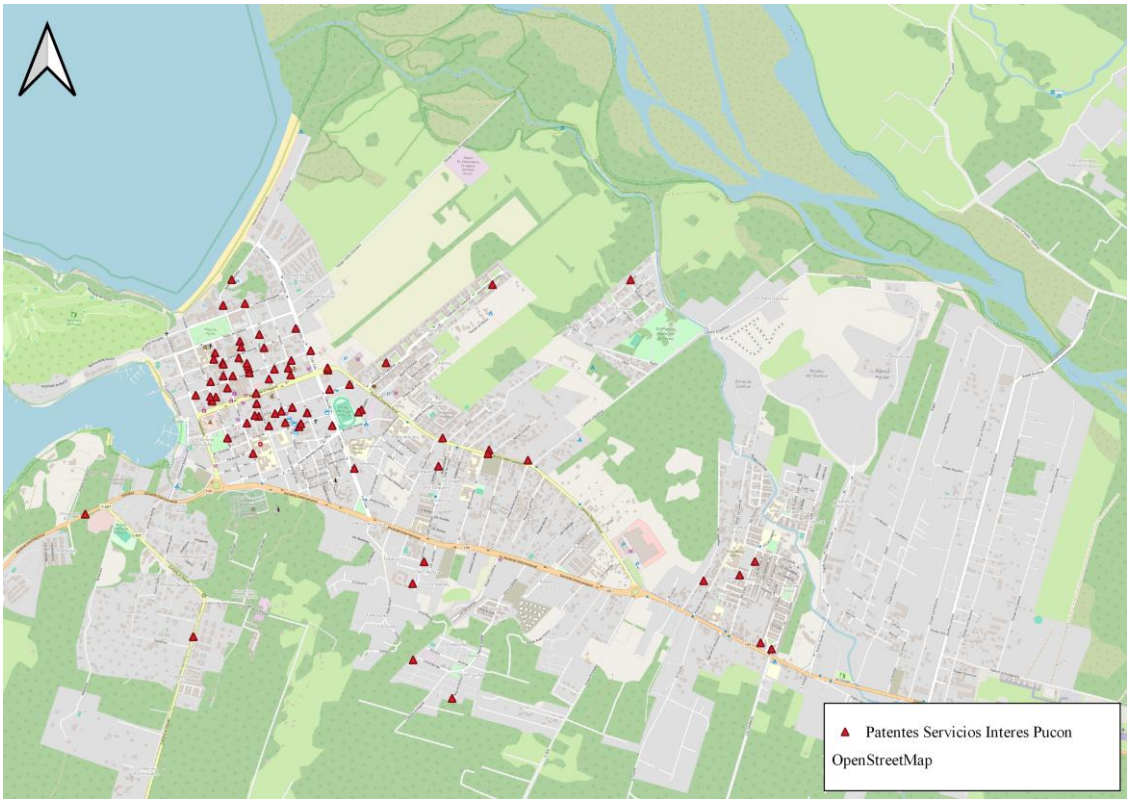


Ilustración 5: Establecimientos de interés Pucón (Creación propia, Fuente: Patentes Comerciales Municipalidad de Pucón, 2022)

El levantamiento geoespacial de los establecimientos gastronómicos en las comunas de Pucón y Villarrica evidencia una marcada concentración de estos en los sectores céntricos, coincidentes con las principales áreas de desarrollo turístico y comercial. Esta distribución se relaciona con la estructura urbana de ambas comunas, configurada en función del turismo como principal actividad económica local.

Esta estructura implica una mayor densificación de conexiones al sistema de alcantarillado en áreas acotadas, lo que puede incrementar la carga contaminante en determinados tramos de la red y, con ello, afectar potencialmente su capacidad operacional.

5.3 Sistemas de alcantarillado y control de descargas

La disposición de las redes de alcantarillado de aguas servidas presenta una limitación para el muestreo directo, ya que las muestras obtenidas en las cámaras de inspección estarán inevitablemente condicionadas por los aportes provenientes de todos los usuarios ubicados aguas arriba del punto de control. Por esto, se debe verificar cómo se drenan las aguas de descarte, a través de las distintas subcuencas de cada comuna.

La cartografía de operación facilitada por Aguas Araucanía S.A. permitió identificar que, en la comuna de Villarrica, los establecimientos gastronómicos se agrupan principalmente en las subcuencas PG18, PG22 y PGU2, las que conducen sus descargas hacia la Planta Elevadora de Aguas Servidas (en adelante PEAS) San Martín. Si bien existen otras subcuencas con presencia aislada de este tipo de clientes, el estudio se centró en aquellas donde la actividad gastronómica presenta una mayor densidad y, por tanto, un mayor potencial de impacto sobre el sistema



Ilustración 6: Subcuencas Aguas Servidas Villarrica (Fuente: Aguas Araucanía S.A., 2025)

En la comuna de Pucón, por su parte, los clientes de interés se concentran principalmente en las subcuencas N2, N3, N4 y N22. Las primeras tres subcuencas descargan hacia la PEAS Costanera, mientras que la subcuenca N22 lo hace hacia la PEAS Colo Colo.

En conjunto, estas áreas concentran la mayor carga provenientes de actividades gastronómicas, mientras que las subcuencas adyacentes, de carácter predominantemente residencial, aportan flujos que modifican la composición de las muestras que se quieren evaluar. Por aquello, los puntos de confluencia entre subcuencas se reconocen como sectores estratégicos para el monitoreo, al permitir evaluar la recepción de las descargas desde aguas arriba.



Ilustración 7: Subcuencas Aguas Servidas Pucón (Fuente: Aguas Araucanía S.A., 2025)

Las redes de alcantarillado de ambos municipios están conformadas principalmente por tuberías de asbesto-cemento y PVC, mientras que el HDPE ha sido el material adoptado en los procesos de reposición. Ambas comunas cuentan con cámaras de inspección circulares, la mayor parte de diámetro 1,30 metros, estándar para tuberías de hasta 500 milímetros de diámetro, ubicadas en los nodos de inicio y término de cada tramo, lo que facilita el mantenimiento y monitoreo de la red.

En Villarrica, la PTAS Villarrica es la encargada del tratamiento de las aguas de descarte de la comunidad, la que tiene como cuerpo receptor el río Toltén, mientras que en Pucón, para esta misma tarea se cuenta con la PTAS Pucón que descarga hacia el río Claro, que a su vez tributa al lago Villarrica.

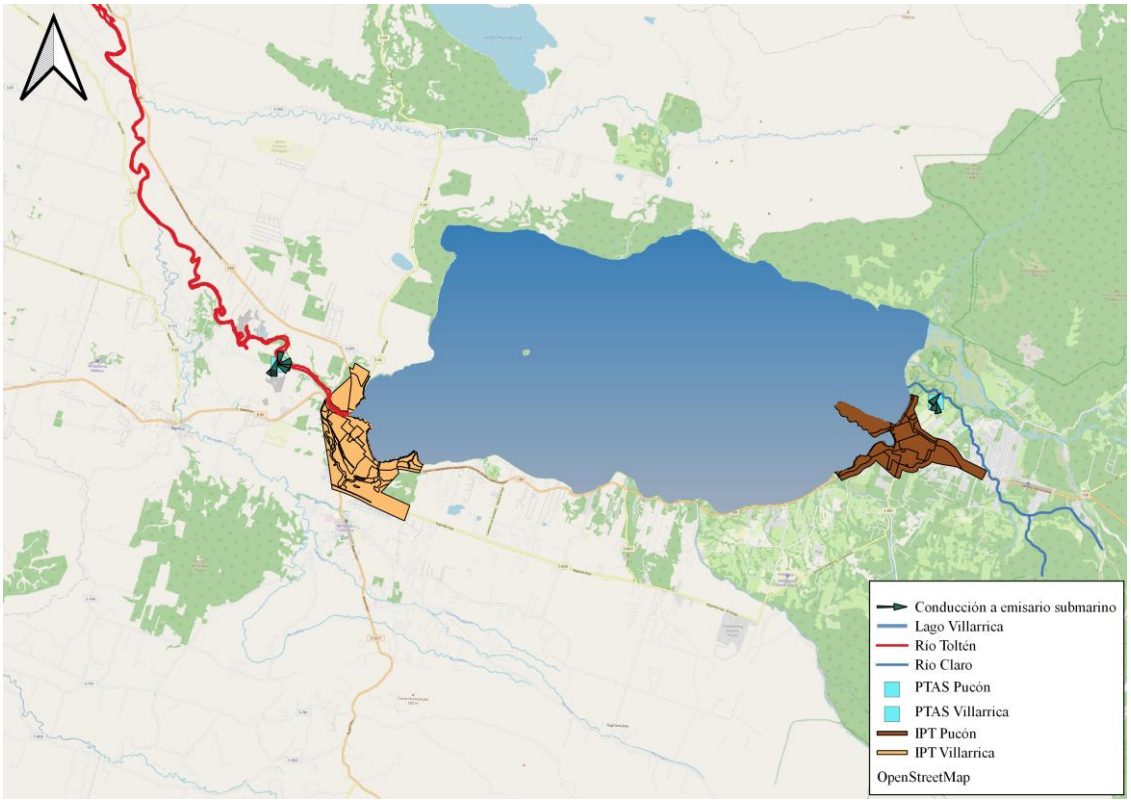


Ilustración 8: Planificación territorial comunas de Villarrica y Pucón (Creación propia, Fuente: BCN, 2019; MINVU, 2021)

En definitiva, del análisis de la información provista por Aguas Araucanía S.A., se ha decidido trabajar con los sistemas de alcantarillado de Villarrica y Pucón, trabajando sobre las subcuencas céntricas, que concentran los establecimientos del giro de interés.

Las siguientes ilustraciones corresponden a extractos de las redes de ambas comunas, de los sectores referidos.



Ilustración 9: Extracto red de Alcantarillado Villarrica (Creación propia, Fuente: Aguas Araucanía S.A., 2025)

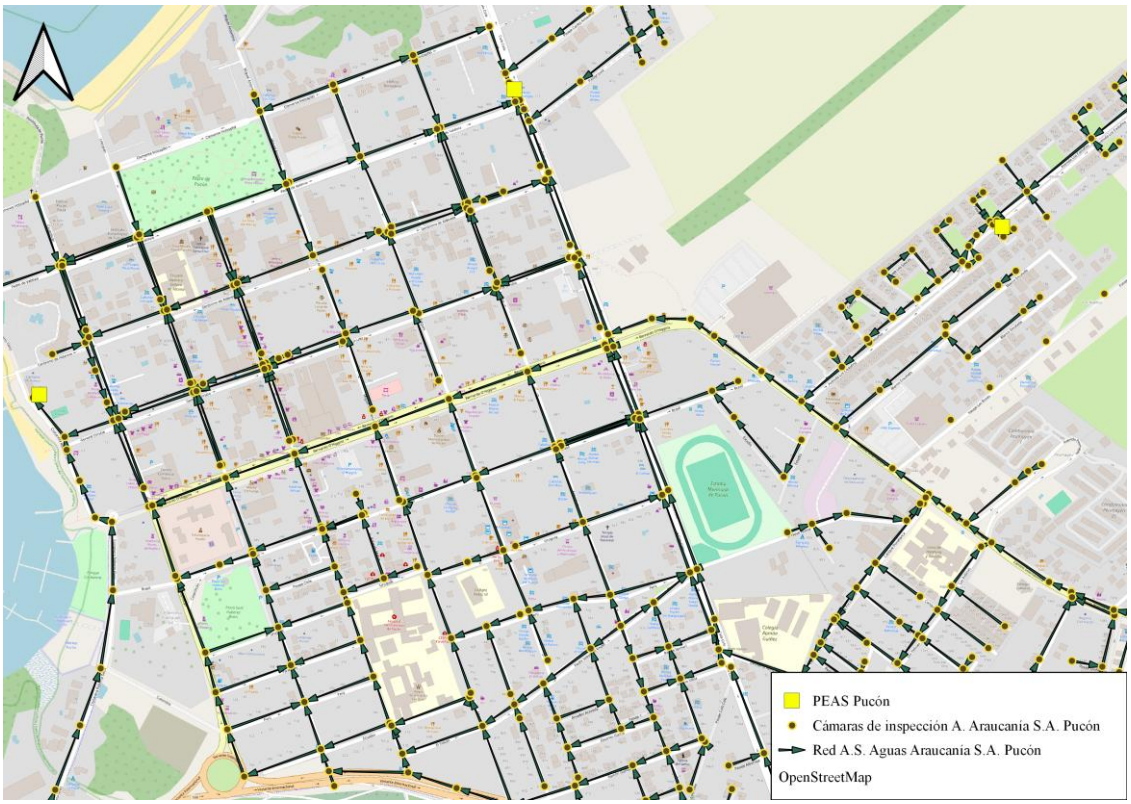


Ilustración 10: Extracto red de Alcantarillado Pucón (Creación propia, Fuente: Aguas Araucanía S.A., 2025).

6 Diseño metodología de monitoreo

6.1 Caracterización de los clientes comerciales

Para complementar la base de datos de clientes de Aguas Araucanía S.A. que caracteriza a los usuarios por tipo de cliente (residencial, comercial, industrial, entre otros), pero sin identificar el rubro para los que cuentan con actividad comercial, se decidió implementar un procedimiento de asociación espacial por proximidad, con el catastro de patentes comerciales suministradas por los municipios. Así se logra dotar a los establecimientos de interés de información operativa relevante, como lo es el volumen de consumo de agua potable, el que la SISS permite considerar como el volumen descargado y, el giro comercial registrado.

Para asegurar la calidad del emparejamiento, se estableció un umbral máximo de distancia de 30 metros entre cada patente comercial georreferenciada y el cliente de la base de datos de la prestadora del servicio sanitario. Este valor fue definido considerando la concentración territorial y la posible imprecisión en las coordenadas geográficas de ambos sistemas de origen. De este modo, se garantizó que la conexión sea óptima y exclusiva, es decir que cada patente comercial se vincule al usuario más próximo, evitando repeticiones, asociaciones múltiples ni emparejamientos forzados.

6.2 Ponderación por rubro

Con el objetivo de representar de manera relativa su carga contaminante esperada en función del tipo de cocina, se optó por realizar una ponderación basada en el giro comercial del local.

Como primera referencia, se analizó el levantamiento hecho por la empresa estadounidense SC Jetting (2025), especializada en mantenimiento industrial de desagües. En su publicación "How Often Should Restaurants Clean Their Grease Traps? A Complete Maintenance Guide", se indica que los establecimientos de comida rápida, los asadores y establecimientos especializados en frituras generan significativamente mayores volúmenes de grasas en comparación con otras instalaciones, como cafeterías, panaderías o restaurantes saludables.

Adicionalmente, en el capítulo "Grease Interceptors", perteneciente al manual de diseño de la American Society of Plumbing Engineers (ASPE, 2016), se aborda el dimensionamiento de interceptores de grasas para cocinas comerciales. Esta publicación incluye una tabla que detalla la producción estimada de grasas por tipo de restaurante.

Tabla 4: Valores de Producción de Grasa en Restaurantes (Fuente: Adaptado de American Society of Plumbing Engineers, 2016)

Tipo de Restaurante	Valores de Producción de grasa [g/comida]	Ejemplos
Productor bajo de grasa	2,27 sin lavado de vajilla 2,95 con lavado de vajilla	Cafetería escolar, carnicería de supermercado, buffet de desayuno de hotel, tienda de sándwiches, sushi.
Productor medio de grasa	11,34 sin lavado de vajilla 14,74 con lavado de vajilla	Cafetería, pastelería, tienda de conveniencia, fiambrería, cocina griega, india, japonesa, coreana, tailandesa, vietnamita.
Productor alto de grasa	15,88 sin lavado de vajilla 20,64 con lavado de vajilla	Restaurante familiar de servicio completo, hamburguesería (comida rápida), bar y parrilla de hamburguesas, cocina alemana, italiana, comida rápida mexicana.
	26,31 sin lavado de vajilla	

Productor muy alto de grasa	34,02 con lavado de vajilla	Restaurante de parrilladas, pollo frito (comida rápida), restaurante mexicano de servicio completo, Steakhouse, comida china y hawaiana.

Sin embargo, la complejidad de acceder a la información operativa de cada establecimiento representa una limitante para la caracterización de los efluentes. Ante esto, se adoptó un enfoque heurístico, el que permite la toma de decisiones en contextos de incertidumbre basado en la experiencia y el pensamiento crítico. Al ser un enfoque de carácter empírico, no apunta a una solución óptima, pero sí aceptable en la práctica, estando diseñado para ser calibrado progresivamente.

Basándose en lo expuesto por SC Jetting (2025) y ASPE (2016), a cada establecimiento gastronómico registrado se le asignó un peso relativo, en función de la potencialidad de incumplir con la normativa nacional producto de su giro comercial.

Los distintos giros comerciales fueron agrupados en rubros comunes. En aquellos casos donde un establecimiento registraba más de un giro en su patente comercial, se consideró la suma de los puntajes asignados a cada rubro declarado, resultando en la siguiente ponderación.

Tabla 5: Ponderación Asignada por Rubro (Creación propia)

Rubro	Giros Comerciales	Puntaje Asignado
Comida rápida	'Comida rápida'; 'Fritas'; 'Fritura'; 'Frito'; 'Papas fritas'	10
Restaurante	'Restaurante'; 'Restaurant'; 'Restaurantes'	8
Sandwichería	'Sandwicheria'	6
Cafetería	'Cafetería'; 'Tetería'; 'Salones de té'; 'Infusiones'	3
Panadería	'Panadería'; 'Pastelería'	6
Comida al paso	'Comida al paso'; 'Consumo al paso'; 'Comidas para llevar'; 'Comidas al paso'	7
Fuente de soda	'Fuente de soda'	8
Elaboración de platos de alimento	'Elaboración de platos de alimento'; 'Elaboración de platos preparados'; 'Venta de platos preparados'; 'Venta de colaciones', 'Local de elaboración de alimentos'	5

Estos valores permiten caracterizar los efluentes de los distintos establecimientos gastronómicos en la red a pesar del desconocimiento de su funcionamiento y manejo de residuos y se espera que puedan ser calibrados a medida que se adquiera una mayor experiencia en su implementación.

6.3 Índice de impacto de los usuarios

Por medio de la información de consumo registrada por la empresa sanitaria y el puntaje asignado producto de su giro comercial, se desarrolló un índice de impacto por usuario. Esto permite estimar el nivel de riesgo relativo a las descargas del cliente, y así ranquear a los constituyentes desde más a menos riesgoso para la red. La premisa de este índice es que el consumo de agua se correlaciona con el volumen de descarga y el tipo de actividad con el nivel de carga contaminante.

Dado que no es factible realizar censos permanentes a cada local registrado en la red, para caracterizar su funcionamiento, se considera el volumen de consumo como una medida representativa de nivel de operación.

Con respecto al nivel de afectación del efluente producto del rubro comercial, Chu y Hsu (1999) señalan que los restaurantes de comida rápida típicamente producen bajos volúmenes de descarga, pero con una elevada carga contaminante de aceites y grasas debido a sus actividades diarias de cocina. Por ello, en esta memoria se optó por asignar un peso significativo al factor del giro comercial.

El tamaño de la cocina y el volumen de clientes se correlacionan directamente con la producción de residuos líquidos descargados (SC Jetting, 2025). En consecuencia, los establecimientos concurridos con cocinas grandes suelen necesitar servicios más frecuentes en sus trampas de grasas. Además, se advierte que, a medida que se prepara más comida en restaurantes grandes, el incremento en el uso de agua no es suficiente para diluir la carga másica de aceites y grasas generada por el procesamiento de alimentos (Chu & Hsu, 1999).

En consecuencia, se plantea construir un índice de impacto para los clientes gastronómicos conectados a la red de alcantarillado, con el objetivo de integrar los factores que caracterizan este tipo de efluente, como lo son: (i) el volumen de descarga y (ii) el giro comercial asociado.

Dada la naturaleza de ambos factores que determinan el índice de impacto, siendo uno una medición cuantitativa del volumen consumido y el otro una clasificación conceptual basada en el giro comercial, se hace necesario normalizar ambos parámetros para llevarlos a un rango común entre 0 y 1, para así poder combinarlos sin que exista un dominio por parte de alguno.

Por otra parte, considerando la gran variabilidad de consumo de agua potable por parte de los usuarios, se decidió aplicar una transformación logarítmica con el fin de limitar el dominio de los grandes consumidores, y así considerar el aporte realizado por clientes con menor escala operativa.

La fórmula resultante es la siguiente:

$$II_C = 0{,}4 \log(C_n) + 0{,}6P_a \tag{6.1}$$

- II_C = Índice de impacto cliente
- C_n = Consumo cliente normalizado
- P_a = Puntaje asignado por rubro patente comercial municipal cliente normalizado

Esta formulación inicial podrá calibrarse en función de los antecedentes y conocimientos que se adquieran en la aplicación práctica de esta metodología.

6.4 Criterios de priorización de monitoreo

El índice propuesto busca la identificación de los clientes que tienen mayor probabilidad de incumplir el DS 609 y generar dificultades operativas, en función de su potencial aporte a la red de alcantarillado. De esta forma, se pueden considerar dos opciones de monitoreo.

La primera alternativa consiste en medir directamente en los tramos de la red donde descargan usuarios, que de forma individual presenten un riesgo de incumplimiento elevado, y la segunda considera el monitoreo en segmentos que producto del aporte combinado de los contribuyentes se transformen en tramos críticos.

Para comprender la acumulación de aceites y grasas en las redes de alcantarillado municipales, Mattsson et al. (2014) realizaron encuestas en Suecia y Noruega a ingenieros sanitarios, quienes indicaron que las

zonas con mayor concentración de descargas provenientes de restaurantes o locales de comida presentan mayor incidencia de problemas en la red producto de la concentración de estos contaminantes.

Por ello y, en concordancia con lo registrado por Mattsson et al. (2014) este estudio busca identificar las tuberías con mayor riesgo de presentar inconvenientes operacionales, mediante mapas de calor que permitan visualizar los tramos donde optimizar la ubicación e instalación de los equipos de monitoreo.

6.5 Protocolo de muestreo en terreno

Debido a que cada tubería recibe el afluente de los usuarios ubicados aguas arriba, además del aporte directo de los clientes conectados a ella, se propone implementar una metodología BACI (Before/After-Control/Impact) para las campañas de monitoreo.

Esto plantea que independientemente de la forma, se debe realizar la recolección de muestras en puntos de control ubicados antes y después del impacto. En este contexto, los puntos de control corresponden a las cámaras de inspección dispuestas en la red y el impacto está representado por el aporte de los contribuyentes.

Recolectadas las muestras desde ambos extremos de la tubería, se debe considerar el factor del efluente aportado desde aguas arriba mencionado. Para abordar esta condición, se plantea aplicar un balance másico entre las mediciones obtenidas, permitiendo aislar y cuantificar la carga contaminante neta de los usuarios ubicados en el tramo monitoreado.

$$C_t = \frac{(Q_{Ab} \cdot C_{Ab}) - (Q_{Ar} \cdot C_{Ar})}{Q_{Ab} - Q_{Ar}} \tag{6.2}$$

- C_t = Carga contaminante tubería de interés
- Q_{Ab} = Caudal medido cámara aguas abajo
- Q_{Ar} = Caudal medido cámara aguas arriba
- C_{Ab} = Carga contaminante medida cámara aguas abajo
- C_{Ar} = Carga contaminante medida cámara aguas arriba

7 Implementación metodología en la región de La Araucanía

Con el plan diseñado, se procedió a su aplicación en las comunas de Villarrica y Pucón, que concentran la mayor cantidad de establecimientos con giro gastronómico en la región.

7.1 Levantamiento y georreferenciación de clientes gastronómicos

Mediante una función programada bajo los criterios descritos, se asociaron espacialmente los clientes de la base de datos de la empresa sanitaria con las patentes comerciales municipales en ambas localidades.



Ilustración 11: Asociación espacial por proximidad cliente Aguas Araucanía S.A. y patentes comerciales para ambos municipios (Creación propia, Fuente: Aguas Araucanía S.A., 2025; Patentes Comerciales Municipalidad de Villarrica, 2025; Patentes Comerciales Municipalidad de Pucón, 2022)

Este procedimiento permitió asociar el 74,3% del total de las patentes comerciales registradas en Villarrica y el 64,9% en Pucón. No obstante, dentro de las subcuencas priorizadas para este estudio, la correspondencia alcanzó el 100% de los establecimientos gastronómicos identificados. Las patentes no asociadas se emplazan principalmente a locales ubicados en sectores periféricos correspondientes a zonas rurales, donde la georreferenciación presenta limitaciones derivadas de direcciones no estandarizadas, loteos irregulares u otras condiciones que dificultan la precisión en la localización de los clientes.

7.2 Cálculo del indicador de impacto y mapas de calor

La cartografía permite representar espacialmente la influencia de los establecimientos gastronómicos sobre las redes de alcantarillado de Villarrica y Pucón, integrando datos de patentes municipales con la cartografía operacional de la empresa sanitaria Aguas Araucanía S.A. A partir de esta información, y el cálculo del índice de impacto por usuario, se procedió a la asignación espacial de estos aportes sobre los tramos de la red de alcantarillado. Para ello, se identificaron las tuberías a la que se encuentra conectado cada cliente gastronómico y se calculó, para cada tubería, la sumatoria de los aportes de todos sus usuarios enlazados.

El resultado de este proceso es un mapa de calor donde cada segmento de alcantarillado está coloreado en función del nivel de impacto acumulado. Los tramos con mayor carga se visualizan con colores más intensos, resaltando así las zonas con mayor potencial a presentar problemas operativos.

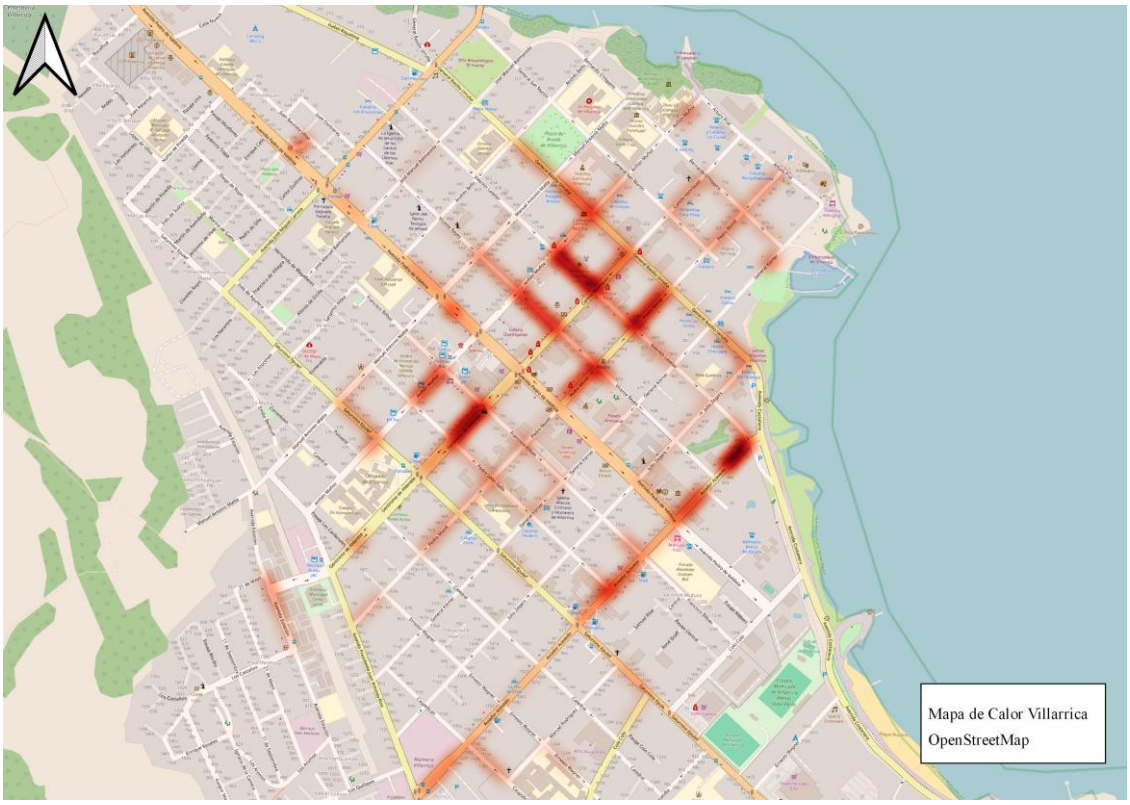


Ilustración 12: Mapa de calor tuberías con impacto gastronómico Villarrica (Creación propia)

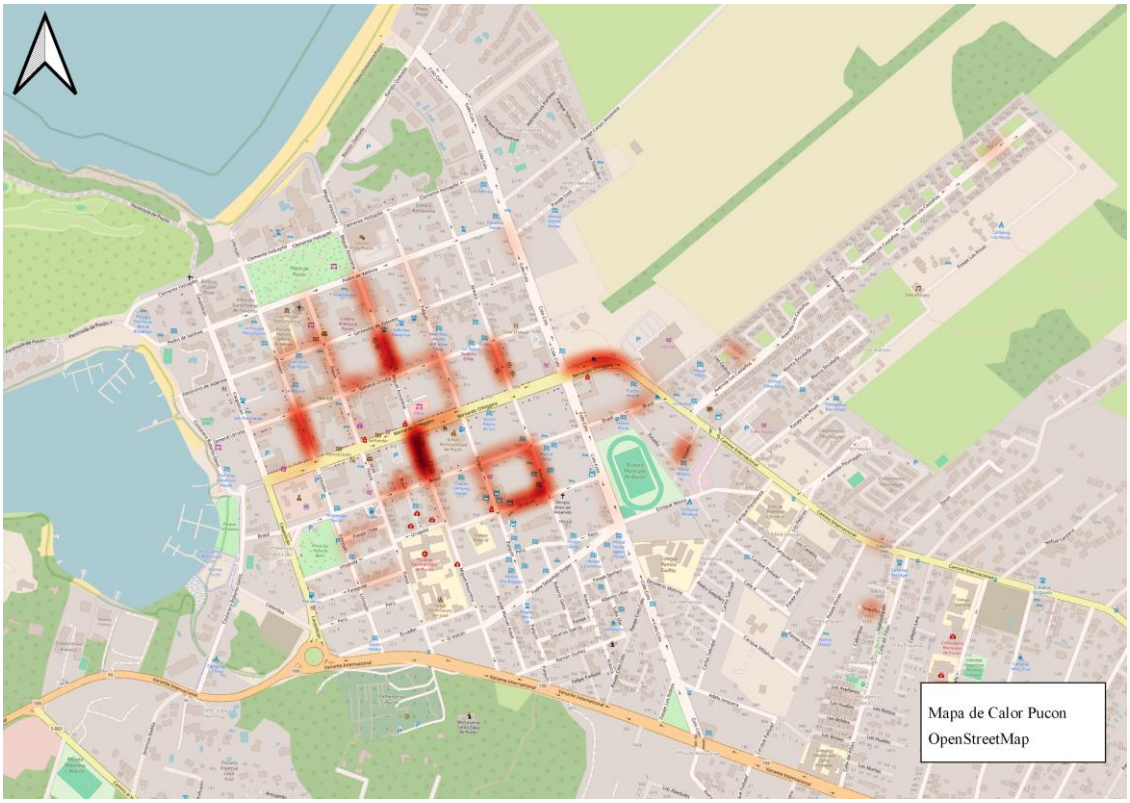


Ilustración 13: Mapa de calor tuberías con impacto gastronómico Pucón (Creación propia)

En términos de gestión sanitaria, la cartografía de impacto constituye una herramienta práctica que traduce información dispersa en un diagnóstico territorial. Su aplicación facilita la planificación de campañas de muestreo y la priorización de acciones preventivas sobre los tramos con mayor riesgo operativo. Además, ofrece un soporte visual que permite comunicar de manera clara las zonas de la red más sensibles a la acumulación de contaminantes, fortaleciendo la coordinación entre las distintas áreas de la empresa sanitaria.

7.3 Identificación puntos de control

La generación de los mapas de calor permitió determinar las cámaras de inspección que la empresa sanitaria debería monitorear. Como parte del análisis, se incorporaron las cámaras ubicadas en los tramos donde las subcuencas priorizadas reciben los aportes desde aguas arriba, con el fin de comprender cómo estos flujos inciden en la calidad del efluente que circula hacia los sectores de interés.

El monitoreo de los segmentos identificados por los mapas de calor representa un costo directo para la empresa sanitaria, ya que en este primer control no se tiene certeza de él o los usuarios que están generando los efluentes, pero es una herramienta para acercarse a los clientes sospechosos y realizar un control directo de sus descargas, optimizando los recursos con los que se cuenta.

Del resultado de la aplicación de la metodología, se identificaron los siguientes puntos para monitorear las aguas de la red de alcantarillado:

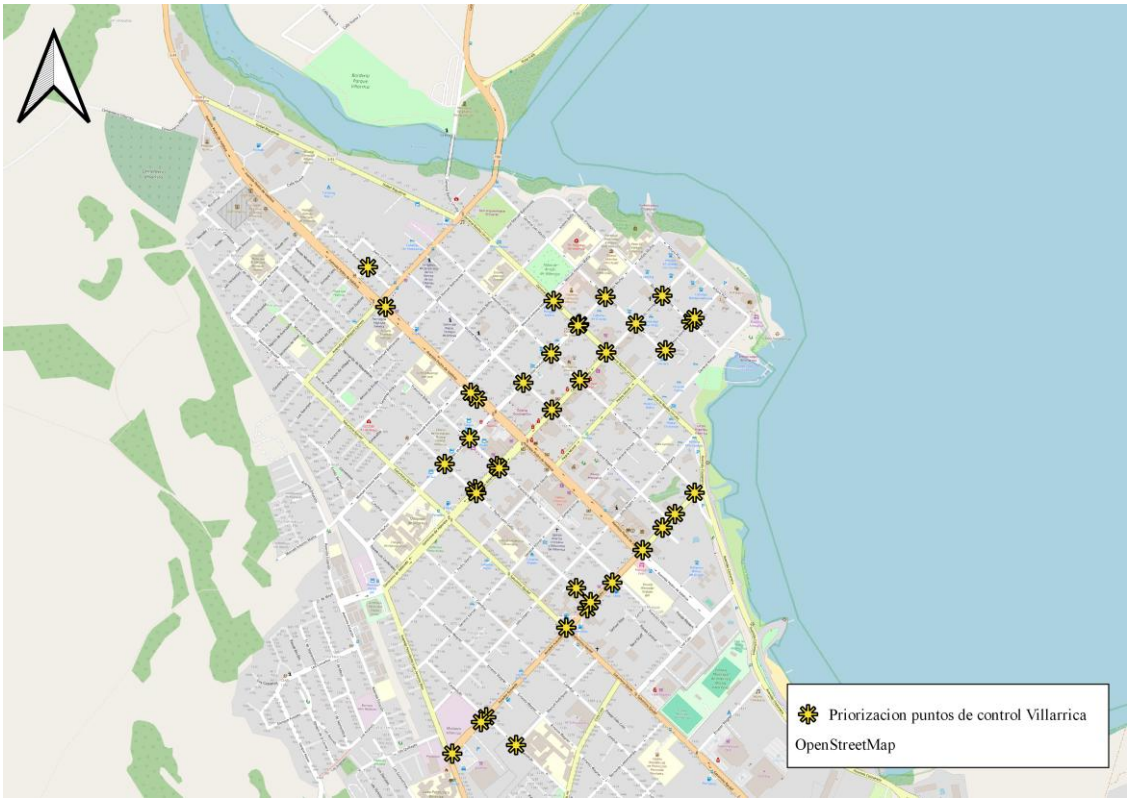


Ilustración 14: Puntos de control prioritarios Villarrica (Creación propia, Fuente: Aguas Araucanía S.A., 2025)



Ilustración 15: Puntos de control prioritarios Pucón (Creación propia, Fuente: Aguas Araucanía S.A., 2025)

Ante la verificación de un incumplimiento de los parámetros del DS 609 en los resultados de monitoreo de un tramo, se iniciará un procedimiento de calificación dirigido a cada cliente gastronómico que vierta efluentes a esa tubería.

El artículo 44 de la Ley General de Servicios Sanitarios DFL N382/88 señala que el usuario deberá permitir el acceso al inmueble del personal del prestador del servicio sanitario, identificado como tal, para el ejercicio de las funciones que dicen relación con la prestación de los servicios.

Por su parte el artículo 45 de la Ley General de Servicios Sanitarios DFL N382/88 señala que la fiscalización del cumplimiento de lo dispuesto para las descargas a la red de alcantarillado será efectuada por el prestador del servicio de recolección de aguas servidas y su contravención lo faculta para suspender la prestación del servicio, sin perjuicio de los cobros por las reparaciones de los daños y desperfectos causados en las instalaciones.

7.4 Visita a Aguas Araucanía S.A.

Con fecha 30 de julio de 2025, se visitaron las instalaciones de la empresa Aguas Araucanía S.A. para evaluar en terreno los diferentes aspectos técnicos a considerar en la implementación de la metodología planteada.

El laboratorio de muestras de la empresa señala que actualmente no se presentan de forma común muestras con elevados niveles de aceites y grasas. De hecho, los contaminantes que están afectando principalmente el funcionamiento del sistema de recolección y tratamientos de aguas servidas local son DBO5 y poder espumógeno.

7.4.1 Equipos disponibles empresa Aguas Araucanía S.A.

Para la medición de caudal la empresa cuenta con un instrumento tipo molinete, el pH y la temperatura se registran mediante un medidor multiparamétrico y la recolección de muestras se realiza con muestreadores automáticos.



Ilustración 16: Equipos de medición automática y medidor de caudal tipo molinete Aguas Araucanía S.A. (Fotografía tomada por el autor, 2025)

7.4.2 Campaña de muestreo en terreno

Durante la visita, se acompañó a la instalación de un equipo de muestreo automático en la cámara de inspección dispuesta para el centro comercial de la ciudad. Esta instancia permitió verificar en terreno las características de las cámaras de inspección municipales, el procedimiento de montaje del equipo y las condiciones necesarias para llevar a cabo un monitoreo representativo.

El equipo es programado para recolectar muestras de agua residual a intervalos de 1 hora, durante el período designado, en este caso un día. Por otro lado, el personal a cargo del procedimiento debe registrar en el mismo intervalo los valores de pH, temperatura y caudal del flujo que circula.



Ilustración 17: Medición caudal mediante medidor tipo Molinete y registro pH y temperatura mediante medidor multiparamétrico pertenecientes a Aguas Araucanía S.A. (Fotografía tomada por el autor, 2025)

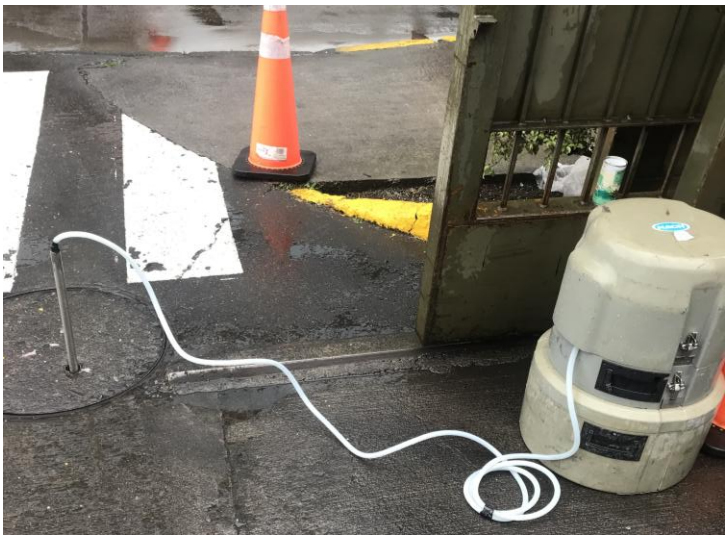


Ilustración 18: Equipo de monitoreo instalado en cámara de inspección municipal (Fotografía tomada por el autor, 2025)

7.5 Elección sistema de monitoreo

Si bien el costo de los equipos de muestreo automático representa una inversión considerable, sus ventajas operativas superan ampliamente a los métodos manuales. Estos dispositivos aseguran la toma de muestras al programar ciclos de recolección precisos y autónomos, posibilitando la recolección en lugares de difícil acceso para el personal, además de reducir los costos de operación de mano de obra y los errores humanos asociados al proceso.

Por esas razones, la empresa Aguas Araucanía S.A. cuenta con estos equipos, en donde los instalan durante campañas de 8, 12 o 24 horas, dependiendo del horario de funcionamiento de los clientes a monitorear, lo que facilita un control continuo que minimiza el riesgo de "acomodo" de la operación normal del usuario, ante eventos de fiscalización.

Por otro lado, durante la visita se comprobó la infiltración de aguas lluvia a la red de aguas servidas, validando la recomendación de realizar muestreos en verano. De hecho, en época estival, concurren dos factores, la disminución de las lluvias y el aumento en la operación de los establecimientos gastronómicos producto del turismo, lo que asegura la representatividad de los efluentes.

Asimismo, se sugiere considerar el riesgo de robos o daño de los equipos, el que se reduce al dejarlo con protecciones como cadenas, y con una supervisión continua o frecuente del personal a cargo de la operación.

8 Calificación, cargos y convenios

Con la aplicación de la metodología descrita, se podrá identificar clientes que son potenciales generadores de RILes, los que luego, con el control individual, podrán ser ratificados como tales.

En estos casos, la SISS desarrolló un Procedimiento de Control y Fiscalización de RILes (en adelante PROCOF), el que sirve como instrumento de control del DS 609. Los objetivos de este mecanismo son definir los criterios y procesos de fiscalización de una manera estandarizada y transparente para todas las partes involucradas, incorporando la experiencia de la SISS y la empresa sanitaria.

En la práctica, las opciones son que el usuario habilite un sistema de tratamiento individual, o que convenga con la empresa sanitaria, la recepción de cargas adicionales a las permitidas en el DS 609, fijando un convenio de descarga.

Se revisa los detalles de estas opciones en los subcapítulos siguientes.

8.1 Instrumentos de control

En lo establecido por el PROCOF, un cliente del tipo comercial puede ser calificado como Establecimiento Industrial (EI), si sus descargas presentan un nivel de contaminación superior a la carga media equivalente a la de una población de 100 o 200 personas; Simple Actividad Económica (SAE), si sus descargas contienen una carga contaminante inferior a la de una población de 100 o 200 personas. La variabilidad de la comparación poblacional depende del tamaño de la población abastecida por el servicio sanitario.

Para establecer si el usuario monitoreado corresponde a una SAE o EI, la empresa sanitaria procederá a efectuar un solo control directo a la descarga, en condiciones que garanticen confiabilidad de los resultados.

Si el resultado de la aplicación del control directo determina que el usuario califica como EI, el costo del monitoreo realizado será con cargo a este, y se contabilizará como uno más de los controles autorizados en el respectivo decreto tarifario. En caso contrario, el costo del control será asumido por la empresa sanitaria.

Este proceso de calificación se realiza solamente una vez, sin perjuicio de lo anterior, se puede recalificar un establecimiento con base en las siguientes condiciones.

- Solicitud del cliente (Cargo a este).
- El consumo de agua potable mensual de la SAE aumente un 50% en forma sostenida por un periodo de 3 meses.
- Si EI cumple con lo establecido por el DS 609 en 3 controles directos seguidos, podrá ser recalificada automáticamente como SAE.
- Si un establecimiento ocasiona problemas en el sistema de alcantarillado, ya sea en la etapa de recolección o tratamiento, la empresa sanitaria podrá recalificarlo con un control directo.

8.2 Cargos por caracterización de los efluentes

De acuerdo con la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), los establecimientos bajo el código 31111 correspondientes a restaurantes, deben considerar en el muestreo de sus efluentes la medición obligatoria de los parámetros DBO5, SST, SS, A y G, NH4+, Pt y PE.

La tarifa por parámetro a monitorear está establecida en el Decreto 274 del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. En él se fijan las fórmulas tarifarias de los servicios de producción y distribución de agua potable y recolección y disposición de aguas servidas para la empresa Aguas Araucanía S.A.

Tabla 6: Tarifa por parámetro (Fuente: Decreto 274)

Parámetro	$/Control
DBO5	$ 7.330
SST	$ 2.303
SS	$ 2.303
A y G	$ 7.330
NH4+	$ 6.492
Pt	$ 6.492
PE	$ 4.817

El tiempo de muestreo también tiene un precio diferenciado, y la duración de este se debe definir por las horas de funcionamiento del establecimiento en el día de control.

Tabla 7: Tarifa por duración de muestreo (Fuente: Decreto 274)

Periodo de muestreo	$/Control
Batch	$ 47.500
8 horas	$ 37.500
12 horas	$ 37.500
24 horas	$ 47.500

La empresa sanitaria también hace un cargo empresa por temas de administración.

Tabla 8: Cargo empresa por administración (Fuente: Decreto 274)

Costo Administrativo	$/Control
Cargo Empresa	$ 45.015

Con base en estos valores, la empresa sanitaria genera un cobro al usuario que se necesite caracterizar. Representantes de Aguas Araucanía S.A. señalaron que para clientes CIIU 31111 normalmente se realizan campañas de monitoreo de 8 horas. Esto resulta en un cargo igual a $119.582.

8.3 Convenios de descarga con clientes que califiquen como generadores de RILes

Los establecimientos que generen efluentes con una concentración media diaria superior a lo establecido en el DS 609, para los contaminantes DBO5, Pt, NH4+ y/o SST podrán solicitar autorización a la empresa a cargo del servicio sanitario para hacer estas descargas. En caso de que el prestador del servicio acceda, se deberá celebrar por escrito un convenio, que contendrá la mención del límite máximo de concentración admisible para cada uno de los contaminantes.

La detección de cargas contaminantes por encima de los límites normativos en parámetros no permisibles exigirá al usuario la aplicación inmediata de acciones correctivas, en caso contrario está expuesto a sanciones.

Aguas Araucanía S.A. ha suscrito convenios de descarga con diversos clientes generadores de RILes, incluyendo establecimientos gastronómicos. Estos contratos, de carácter personalizados, se elaboran en conformidad con lo dispuesto en el DS 609 y el inciso 2° del artículo 21 del DFL MOP N°70.

Para los clientes identificados como generadores de RILes, se determina la carga contaminante asociada a cada parámetro negociable. Con esta información, se establecen en el contrato los valores unitarios de cobro (expresados en [UF/kg] para cada parámetro) y la carga contaminante pactada entre la empresa sanitaria y el usuario. Asimismo, se fijan los límites máximos admisibles de descarga.

La fórmula establecida por Aguas Araucanía S.A. para el cálculo del cobro mensual asociado al convenio negociado se expresa de la siguiente manera.

$$\text{Monto a pagar} = VDM \cdot (FC_1 \cdot PU_1 + FC_2 \cdot PU_2 + FC_3 \cdot PU_3 + FC_4 \cdot PU_4) \quad (8.1)$$

- VDM: Volumen de Descarga Mensual de RILes al alcantarillado, expresado en [m3/mes]
- FC_n: Factor de Concentración de DBO5, SST, NH4+ y Pt, expresado en [kg/m3]
- PU_n: Precio Unitario neto por recolección y disposición de DBO5, SST, NH4+ y Pt, expresado en [UF/kg]

Donde, n_1 = DBO5; n_2 = SST; n_3 = NH4+; n_4 = Pt

El factor de Concentración se calcula de acuerdo con la siguiente expresión.

$$FC_n = \frac{\text{Concentración } \left[\frac{g}{m^3}\right] \text{ - Límite Permitido DS 609 } \left[\frac{g}{m^3}\right]}{1000} \quad (8.2)$$

Cuando la carga contaminante de uno o más parámetros supere el nivel negociado sin exceder el límite máximo admisible, se aplicará un cargo adicional equivalente al 50% del valor unitario pactado por kilogramo de exceso.

En caso de que el parámetro no esté siendo descargado en exceso, el costo por concepto de tratamiento de RILes será 0.

Por otra parte, el usuario deberá realizar muestreos de autocontrol para dar cumplimiento a la resolución de monitoreo, la frecuencia de estos se fija en el inciso 6.3 del DS 609, y establece que deben corresponder a aquellos días que por planificación de la industria, se viertan los residuos generados en máxima producción. Para establecimientos que descarguen aceites y grasas como lo son los locales gastronómicos, el número de días mínimos de autocontrol se señala a continuación.

Tabla 9: Muestreos de autocontrol RILes (Fuente: Inciso 6.3.1 punto a) DS 609)

Volumen de descarga de RIL	Unidad	Número mínimo de días de autocontrol
<100	[m^3/día]	1 cada 3 meses
100 - 200	[m^3/día]	1 mensual
200 – 1000	[m^3/día]	2 mensuales
>1000	[m^3/día]	4 mensuales

8.4 Propuesta para el control de RILes

Como alternativa teórica al marco regulatorio expuesto previamente, el que está centrado en la relación directa entre cada usuario y la empresa sanitaria, resulta relevante considerar el trabajo de Méndez y Méndez (2010). En este esquema, la autoridad regulatoria define una meta global de carga contaminante para un sistema de alcantarillado y emite una cantidad equivalente de permisos transables. Bajo este diseño, se genera un incentivo económico donde los agentes con menores costos de abatimiento reducen sus emisiones para vender sus excedentes a quienes enfrentan costos mayores (Méndez & Méndez, 2010).

Un aspecto central de esta propuesta, particularmente pertinente para el enfoque de esta memoria, es el mecanismo de fiscalización. Méndez y Méndez (2010) sugieren un sistema mixto de sanciones individuales y colectivas diseñado para resolver el problema de los altos costos de monitoreo. Este esquema busca desincentivar la contaminación fraudulenta sin requerir una vigilancia continua y exhaustiva sobre la totalidad de los usuarios, proponiendo una combinación de incentivos de mercado y penalizaciones estratégicas que puedan inducir al cumplimiento normativo de manera más eficiente que la fiscalización tradicional.

No obstante, la aplicabilidad de este modelo al contexto de comunas como Villarrica y Pucón debe observarse con cautela. Los autores señalan que para que el mercado de permisos funcione eficientemente, se requiere una concentración suficiente de participantes que asegure la liquidez del mercado. En el caso de estudio, la marcada estacionalidad turística genera una fluctuación significativa en la actividad de los generadores de RILes. Si bien durante el periodo estival podría alcanzarse una cantidad de participantes que justifique el intercambio de permisos, la reducción de la actividad durante el resto del año representa una limitante técnica para la estabilidad del mercado. Por tanto, aunque el modelo ofrece herramientas valiosas para la eficiencia de monitoreo, su implementación requerirá adaptaciones específicas para gestionar la variabilidad de la demanda.

9 Comentarios y conclusiones

Un programa de monitoreo adaptable al entorno donde se aplica utilizando información al alcance como datos de entrada, permite a la empresa sanitaria incorporar un enfoque preventivo para el cuidado sostenible de la red de alcantarillado y el medio ambiente, optimizando el uso de recursos por medio de la focalización de las fiscalizaciones hacia los sectores más propensos a presentar incumplimientos del DS 609.

La metodología propuesta presenta la creación de un índice que asocia la información de consumo con el giro comercial del usuario, permitiendo asignar un valor cuantitativo al impacto generado por su descarga. La utilidad de este enfoque radica en que su aplicación genera una cartografía de impacto, la que identifica y visualiza las tuberías más críticas del sistema de alcantarillado producto del aporte directo de los establecimientos, y ayuda a definir los puntos de control dentro de la red, idealmente de tipo automático, que permita un monitoreo continuo.

Se aplicó el plan propuesto en la región de La Araucanía, específicamente en las comunas de Villarrica y Pucón, debido al desarrollo comercial que han experimentado. En este contexto se verificó lo señalado por Mattsson et al. (2014), que apunta a que las tuberías con mayor concentración de descargas de este tipo tienen el mayor riesgo a presentar incidencias en su funcionamiento, aun cuando correspondan a descargas menores. El ejercicio determinó un listado de puntos de control en cada localidad, donde se debería priorizar la instalación de los sistemas de monitoreo con los que cuenta la empresa.

Cabe señalar que la metodología propuesta presenta limitaciones, dado que su validación ha sido principalmente teórica. Resulta indispensable efectuar campañas de terreno que permitan calibrar los valores que dan origen al índice de impacto y de este modo limitar la calificación de clientes que no resulten ser generadores de RILes.

En este sentido, el avance futuro de esta propuesta debería estar orientado a la aplicación práctica, estableciendo ajustes progresivos que puedan garantizar la identificación de los tramos más críticos para instalar los equipos de muestreo y reconocer a los generadores de RILes, minimizando costos operativos por procesos de calificación que resulten en cargos para la empresa sanitaria.

Desde el punto de vista práctico, las campañas se deberían realizar preferentemente en épocas estivales, con menos infiltración, con un control riguroso de las condiciones en terreno y la calibración progresiva de los puntajes asignados a las distintas actividades económicas emplazadas en las localidades.

Por último, es destacable que la metodología resulta transferible a distintas localidades y entornos, ya que su implementación se fundamenta en insumos comunes y accesibles a las empresas operadoras de los servicios de alcantarillado.

10 Referencias

Aguas Araucanía S.A. (2023). Memoria. https://www.aguasaraucania.cl/recursos-ara/Memorias/MEMORIA-ARA-6mayo.pdf

Aguas Araucanía S.A. (2025). Visor del sistema de Información Geográfica (GIS) [Base de datos].

American Society of Plumbing Engineers. (2016). Grease Interceptors. En *Plumbing Engineering Design Handbook*: Volume 4, Plumbing Components and Equipment (pp. 149-178)

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2019). *Mapas vectoriales* [Conjunto de datos geoespaciales]. Sistema Integrado de Información Territorial. https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales

Briones, N. (2019). SISS responsabiliza a Essal por espuma que sale de alcantarillas en el centro de Puerto Montt. *Biobio Chile*. https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-de-los-lagos/2019/07/23/siss-responsabiliza-a-essal-por-espuma-que-sale-de-alcantarillas-en-el-centro-de-puerto-montt.shtml

Cassidy, J., Silva, T., Semião, N., Ramalho, P., Santos, A., & Feliciano, J. (2020). Improving wastewater treatment plants operational efficiency and effectiveness through an integrated performance assessment system. *H2Open Journal*, 3(1), 276-287

Chu, W., & Hsu, W. (1999). Pollution source identification and waste loading reduction at Chinese fast food restaurants. Environment International, 25(1), 97-107

Decreto 274 Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Diario oficial de la república de Chile 13 de enero de 2011. Fija fórmulas tarifarias de los servicios de producción y distribución de agua potable y recolección y disposición de aguas servidas para la empresa Aguas Araucanía S.A. (Última modificación: 16 de septiembre de 2021)

Decreto con Fuerza de Ley 70 Ministerio de Obras Públicas. Diario oficial de la república de Chile 30 de diciembre de 1988. (Última modificación: 15 de febrero 2018)

Decreto con Fuerza de Ley 382 Ministerio de Obras Públicas. Diario oficial de la república de Chile 21 de junio de 1989. Ley general de servicios sanitarios. (Última modificación: 11 de julio de 2025)

Decreto Supremo N°609/1998 Ministerio de Obras Públicas. Diario oficial de la república de Chile 20 de julio de 1998. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a la descarga de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado. (Última modificación: 8 de septiembre de 2004)

Ducoste, J. J., Keener, K. M., Groninger, J. W., & Holt, L. M. (2008). Fats, roots, oils, and grease (FROG) in centralized and decentralized systems. *IWA Publishing*

Garza, O. A. (2004). Food service establishment wastewater characterization and management practice evaluation (Doctoral dissertation, Texas A & M University)

He, X., de los Reyes III, F. L., & Ducoste, J. J. (2017). A critical review of fat, oil, and grease (FOG) in sewer collection systems: Challenges and control. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 47(13), 1191-1217

Instituto Nacional de Estadísticas. (2025). Resultados Censo de Población y Vivienda 2024. https://censo2024.ine.gob.cl/resultados/

Khomami, N. (2018). Fatberg 'autopsy' reveals growing health threat to Londoners. *The Guardian*. https://www.theguardian.com/uk-news/2018/apr/24/fatberg-autopsy-reveals-growing-health-threat-londoners

Ley N°20285 Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Diario oficial de la república de Chile 20 de agosto de 2008. Sobre acceso a la información pública. (Última modificación 11 de julio de 2025)

Mattsson, J., Hedström, A., Viklander, M., & Blecken, G. T. (2014). Fat, oil, and grease accumulation in sewer systems: comprehensive survey of experiences of Scandinavian municipalities. *Journal of Environmental Engineering*, 140(3), 04014003

Medición de parámetros y análisis IN SITU - SEGEA Chile. (2020, 11 septiembre). Segea - Servicios Geológicos Ambientales. https://segea.cl/servicios/hidrogeologia/medicion-de-parametros/

Medición de velocidad de flujo de agua - SEGEA Chile. (2020, 11 septiembre). Segea - Servicios Geológicos Ambientales. https://segea.cl/servicios/hidrogeologia/medicion-de-velocidad-de-flujo/

Méndez, J. M., & Méndez, J. A. (2010). Un sistema de permisos negociables para el control de la contaminación de empresas con vertimientos a la red de alcantarillado. *Sociedad y Economía*, (18), 241-267

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2021). SM IPT Región de La Araucanía [Dashboard]. ArcGis Online. https://www.arcgis.com/apps/dashboards/63cd5629a0e248b2bcbb7e41a2f1d2f6

MUESTREADORES AUTOMÁTICOS ISCO - SimTech. (2023, 31 julio). Simtech. https://simtech.cl/areas-de-negocios/division-instrumentacion/muestreadores-automaticos/

Municipalidad de Villarrica. (2025). Nómina de patentes comerciales vigentes de la comuna de Villarrica [Base de datos]. Solicitud de transparencia N°MU339T0002954

Municipalidad de Pucón. (2022). Nómina de patentes comerciales: Segundo semestre 2022 [Base de datos]. https://municipalidadpucon.cl/oldweb/web2010/transparencia/LetraG/Patentes_Comerciales/2022/2do_semestre/Comerciales.pdf

SC Jetting. (2025). How often should restaurants clean their grease traps? A complete maintenance guide. https://scjetting.com/how-often-should-restaurants-clean-their-grease-traps-a-complete-maintenance-guide

Servicio de Impuestos Internos. (2025). Estadísticas de empresa por comuna y rubro económico [Base de datos]. https://www.sii.cl/sobre_el_sii/estadisticas_de_empresas.html

Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2005). Norma Chilena Oficial NCh411/10 Of2005: Muestreo de aguas residuales – Recolección y manejo de las muestras

11 Anexo

11.1 Costos equipos de monitoreo

Loa valores presentados a continuación corresponden a una síntesis de mercado y tienen carácter referencial.

Tabla 10: Equipos de muestreo condiciones en terreno (Creación propia)

Artefacto	Valor Unitario Mercado (Referencial)
Medidor multiparámetros	$ 10.200.000
Medidor de Caudal	$ 2.300.000

Tabla 11: Muestreadores automáticos disponibles en el mercado (Creación propia)

Muestreador	Tipo	Valor Unitario Mercado (Referencial)
Isco 6712	Secuencial/Compuesto	$ 7.700.000
Isco GLS	Compuesto	$ 7.200.000

Tabla 12: Equipos de muestreo manual (Creación propia)

Artefacto	Valor Unitario Mercado (Referencial)
Envases de polietileno alta densidad 1.5 [L]	$ 2.000
Probeta 250 [ml]	$ 10.000
Cooler 48 [L]	$ 55.000
Brazo articulado	$ 28.000