

**CAUDAL DE INFILTRACIÓN DE AGUAS A LAS REDES DE
ALCANTARILLADO: CASO ESSAL
LOCALIDADES DE PANGUIPULLI, LOS MUERMOS Y PUERTO VARAS.**

INFORME FINAL

1. Objetivos

El presente estudio tiene los siguientes objetivos, establecidos contractualmente por la Superintendencia de Servicios Sanitarios en los términos de referencia:

- Revisar la normativa y experiencia técnica, nacional o extranjera, en relación con el ingreso de aguas, diferentes de las aguas servidas domésticas, a los colectores de aguas servidas. Las aguas a las que se refiere el estudio pueden provenir de infiltración desde la napa, cuando esta se ubica por sobre un colector, por el ingreso de aguas lluvias a través de tapas de cámaras, sumideros en la vía pública o desde las viviendas

- Un segundo objetivo dice relación con la caracterización y cuantificación de los caudales que ingresan a una red de colectores, especialmente el caudal inevitable en las localidades en situación crítica, cuya evacuación, drenaje y disposición deberá ser asumido por la Empresa Sanitaria. En este caso se deberá realizar el balance oferta-demanda, tal que permita definir las obras que debería realizar la Empresa para cumplir con la normativa, y que debiesen ser incorporadas en su Plan de Desarrollo.

2. Introducción

La Empresa ESSAL S.A. ha señalado que los caudales de infiltración y de aguas lluvias que recibe en sus sistemas son significativos y que la infraestructura de recolección y de disposición de aguas servidas debiera dimensionarse con una capacidad mayor con el fin de absorber dicha demanda.

La Empresa considera además que las inversiones necesarias, para absorber parte de la infiltración, sean reconocidas en la empresa modelo, como un caudal de infiltración (napa y aguas lluvias), adicional al de aguas servidas domésticas, y que éste sea acorde a la situación que enfrentan.

Uno de los argumentos de la Empresa es que, desde las viviendas, se incorpora un volumen de infiltración, ya que sus instalaciones domiciliarias se ubican en terrenos saturados, y la red interior no es 100 % impermeable.

Así, la Empresa sostiene que, aun cuando se construyan las soluciones para las aguas lluvias (redes primarias y secundarias), continuarían ingresando a sus redes caudales de significativos.

Se hace necesario, por lo tanto, estudiar el problema, cuantificar el efecto en las tres localidades en estudio y extraer las conclusiones y recomendaciones que el caso amerita.

En el presente Informe se resume el estudio realizado. Además, se revisa el marco normativo, así como la bibliografía nacional e internacional disponible; se presenta la experiencia de algunas empresas nacionales y extranjeras de similares características a ESSAL S.A. y se presentan los resultados de dos campañas de mediciones de infiltración realizadas (tiempo seco y lluvioso). Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones

3. Definiciones.

En el presente Estudio se usará la terminología y simbología utilizada por la norma NCh 1105, la que se transcribe en letra cursiva. Además, se definirán otros términos clave para los fines del presente Estudio, tales como:

- **Aguas residuales:** *“aguas que se descargan después de haber sido usadas en un proceso, o producidas por éste, y que no tienen ningún valor inmediato para ese proceso”*
- **Aguas grises:** *“aguas residuales provenientes de tinajas y duchas, lavatorios, lavaplatos y otros similares”*
- **Aguas negras:** *“aguas residuales que contienen excretas”*
- **Aguas servidas o aguas servidas domésticas o aguas servidas estrictas:** *“aguas residuales que sólo contienen los desechos de una comunidad, compuestas por aguas grises y aguas negras”*
- **Alcantarillado:** *“tubería u otra construcción, generalmente subterránea, diseñada para conducir gravitacionalmente aguas servidas, y que pueden conducir otros tipos de agua, hacia una planta de tratamiento o cuerpo receptor”*
- **Red de alcantarillado separado:** *“sistema en el cual las aguas residuales y las aguas lluvias u otros tipos de agua son conducidos en alcantarillas separadas”*. Lo contrario es una **red de alcantarillado unitario o combinado**. Una red de alcantarillado se compone de:
 - **Empalme:** *“conexión física entre la unión domiciliaria de alcantarillado y las redes de recolección de aguas residuales”*
 - **Unión domiciliaria de alcantarillado (UD):** *“tramo de la red pública de recolección, comprendido desde el punto de empalme a la red de recolección, hasta la última cámara de inspección domiciliaria inclusive”*

- **Lateral:** *“Tubería secundaria que recibe descargas domiciliarias y no recibe efluentes de otra tubería”*
- **Cañería:** *“tubería secundaria que recibe descargas domiciliarias y una o más laterales”*
- **Colector:** *“tubería o canalización que forma parte de un sistema de alcantarillado que recibe una o más cañerías y que está destinado a recolectar y conducir aguas residuales u otras aguas”*
- **Interceptor:** *“canalización cerrada destinada a recolectar y conducir hacia un punto común las aguas residuales, provenientes de dos o más colectores”*
- **Emisario:** *“tubería, ducto o canalización que recibe agua efluente de toda una red de alcantarillado y la conduce hasta una planta de tratamiento o hasta un punto de descarga final; en general no recibe directamente uniones domiciliarias”*
- **Cámara de inspección:** *“cámara que permite la inspección y mantenimiento para la operación del sistema de alcantarillado”*
- **Área saneada:** *“superficie de influencia en que el agua escurre hacia algún tramo considerado”*
- **Área tributaria:** *“suma total o parcial de áreas saneadas”*. También la denominaremos **“cuenca aportante”** en el presente estudio.
- **Autoridad Competente:** se refiere a la autoridad legal y/o administrativamente responsable por la tuición de un servicio.
- **Infiltración:** agua de la napa freática que ingresa a los colectores a través de tuberías o uniones entre tubos defectuosas, de uniones domiciliarias o también a través de paredes o radier de cámaras de inspección.
- **Exfiltración:** agua que sale desde los colectores a través de tuberías o uniones defectuosas o también a través de paredes o radier de cámaras de inspección, cuando la napa freática está por debajo del colector.
- **Influjo o ingreso (inflow):** agua lluvia que ingresa a los colectores desde desagües de techos (bajadas de agua lluvia domésticas), drenaje de sótanos, drenaje de agua de enfriamiento (aire acondicionado), tapas de cámaras de inspección, conexiones ilegales, conexiones cruzadas (con agua potable o canales de regadío) y escurrimiento superficial
- **Residuos Industriales Líquidos (RILes):** aguas residuales provenientes de establecimientos comerciales e industriales con concentraciones de contaminantes que superan los límites establecidos por el DS 90 para el equivalente a 100 habitantes/día.
- **Sobrecarga de colector:** cuando un colector, que normalmente debe funcionar a napa libre, entra en presión por exceso de caudal o por alguna obstrucción.
- **Trazador:** sustancia que se agrega a un flujo de agua con el fin efectuar su seguimiento, tanto en su desplazamiento como en su concentración, con el fin de estudiar el comportamiento hidrodinámico o de proceso de un reactor (cuerpo de agua, cauce, estanque o unidad de proceso)

- **Dotación de consumo de agua potable (D):** se denomina así al consumo promedio anual de una persona al día y se expresa en (L/hab/día)
- **Consumo medio de agua potable:** corresponde al caudal promedio anual consumo por una población (P) determinada:

$$Q \text{ md AP (L/s)} = P \text{ (hab)} * D \text{ (L/hab/día)} / 86.400$$

- **Factor de capacidad (C):** *“es el coeficiente que corrige entre otros, la distribución de la población futura, los posibles cambios del uso del suelo y los hábitos de consumo. Su valor varía entre 1 y un valor mayor que 1. Si este valor es mayor que 1 debe ser debidamente justificado ante la Autoridad Competente”*
- **Factor o coeficiente de recuperación (R):** corresponde a la fracción del agua potable suministrada a una población que finalmente ingresa al alcantarillado. Por lo tanto, excluye el agua consumida (para bebida), agua utilizada para riego de jardines, lavado de patios, agua incorporada como humedad en la ropa recién lavada, etc. Se define como:

$$R = Q \text{ medio A.S.} / Q \text{ medio A.P.}$$

De acuerdo a la norma NCh 1105 “el coeficiente de recuperación está comprendido entre 0,7 y 1,0. El valor aplicado deber estar debidamente justificado por el proyectista”

- **Caudal medio de agua servida (Q md AS):** corresponde al promedio anual de agua servida producida por una población determinada. Conocido o estimado el “factor de recuperación”, se calcula como:

$$Q \text{ md AS} = R * Q \text{ md AP}$$

O bien:

$$Q \text{ md AS} = P * D * R * C / 86.400 \text{ (L/s)}$$

- **Coeficiente de gasto máximo (M):** ratio que corresponde al cociente entre el caudal máximo horario de aguas servidas y el medio de agua servida de una determinada población. El ratio máximo varía en función de la población, siendo mayor para poblaciones menores que en poblaciones mayores.

$$M = Q \text{ máx}_{hAS} / Q \text{ md AS}$$

De acuerdo con la norma NCh 1055, para poblaciones mayores a 1.000 habitantes, el valor de M se puede calcular con la fórmula de Harmon, o con *“otros coeficientes o factores debidamente justificados ante la Autoridad Competente”*. El coeficiente de Harmon se define como:

$$M = 1 + 14 / [4 + (P / 1.000)^{0,5}]$$

En el Capítulo 10 del presente estudio se presentan otros coeficientes de gasto máximo.

- **Caudal máximo de aguas servidas:** de acuerdo a lo anterior, conocido M, el caudal máximo horario se calcula como:

$$Q \text{ máx}_{hAS} = M * Q \text{ md AS}$$

La literatura anglosajona se refiere a la infiltración e ingreso como “infiltration and inflow” (I&I) y es reconocido como un problema mayor que afecta tanto a la capacidad de colectores (lo que redundaría en rebases de aguas contaminadas a la vía pública) y/o a la capacidad de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), las que en general están dimensionadas para tratar aguas servidas exclusivamente domiciliarias.

Como lo reconoce Franz (2007) la definición de I&I no es muy consistente. Las regulaciones legales alemanas y las de la Asociación Alemana de Aguas Servidas (DWA) no definen el concepto y utilizan la definición de DIN 4045: “*aguas extrañas consistentes de aguas subterráneas que se infiltran en los colectores, drenajes o aguas lluvias mal conectados como también aguas superficiales que fluyen hacia colectores*”. La norma europea DIN EN 752-1 sólo se refiere a “*descargas indeseadas al sistema de colectores*”.

Sin embargo, según Franz (2007), la definición de la EPA es la más usada a nivel internacional: “*agua que ingresa al sistema de alcantarillado desde el terreno, a través de tubos defectuosos, uniones entre tubos, conexiones o paredes de cámaras, como también agua que es descargada al alcantarillado desde bajadas de techos, drenaje de subterráneos y patios, drenaje de fundaciones, descargas de agua para enfriamiento en sistemas de aire acondicionado, drenaje de vertientes y zonas pantanosas, tapas de cámaras, conexiones cruzadas desde colectores de aguas lluvias o colectores combinados, aguas lluvias, escurrimientos superficiales, lavado de calles o drenajes*”.

4. Normativa aplicable

La normativa vigente abarca dos aspectos principales: marco legal y marco técnico/medio ambiental.

4.1. Marco legal

En Chile la normativa vigente establece una separación muy clara entre los colectores de aguas servidas urbanas y los de aguas lluvias. Ambos tipos de colectores están bajo la tuición de organismos totalmente diferentes: las empresas concesionarias sanitarias (privadas, salvo Maipú) y los Ministerios de Obras Públicas y el Ministerio de la Vivienda, a través de los SERVIU (servicios públicos). Las redes por lo tanto serán del tipo “separadas” y no “unitarias”, con la excepción de aquellas construidas antes de la formación de las empresas sanitarias.

La **Ley de aguas lluvias** (Ley 19.525 de 1997) establece que:

- i. MOP: planifica, diseña y construye colectores primarios,
- ii. MINVU (SERVIU): planifica, diseña y construye colectores secundarios

Las empresas sanitarias deben controlar la infiltración en sus redes, lo cual está pagado en la tarifa (colectores impermeables y excavación/construcción con agotamiento, cuando corresponde).

Las empresas sanitarias deben fiscalizar que las bajadas de ALL desde las viviendas no ingresan a las redes domiciliarias, aplicando el Art. 45 del DFL 382/88

La **Ley de agua lluvias** (19.525/1997) regula los sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias y en sus artículos más atinentes al presente estudio indica:

- Artículo 1º. El Estado velará porque en las ciudades y en los centros poblados existan sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias que permitan su fácil escurrimiento y disposición e impidan el daño que ellas puedan causar a las personas, a las viviendas y, en general, a la infraestructura urbana.

La planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la red primaria de sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias corresponderá al Ministerio de Obras Públicas.

La red secundaria estará a cargo del Ministerio de Vivienda y Urbanismo a quien le corresponderá, directamente, su planificación y estudio y, a través de los Servicios de Vivienda y Urbanización, la proyección, construcción, reparación y mantención de la misma.

La Dirección de Obras Hidráulicas y los Servicios de Vivienda y Urbanización podrán contratar la realización de las obras a que den lugar las disposiciones de esta ley, de acuerdo a los procedimientos establecidos en sus respectivas normas orgánicas, pudiendo optar a tales contratos las empresas de servicios sanitarios.

- Artículo 5º. Sustituyese el inciso primero del artículo 134 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones, por el siguiente: "Artículo 134.- Para urbanizar un terreno, el propietario del mismo deberá ejecutar, a su costa, el pavimento de las calles y pasajes, las plantaciones y obras de ornato, las instalaciones sanitarias y energéticas, con sus obras de alimentación y desagües de aguas servidas y de aguas lluvias, y las obras de defensa y de servicio del terreno."

Ley de Tarifas de los servicios sanitarios (DFL 70/1988) establece:

- Artículo 6.- Para determinar las tarifas que establece este Título, se calculará separadamente las correspondientes a las diversas etapas del servicio sanitario, esto es, producción de agua potable, distribución de agua potable, recolección de aguas servidas y disposición de aguas servidas.

Las tarifas se calcularán considerando los costos de los sistemas correspondientes a las diversas etapas del servicio sanitario, optimizando el uso de los recursos.

Se entenderá por sistema a aquellas instalaciones, fuentes o cuerpos receptores y demás elementos, factibles de interactuar, asociados a las diversas etapas del servicio sanitario, que debe considerarse como un todo para minimizar los costos de largo plazo de proveer el servicio sanitario.

La **Ley general de servicios sanitarios** (DFL 382/88)

- Artículo 45°. Los usuarios del servicio de alcantarillado de aguas servidas no podrán descargar a las redes del prestador sustancias que puedan dañar los sistemas de recolección o interferir en el proceso de tratamiento de las aguas servidas, ni aquellas que contravengan las normas vigentes sobre la calidad de los efluentes.

La fiscalización del cumplimiento de lo dispuesto en este artículo 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 la reparación de los daños y desperfectos causados en las instalaciones. Simultáneamente, comunicará esta medida a la entidad normativa y al Ministerio de Salud. Asimismo, el prestador del servicio de recolección de aguas servidas responderá pecuniariamente por los daños causados al prestador del servicio de disposición de aguas servidas, derivados del incumplimiento de lo dispuesto en los incisos anteriores.

Los sistemas de recolección y tratamiento de aguas servidas no podrán ser afectados por descargas no consideradas dentro de las condiciones de prestación autorizadas por la Superintendencia.

El DS 1199/1994 Reglamento de concesiones sanitarias de producción y distribución de aguas potable y de recolección y disposición de aguas servidas y de las normas sobre calidad de la atención a los usuarios de estos servicios.

- Artículo 95° Queda especialmente prohibido al usuario:

- Intervenir, modificar, manipular u obstaculizar en cualquier forma parte alguna de la red pública, la que se extiende hasta la llave de paso situada después del medidor de agua potable, aun cuando dicho dispositivo se encuentre al interior de la línea oficial de cierre del inmueble. Igual prohibición se aplicará respecto de la unión domiciliaria de alcantarillado, tramo del colector que va desde el empalme al colector público hasta la última cámara domiciliaria.
- Descargar en los sistemas de alcantarillado objetos sólidos de cualquier naturaleza o líquidos distintos de las aguas servidas domésticas, que no cumplan con la normativa de descarga a las redes públicas.
- Conectar los sistemas de aguas lluvias domiciliarias al sistema de alcantarillado o permitir el ingreso de las aguas lluvias a los colectores mediante construcción de sumideros, apertura de cámaras de inspección domiciliarias o públicas o cualquier otro método

El DS 1199/1994 **Reglamento de concesiones sanitarias** de producción y distribución de aguas potable y de recolección y disposición de aguas servidas y de las normas sobre calidad de la atención a los usuarios de estos servicios.

- Artículo 141° Dentro de su territorio operacional la concesionaria de servicios sanitarios estará obligada a otorgar la factibilidad de servicio, emitiendo el correspondiente certificado.

Podrá, también, otorgar certificados de factibilidad el único postulante a una concesión de servicio sanitario, con posterioridad al acto público establecido en el artículo 14° de la ley y condicionando tal factibilidad a la adjudicación definitiva de la concesión, previo informe favorable de la entidad normativa.

El plazo máximo para que las empresas de servicios sanitarios emitan los certificados de factibilidad, será de 20 días hábiles, el que podrá prorrogarse por 20 días más, en casos debidamente justificados.

4.2. Normativa técnica

La principal norma técnica nacional que regula el diseño de las redes de colectores de aguas servidas públicas es la norma NCh 1105 Of 2009: “Ingeniería sanitaria – alcantarillado de aguas residuales. Diseño y cálculo de redes”.

Otras normas chilenas de interés son:

NCh 2472.Of2000: “Aguas residuales – Plantas elevadoras – Especificaciones generales”

NCh 3371 Of 2017: “Instalaciones domiciliarias de alcantarillado – Diseño, cálculo y requisitos”.

NCh 2702. Of 2002: “Instalaciones de alcantarillado – Cámaras de inspección domiciliarias – Requisitos generales”

NCh 1632. Of80: “Cámaras de inspección prefabricadas para redes públicas de alcantarillado -. Requisitos”

NCh 2593. Of2001: “Uniones domiciliarias de alcantarillado en tubos de hormigón simple – Requisitos”

DS 90 (2000), “Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales”, Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Chile.

DS 46 (2002), “Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas”, Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Chile.

DS 609 (1998), “Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado”. Ministerio de Obras Públicas, Chile.

DS 1 (2015), “Protección de las aguas continentales. La Cuenca del río Valdivia”, Ministerio del Medio Ambiente, Chile: norma secundaria de calidad ambiental

5. Caracterización de las aguas domésticas y no domésticas que ingresan a los sistemas de alcantarillado.

Se resumen en este capítulo las principales características de las aguas servidas, considerando tanto las de tipo domésticas (o estrictas), como las “extrañas” (aguas lluvias, aguas de infiltración u otras).

En el Anexo 1 se incluye la caracterización típica de las aguas domésticas y no domésticas.

5.1. Caracterización de las aguas servidas domésticas

Las aguas servidas domésticas se caracterizan por el contenido de materias orgánicas e inorgánicas, las que típicamente tienen las características indicadas en la Tabla 5.1. También poseen material microbiológico, como bacterias, virus, y otros organismos patógenos.

La eventual descarga de RILes puede alterar la composición de las aguas servidas, aumentando algún parámetro, así como la eventual incorporación de aguas de infiltración puede diluirlas.

Tabla 5.1. Caracterización de las aguas servidas domésticas. Fuente: Hernández y Hernández (2004)

Parámetro	Contaminación Fuerte	Contaminación Media	Contaminación Ligera
Sólidos totales	1.000	500	200
Volátiles	700	350	120
Fijos	300	150	80
Sólidos en suspensión	500	300	100
Volátiles	400	250	70
Fijos	100	50	30
Sólidos sedimentables	250	180	40
Volátiles	100	72	16
Fijos	150	108	24
Sólidos disueltos	500	200	100
Volátiles	300	100	50
Fijos	200	100	50
DBO ₅ a 20°C	300	200	100
D.Q.O.	800	450	160
Oxígeno disuelto	0	0,1	0,2
Nitrógeno total (N)	86	50	25
Orgánico (N)	35	20	10
Amoníaco libre N-NH ₄	50	30	15
Nitritos N-NO ₂	0,10	0,05	0,00
Nitratos N-NO ₃	0,40	0,20	0,10
Fósforo total (P)	17	7	2
Cloruros	175	100	15
pH	6,9	6,9	6,9
Grasas	40	20	0

Valores en mg/l con excepción del pH.

5.2. Caracterización de las aguas lluvias

Las aguas lluvias, dependiendo de si se trata de las primeras lluvias o posteriores tienen diferente caracterización.

Las primeras lluvias arrastran material que se ha depositado en techos y pavimentos, mostrando una fuerte contaminación mineral, sólidos, hidrocarburos, metales pesados u otros.

El MINVU (1996) publicó un Manual de Técnicas alternativas para la gestión de aguas lluvias urbanas, realizado por la P. Universidad Católica¹, donde se incluye la Tablas 5.2 con algunas características de las aguas lluvias urbanas.

Tabla 5.2. Concentración de metales pesados en las aguas lluvias urbanas.

Fuente: MINVU (1996)

Elementos	Contenido medio en aguas lluvias mg/l	Origen	Fase
Plomo	0,1 a 0,8	Bencina 15% Industria 35% Lluvias 50%	Sólidos en suspensión
Cadmio	Variable	Industria 45% Lluvia 30%	
Zinc	0,3 a 0,8	Desgaste neumático 35% Industria 35% Lluvia 30% Neumáticos	Disuelto (en partículas) para el zinc proveniente
Cobre	0,002 a 0,2	Basura de lluvias Techos neumáticos	Disuelto (50%) particulado

Parámetros Contaminantes	Efluentes tiempo seco	Efluentes tiempo seco tratados	Efluentes de tormentas red unitaria	Efluentes de tormentas red pluvial
MES	300	60	340 (230 a 550)	28 (18 a 460)
DQO	60	120	280 (170 a 430)	18 (19 a 340)
DBO5	300	60	75 (40 a 110)	30 (13 a 48)
Hidrocarburos	-	-	5,5 (4,1 a 9,2)	5 (1,5 a 9,3)
Plomo	0,005	0,001	0,3 (0,16 a 0,41)	0,3 (0,1 a 0,5)

Nota: MES indica Material En Suspensión.

5.3. Caracterización de las aguas de infiltración

La Figura 5.1 grafica los diferentes orígenes posibles de la infiltración y del influjo, los que pueden asociarse a:

¹ Disponible en: http://minvuhistorico.minvu.cl/opensite_det_20070317115825.aspx, visitada el 19 de diciembre 2019.

- Infiltración de agua subterránea desde la napa freática: su monto depende de la posición del nivel de la superficie freática con respecto al colector. A mayor altura (o “carga”) sobre el colector, mayor caudal de infiltración. El caudal de infiltración varía estacionalmente, pudiendo ser nula en épocas de estiaje. También la infiltración dependerá de la granulometría del suelo: en suelos arcillosos la infiltración será baja, mientras que en suelos granulares (gravas especialmente) puede ser muy alta.
- Infiltración dependiente de las precipitaciones: ocurre cuando el agua precipitada primero percola hacia el sub-suelo, incrementando el nivel freático, para luego ingresar al colector.
- Infiltración en respuesta a precipitación: es independiente de la napa freática y ocurre cuando la lluvia satura el relleno granular alrededor de un colector defectuoso.
- Influjos (inflow) o ingreso de aguas extrañas a las aguas servidas: como ingreso de aguas superficiales a los colectores, sumideros de aguas lluvias conectados a la red de recolección, aguas lluvias que escurren por la superficie de las calles que son drenadas por tapas de cámaras defectuosas o que han sido abiertas temporalmente para tal fin.
- **Precipitación:** el caudal de infiltración es mayor durante y posteriormente a un evento de lluvia. Esta relación y su efecto retardado queda en evidencia cuando se superponen los registros de lluvia y del caudal de infiltración como se aprecia en la Figura 5.2.

Analizando los registros de precipitación y caudal es posible distinguir el ingreso de diferentes tipos de aguas ajenas a las aguas servidas. Las aguas superficiales ingresarán rápidamente y durante períodos muy cortos (menores a 1 día), mientras que la infiltración de agua subterránea lo hace durante lapsos de muchos días (probablemente meses). El agua de drenaje superficial, si el suelo es poroso puede ingresar a través de este en un lapso de varios días.

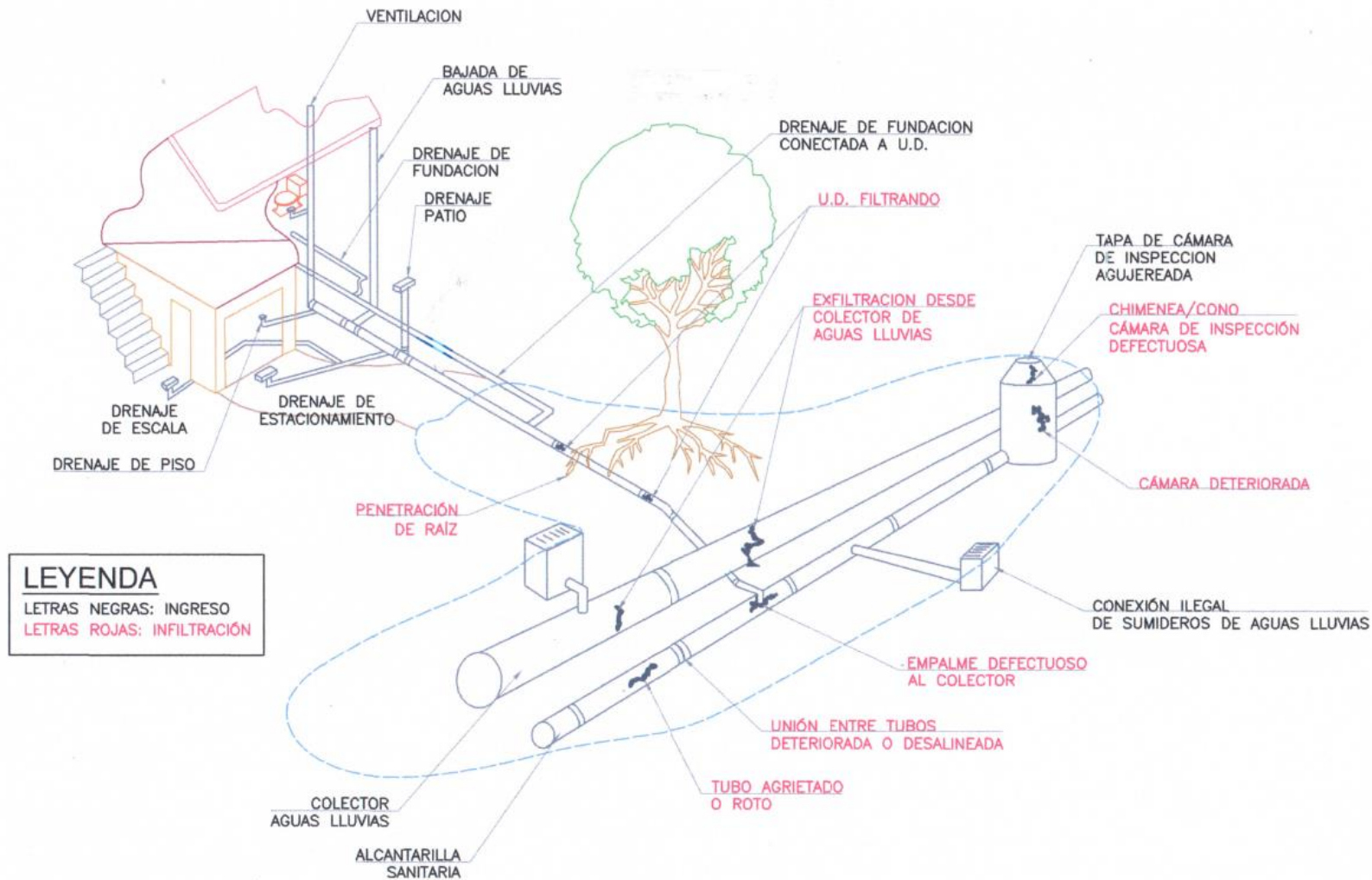


Figura 5.1. Esquema de fuentes posibles de infiltración e ingreso (influjo). Fuente: V&A (2010)

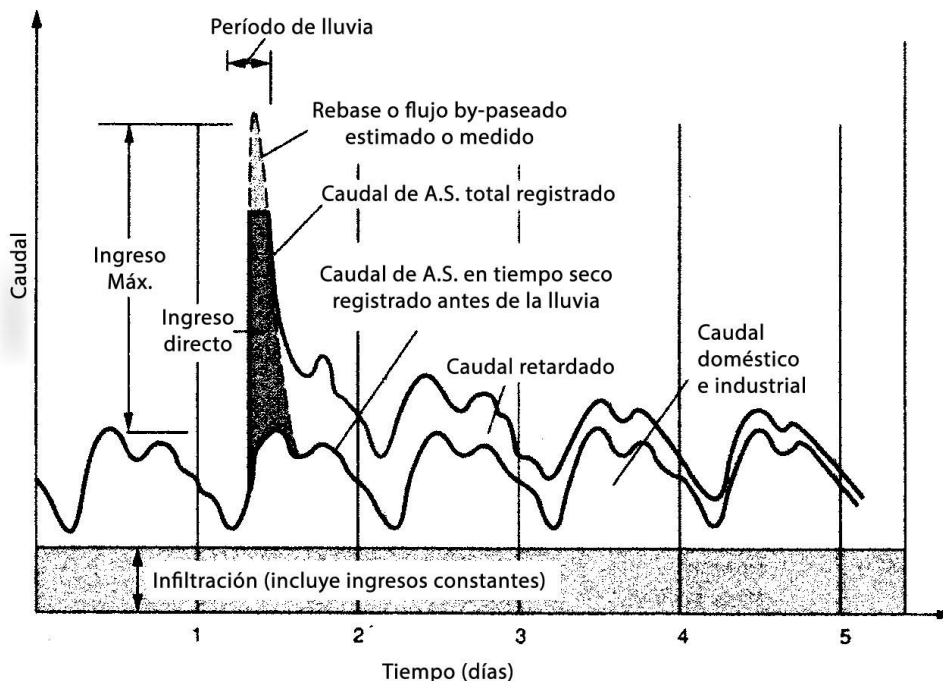


Figura 5.2. Diferentes componentes de un flujograma de aguas servidas. Achurado se muestra el efecto de una lluvia. Fuente: Metcalf y Eddy (1991)

Se han propuesto diferentes métodos para separar del flujograma el caudal proveniente de aguas lluvias desde los flujogramas de aguas servidas, como lo muestran Karpf y Krebs (2005).

5.3.1. Variables que determinan la magnitud de la infiltración e ingreso.

La magnitud de la infiltración depende de:

- **Tipo de red** de recolección: si es de tipo “separada” o “unitaria”. Aun cuando las redes nacionales son principalmente del tipo separado, igual reciben aportes y drenajes de aguas lluvias, particularmente en calles donde aún no existe una red independiente de aguas lluvias.
- **Nivel de la napa freática** con respecto al colector: la carga hidráulica (Δh) sobre el colector es la variable más relevante para la infiltración. Si no existiera esa carga hidráulica no habría infiltración, aunque pudiera haber “ingreso” de aguas ajenas al alcantarillado (p.e. percolación de aguas

lluvias). La longitud (o porcentaje) de colector bajo la napa puede variar geográficamente y temporalmente, por lo que el caudal de infiltración será variable.

- **Tipo de suelo:** si un colector está instalado en suelo permeable (p.e. gravoso o arenoso) sufrirá mayor infiltración que otro instalado en suelos menos permeables (p.e. arcillosos).
- **Materialidad del colector:** Los materiales plásticos (como PVC, HDPE) son impermeables, pero materiales tradicionales en Chile como el mortero de cemento son permeables. A cada material, se asocia también el tipo de unión entre tubos, algunos de los cuales utilizan elementos de goma (impermeables) mientras otros son en base a mortero (permeable).
- **Estado de la red de recolección:** una red en buen estado es en general menos permeable que una en mal estado. El estado puede estar determinado por su edad, su diseño, la calidad de su construcción e instalación (calidad de apoyo y rellenos especialmente). Se debe tener en cuenta que la red no es sólo colectores, sino también cámaras de inspección y uniones domiciliarias. La infiltración puede provenir de la existencia de cámaras defectuosas (agrietadas, porosas, con su radier en mal estado, etc.) o de uniones domiciliarias en mal estado o que no han sido ejecutadas correctamente. Una instalación defectuosa puede implicar una pequeña infiltración inicial, pero puede progresar en el tiempo hasta hacer colapsar la instalación.
- **Área de la cuenca aportante:** el caudal de infiltración es directamente proporcional al área aportante. Sin embargo, el caudal específico (caudal/unidad de área) disminuye a medida que crece el área aportante, y aumenta con la edad del colector.

5.3.2. Estimación de la infiltración

Como una primera aproximación, disponiendo del registro continuo de caudales de aguas servidas a la salida de una cuenca, es posible estimar el volumen (y porcentaje) de agua que no corresponde propiamente a aguas servidas y que, probablemente, son aguas que se han infiltrado o son ingresos de aguas extrañas al alcantarillado.

En la Figura 5.2 se mostró un registro continuo de caudales de un día, a partir del cual, suponiendo que, en teoría, en la noche hay sólo un caudal mínimo nocturno, se podría inferir que gran parte del caudal bajo el mínimo correspondería a infiltración y/o ingreso de agua ajena al alcantarillado.

La estimación anterior es imprecisa porque para la determinación del “caudal mínimo nocturno” no hay una metodología ampliamente aceptada.

Además, como lo demuestra Kracht (2007), el caudal mínimo nocturno puede cambiar si cambian las costumbres de uso del agua, como por ejemplo si la población decidiera programar el lavado de ropa para la noche en lugar de hacerlo en el día

En los últimos 20 años se han desarrollado diferentes metodologías para determinar el nivel de I&I en cuencas y subcuencas de una red de alcantarillado.

En Europa ha habido desarrollo y prueba de métodos de estimar la infiltración, particularmente en Francia y Alemania. La Bibliografía citada al final de este Informe da cuenta de ello, llamando la atención la existencia de al menos 6 tesis doctorales en ingeniería civil sobre el tema.

En el proyecto APUSS (Assessing infiltration and exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems), financiado por la comunidad europea, participaron 10 centros científicos, de Francia, Alemania, Suiza, República Checa, Portugal e Italia, entre los años 2001-2004.

De Benedittis (2004) en Francia efectuó una revisión y verificación de una amplia gama de métodos existentes para estimar la I&I. Estas metodologías se agrupan en tres clases:

- Métodos flujométricos o volumétricos: basados en la medición y registro continuo de caudales
- Métodos químicos: basados en la medición y registro de elementos químicos (trazadores) dentro de las aguas servidas
- Métodos isotópicos: basados en la medición y registro de trazadores radioactivos (isótopos) que naturalmente se encuentran presentes en el agua potable y, por ende, en las aguas servidas.

En el Anexo 1 se detallan los diferentes métodos utilizados en el presente estudio.

Los métodos flujométricos (basados en registros de caudal) son plenamente aplicables, dado que esta información está disponible en la mayoría de las PTAS y, en algunos casos, en puntos intermedios del sistema de recolección.

Los métodos químicos serían también aplicables, aunque exigen la realización de una campaña de mediciones. Estos métodos requieren de registros de caudal, por lo que no son alternativos a los métodos flujométricos, sino que serían más bien complementarios.

La Tabla 5.3 resume las principales metodologías revisadas por De Benedittis.

Tabla 5.3. Resumen de metodologías revisadas por De Benedittis (2004)

Sigla	Métodos	Referencia	Principio	Tipo	Escala temporal
F.1	Caudal en tiempo seco		(1)	Flujometría	Diaria, Q tiempo seco
F.1 bi	Caudal en tiempo seco bis	Hager et. Al (1985)	(1)	Flujometría	Diaria, Q tiempo seco
F.2	Densidad promedio	Ertl et al. (2002)	(1)	Flujometría	Anual
F.3	Annen & Muller	Annenn (1980)	(1)	Flujometría	Anual
F.4	Triángulo	Weiss et al. (2002)	(1)	Flujometría	Anual
F.5	Mínimo móvil	Weiss et al. (2002)	(1)	Flujometría	Anual o diaria
F.6	Diferencia de caudal diario	Joannis (1994)	(1)	Flujometría	Diaria, Q tiempo seco
F.7	Diferencia de caudal nocturno	Joannis (1994)	(2)	Flujometría	Diaria, Q tiempo seco
F.8	Caudal mínimo nocturno	Renault (1994)	(2)	Flujometría	Diaria, Q tiempo seco
F.9	Caudal nocturno corregido	Renault (1994)	(2)	Flujometría	Diaria, Q tiempo seco
F.10	Caudal nocturno corregido bis	Hager et. Al (1985)	(2)	Flujometría	Diaria, Q tiempo seco
F.11	Parámetro de forma	Joannis (1994)	(2)	Flujometría	Diaria, Q tiempo seco
C.1	Imhoff	Renault (1994)	(1)	Químico	Diaria, Q tiempo seco
C.2	Suizos	Hager et. Al (1985)	(1) y (2)	Químico	Diaria, Q tiempo seco
C.3	Híbrido u Horizon	Horizon (1992)	(1) y (2)	Químico	Diaria, Q tiempo seco
Nota: Principios (1): El caudal de aguas de I&I corresponden a la diferencia entre el caudal total en tiempo seco y el caudal de aguas servidas "estrictas" (aguas servidas exclusivamente) (2): El caudal de aguas servidas "estrictas" es despreciable durante la noche, por lo que el caudal de I&I se aproxima al caudal mínimo nocturno.					

Los métodos isotópicos, por su costo y disponibilidad de equipos y laboratorios especializados sería el de menor o nula aplicabilidad en nuestro medio.

6. Revisión Bibliografía nacional e internacional.

No hay mucha bibliografía nacional publicada sobre el tema de infiltración de agua hacia redes de colectores. En algunas universidades se han realizado memorias de titulación.

La experiencia práctica de algunas empresas sanitarias nacionales ha sido limitada y no ampliamente divulgada.

La revisión bibliográfica internacional realizada, especialmente la europea y norteamericana, ha permitido, en las secciones anteriores de este Informe, identificar las metodologías desarrolladas en la última década para estimar la infiltración.

En la sección final del presente Informe se incluye la lista bibliográfica consultada.

7. Revisión de la experiencia de la industria

Se resume aquí la revisión efectuada en el ámbito nacional como en el extranjero.

En el ámbito nacional se describe y analiza el caso de Aguas Décima, concesionaria de la ciudad de Valdivia, mientras que el caso internacional se revisa la experiencia en Trondheim (Noruega) y en Pinellas County (Florida, USA), todos los cuales tienen algunas características similares a los casos estudiados de ESSAL.

Los detalles de incluyen en el Anexo 2

7.1. Caso Aguas Décima S.A.

El régimen pluviométrico y de temperaturas en Valdivia se refleja en la Figura 7.1. La precipitación media anual de Valdivia ha ido disminuyendo en el tiempo, como se indica en la Figura 7.2, de donde se observa que recientemente ha llegado hasta 1.000 mm anuales.

Las características de suelo de Valdivia son predominantemente arenosos con limos en proporciones variables. La profundidad de la napa de Valdivia se ubica hacia los 3-4 m, aunque hay sectores puntuales con napas del orden de 1m.

De la información analizada en las secciones anteriores, se pueden obtener las principales características de Valdivia, en relación a su gestión de las aguas servidas y su relación con las aguas lluvias:

- El efluente de la PTAS se descarga al río Valdivia y no a un lago, como es el caso de las localidades de Panguipulli y Puerto Varas. El río Valdivia tiene, aún en épocas de estiaje y de sequía, un caudal de unos 70 m³/s, lo que provee de suficiente dilución, para aplicar la Tabla 2 del DS 90.

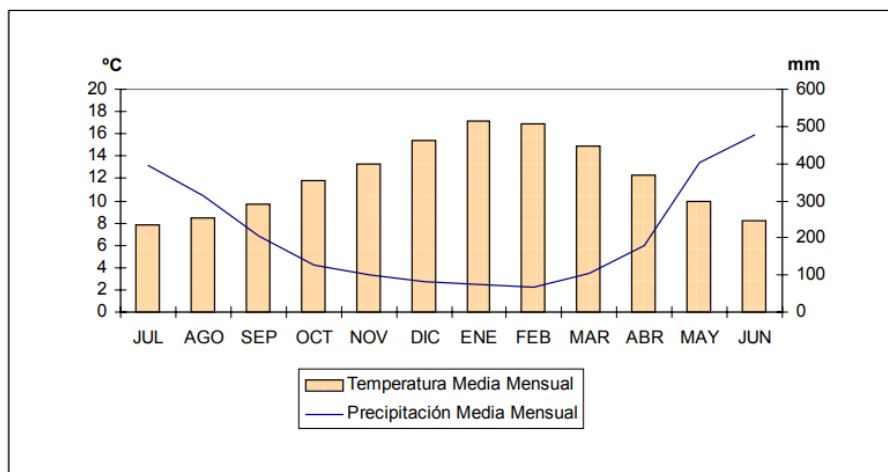


Figura 7.1. Precipitaciones y temperaturas medias mensuales en Valdivia.

Fuente: Cade-Idepe (2004)

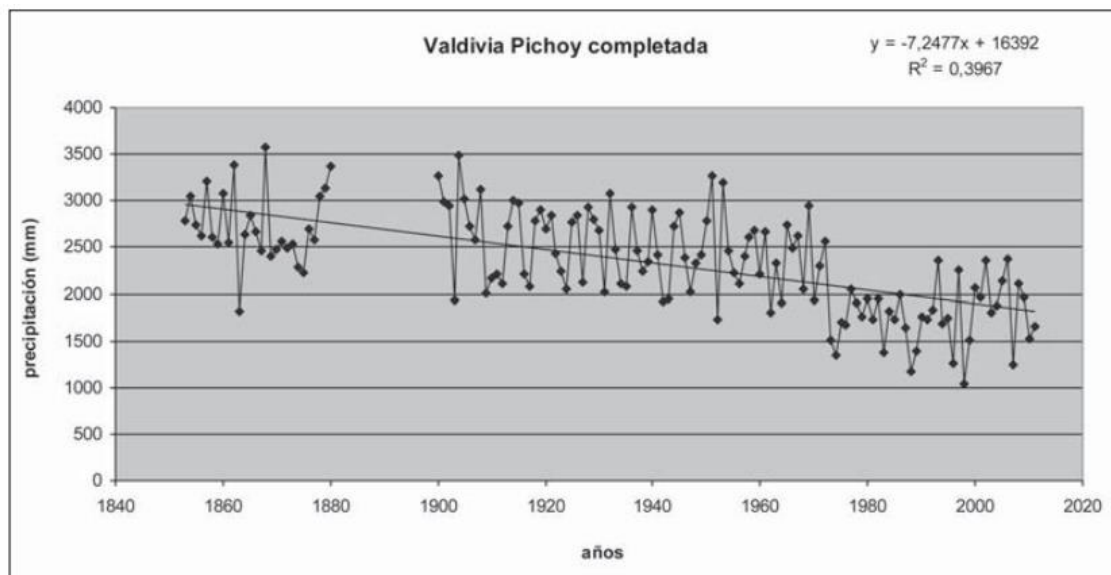


Figura 7.2. Evolución de las precipitaciones anuales en Valdivia. Fuente: Sanz-Donaire (2012)

- Su Plan Maestro de Aguas Lluvias (PMALL) fue aprobado mediante Decreto 1937 el 31 de octubre 2002. Este Plan fue actualizado y ampliado en 2013. Al 4 de junio de 2017, se construía el Colector de aguas lluvias denominado Santiago Bueras (78% de avance a esa fecha), que es parte final de las obras contempladas en PMALL². Es decir, Valdivia contaría con un Plan Maestro de Aguas Lluvias ejecutado.
- La PTAS dispone de un vertedero de emergencia y bypass de la PTAS, cuyos caudales son registrados por un macromedidor. Según la información disponible este sería el único vertedero de emergencia.
- La precipitación media anual de Valdivia ha tenido una fuerte disminución en las últimas décadas llegando en la actualidad a cifras del orden de 1.000 – 2.000 mm/año, aunque a comienzos del siglo 20 esta llegaba a 3.500 mm/año. La infraestructura de drenaje de aguas lluvias, construida el siglo pasado, está diseñada para condiciones mucho más adversas que las actuales.
- Por estas razones Valdivia no presenta la misma problemática de las 3 localidades en estudio

² Según el periódico local en www.elnaveghable.cl del 4-06-2017

7.2. Experiencia de la industria extranjera

Se identificaron 2 sistemas con características y problemas similares a los de la región de Los Lagos: uno en Noruega y otro en los Estados Unidos.

7.2.1. Experiencia en Trondheim, Noruega.

La ciudad de Trondheim en Noruega, se ubica en la latitud 63° 23' Norte, con una población de 183.378 habitantes al 1 de enero 2018. Sin bien la ciudad se encuentra ubicada relativamente más cercana al polo que las localidades en estudio de ESSAL S.A., ha sido elegida porque tiene un régimen pluviométrico similar (1.000 mm/año), y porque también tiene problemas de infiltración considerables.

Behesti y Saegrov (2015) revisaron los diferentes métodos disponibles para estimar la infiltración, tanto flujométricos como químicos. Basados en los trabajos de Schilperoort et al (2013) en Holanda, identificaron a la metodología DTS (Distributed Temperature Sensing o sensado distribuido de temperatura) como una herramienta viable para detectar la ubicación y cuantificar el ingreso de aguas extrañas (I&I: infiltración e ingreso). Todo lo anterior con el objetivo de aplicar los diferentes métodos para la estimación del I&I de la ciudad de Trondheim.

La metodología DTS fue aplicada en Holanda (ciudad de EDE) el año 2008³ y es analizada en más detalle en Schilperoort et al (2013).

Behesti y Saegrov (2018 y 2019) aplicaron experimentalmente la metodología DTS en la cuenca de Lykkjebekken de Trondheim, mediante la descarga artificial y controlada de agua (en diferentes cantidades y temperatura), para evaluar la precisión de la tecnología tanto para localizar el ingreso como para cuantificar su volumen.

Como lo indican Behesti et al (2015), la tecnología DTS para detectar el ingreso de aguas extrañas a un colector, es parte de un proceso por etapas para identificar y cuantificar el I&I y debería ser usado complementariamente con otras técnicas secuencialmente:

- Flujometría: para tener una primera estimación
- Métodos químicos (trazadores) en diferentes subcuencas, para identificar sectores con mayor infiltración
- Tecnología DTS, para ubicar los puntos exactos de I&I
- Inspección televisiva (CCTV) y/o pruebas de humo (smoke testing) para identificar el problema en mayor detalle y determinar el método de reparación o reemplazo.

³ Schilperoort R. y Clemens F. (2009)

7.2.2. Experiencia en Pinellas County, Estados Unidos.

El condado de Pinellas se ubica en el estado de Florida, USA. Su latitud Norte es 27° 54' y tiene una superficie de 1.540 km² y una población de 975.280 habitantes al año 2018.

La climatología de Pinellas se caracteriza porque su precipitación anual es del orden de 1.300 mm/año.

De acuerdo con Long (2017), el condado de Pinellas, igual que muchas otras áreas de USA tiene un problema severo de I&I, unidos a una infraestructura que ha sido rankeada como “mediocre” por un informe de la ASCE (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles).

Lo interesante del caso de Pinellas para el presente estudio, aparte de algunas características comunes con las instalaciones de ESSAL S.A. es que la metodología utilizada para abordar el problema de I&I se basa en métodos flujométricos, en lugar de los métodos químicos que se usan en Europa.

El método flujométrico utilizado por Long (2017) para el caso de Pinellas es el de Stevens-Scultzbach.

8. Infraestructura de recolección existente.

8.1. Antecedentes catastrales de las 3 localidades.

La infraestructura de recolección a diciembre de 2018 se resume en las Tablas 8.1 a 8.3. Estas tablas se obtienen de la NBI a diciembre 2019 y se utilizan porque están más actualizadas que las tablas que se obtienen del SIG.

De estas tablas se aprecia que:

- Un 65 % de las redes existentes son de PVC, seguidas por cemento comprimido (30%)
- Un 85,4% de las redes tienen un diámetro igual o inferior a 200 mm
- Un 97,2% de las redes se encuentran operativas

Desde el punto de vista operacional, como se detalla y analiza más adelante, se dispone de la información sobre el historial de obstrucciones y fallas de colectores y UD's contenidas en el PR 013.

La Tabla 8.5 resume las PEAS de recolección y disposición en los 3 sistemas en estudio. Las UD, según la información disponible son 100% de DN=100 mm

Tabla 8.1. Distribución de la materialidad de la red de recolección. Fuente: Nueva Base de Infraestructura, a diciembre 2019.

Localidad	LONGITUD DE RED DE RECOLECCIÓN (m)					
	ACERO NEGRO	ASBESTO CEMENTO	CEMENTO COMPRIMIDO	HDPE	PVC	Total
LOS MUERMOS					21.371	21.371
PANGUIPULLI	18	993	10.950	1.678	21.904	35.542
PUERTO VARAS	22	335	33.553	4.040	53.662	91.611
Total	39	1.328	44.502	5.718	96.936	148.524
Total %	0,0	0,9	30,0	3,9	65,3	100,0

Localidad	PORCENTAJE DE LA RED DE LA LOCALIDAD (%)				
	ACERO NEGRO	ASBESTO CEMENTO	CEMENTO COMPRIMIDO	HDPE	PVC
LOS MUERMOS					100
PANGUIPULLI	0,05	2,79	30,81	4,72	61,63
PUERTO VARAS	0,02	0,37	36,63	4,41	58,58
Total	0,0	0,9	30,0	3,9	65,3

Tabla 8.2. Distribución diamétrica de la red de recolección. Fuente: Nueva Base de Infraestructura, a diciembre 2019.

Localidad	LONGITUD DE RED DE RECOLECCIÓN (m)										Total
	Diámetro (mm)										
	175*	200	225	250	280	300	315	350	400	450	
LOS MUERMOS	5.639	13.668		1.018			1.046				21.371
PANGUIPULLI	16.511	14.212	1.565	1.066	113	199	48	442	930	456	35.542
PUERTO VARAS	26.482	50.382	2.644	6.500	74	1.436	999	668	2.159	268	91.611
Total general	48.633	78.263	4.209	8.583	187	1.635	2.093	1.109	3.089	724	148.524
Total (%)	32,7	52,7	2,8	5,8	0,1	1,1	1,4	0,7	2,1	0,5	100,0

Nota: * Incluye D=175 y 180 mm

Tabla 8.3. Resumen de PEAS existentes en Los Muermos, Panguipulli y Puerto Varas. Fuente: NBI, 2019.

SISTEMA	NOMBRE PEAS	TIPO DE BOMBA	COTA (m)	CAUDAL (L/s)	PROFUND. COLECTOR ENTRADA (m)	H ELEV GEOM. (m)	H ELEV MANOM. (m)
LOS MUERMOS	San Antonio	SUMERGIBLE	89,88	6,99	1,99**	8,61	11,87
PANGUIPULLI	Roble Huacho	EJE HORIZ + SUMERG.	128,13	56,40	6,00	48,80	76,00
PANGUIPULLI	Carmela Carvajal	EJE HORIZ + SUMERG.	127,32	83,30	5,50	68,75	70,00
PUERTO VARAS	Llanquihue (*)	SUMERGIBLE	47,99	215,00	3,20	33,36	58,00
PUERTO VARAS	Puerto Chico	EJE HORIZ + SUMERG.	46,28	135,00	3,10	8,00	10,00
PUERTO VARAS	Santa Rosa	SUMERGIBLE	44,00	226,00	4,20	15,71	40,00

Notas: * La PEAS Llanquihue sirve tanto a Puerto Varas como a Llanquihue.
 ** NBI indica profundidad 91,99 m, debe ser 1,99 m

8.2. Diagnóstico del estado de la red de recolección.

Los Planes de Desarrollo, actualizados el año 2016, incluyen un diagnóstico del estado de la red de recolección y de las UD's, lo que se resume en la Tabla 8.4. Su calificación general es entre Buena y más que Regular (B y R+).

La calificación del estado de la red se basa en el indicador “cantidad anual de obstrucciones”, lo que puede tener un origen en una falta de mantenimiento, como también en el mal estado de conservación de los colectores. La Tabla 8.5 muestra la evolución de las fallas entre los años 2017 y 2019.

Tabla 8.4. Resumen del diagnóstico de la red de recolección. Fuente: Actualización de Planes de Desarrollo de agua potable y alcantarillado de aguas servidas, para las localidades de Los Muermos, Panguipulli y Puerto Varas, Julio (2016)

Localidad	Estado de la infraestructua de recolección	
	Red de recolección	Uniones Domiciliarias (UD's)
Los Muermos	B y R+	B
Panguipulli	B y R+ (*)	B
Puerto Varas	B y R+ (**)	B
Notas:		
R+ indica más de 4 obstrucciones en el último año; B: bueno		
* Los sectores 2085 y 2130 presentaron mas de 4 obstrucciones		
ESSAL verificó su estado mediante ITV encontrando que		
no requieren renovación		
** Hay 12 sectores que tienen más de 4 obstrucciones en el año		
ESSAL verificó su estado mediante ITV encontrando que		
sólo el sector 2010 debe ser renovado.		

Tabla 8.5. Resumen de fallas* y obstrucciones en colectores. Fuente: PR013

SISTEMA	Red (Km)	FALLAS (N°)			
		2017	2018	2019	Total
LOS MUERMOS	21,4	0	0	0	0
PANGUIPULLI	34,2	0	1	1	2
PUERTO VARAS	88,9	0	1	1	2
TOTAL	144,4	0	2	2	4

Nota: * las fallas incluyen desplazamiento de terreno, fallas de colector y falla de A.S.

Un análisis similar para las UD's se incluye en la Tabla 8.6. Las tasas de fallas de UD son casi el doble en Los Muermos en comparación con Panguipulli el 2019 y prácticamente nulas en Puerto Varas. El año 2019 la cantidad de fallas de UD casi duplica a la de los años 2017 y 2018.

Tabla 8.6. Resumen de fallas en UD´s. Fuente: PR013

SISTEMA	UD´s (Nº)	FALLAS (Nº)				FALLAS/1000 UD´s		
		2017	2018	2019	Total	2017	2018	2019
LOS MUERMOS	2.118	4	2	4	10	1,89	0,94	1,89
PANGUIPULLI	3.230	1	3	3	7	0,31	0,93	0,93
PUERTO VARAS	9.990	0	0	2	2	-	-	0,20
TOTAL	15.338	5	5	9	19	0,33	0,33	0,59

Nota: * las fallas incluyen solo falla de la UD.

En relación con el tipo de suelo y posición de la red en relación con la posición de la napa freática, la Tabla 8.7 muestra el porcentaje de red por tipo de suelos y bajo la napa. Si bien en Los Muermos y Panguipulli el 100 % de la red se encuentra en terreno semiduro, en Puerto Varas sólo un 49% de la red está en ese tipo de suelo, predominando el suelo blando y muy blando. En cuanto a la napa, prácticamente un 50% de las redes de cada una de las localidades se han instalado bajo la napa.

Considerando como red “permeable” a las tuberías de cemento comprimido y cemento asbesto, y cruzando esta categoría con el % de red bajo napa por localidad, se estima un porcentaje máximo aproximado de red “vulnerable” a la infiltración. Análogamente, con el porcentaje de red ubicada sobre la napa, en la Tabla 8.8 se estima el porcentaje de red vulnerable a la exfiltración.

Tabla 8.7. Tipo de suelo y presencia de napa en la red de recolección. Fuente: NBI 2019

Localidad	PORCENTAJE (%) DE RED EN		
	Suelo Blando y muy blando	Suelo Semi-duro	Bajo napa (%)
LOS MUERMOS	0	100	50,3
PANGUIPULLI	0	100	48
PUERTO VARAS	51,49	48,51	46,25

Tabla 8.8. Estimación del porcentaje máximo de red vulnerable a la infiltración y a la exfiltración en el alcantarillado. Fuente: NBI 2019

Localidad	% RED PERMEABLE	% RED BAJO NAPA	% RED SOBRE NAPA	% RED VULNERABLE A LA INFILTRACIÓN	% RED VULNERABLE A LA EXFILTRACIÓN
LOS MUERMOS	0,00	50,30	49,70	0,00	0,00
PANGUIPULLI	33,60	48,00	52,00	16,13	17,47
PUERTO VARAS	36,99	46,25	53,75	17,11	19,88

8.3. Sistema de recolección y disposición de Los Muermos.

8.3.1. Sistema de recolección

La Figura 8.1 muestra la red de recolección de Los Muermos. La Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) se ubica en el sector oriente, hacia la cual escurren gravitacionalmente las aguas servidas. La PTAS descarga al estero "Clavito". Los detalles y evaluación de la PTAS se entregan en el Anexo 3.

La red de recolección de Los Muermos (Tabla 8.1) es en un **100% de PVC**, lo que implica que **se trata de una red mayoritariamente impermeable**, excepto si hubiera secciones agrietadas o uniones entre tubos defectuosas. No hay descargas de emergencia desde la red.

El sistema cuenta con 1 Planta Elevadora de Aguas Servidas (PEAS);

- **PEAS San Antonio**, construida en 2018 para sanear un pequeño sector ubicado al nor-oriente del área de concesión (ampliación del territorio operacional de 2017), cuyas características se resumieron en la Tabla 8.3.

8.3.2. Sistema de disposición

La PTAS de Panguipulli se encuentra en el sector de Huellahue, a unos 3 km al norponiente de la ciudad. La evaluación de su capacidad al año 2030 (plazo del Plan de Desarrollo) con respecto a su reactor biológico y a la sedimentación, se hizo aplicando los siguientes criterios:

Reactor biológico:	Rango recomendado
○ Tiempo de retención Hidráulico (hrs):	12 – 36
○ Carga volumétrica (KgDBO ₅ /m ³ -d):	0,1 – 0,3
○ Relación A/M (KgDBO ₅ /MSLL-d) :	0,05 – 0,2

Sedimentador:	Rango recomendado
○ Tasa de overflow a Q medio (m ³ /m ² -d):	8 - 16
○ Tasa de overflow a Q máximo (m ³ /m ² -d):	24 – 32
○ Carga de vertedero (m ² /d):	menor a 375

En cuanto a la PTAS de Los Muermos, la evaluación realizada en el Anexo 7 se resume en la Tabla 8.9. La PTAS tendría como factor limitante al año 2030 la tasa de overflow a caudal medio, pudiendo recibir un caudal máximo por infiltración y/o agua lluvias de 27 L/s, con respecto al caudal de aguas servidas proyectado.

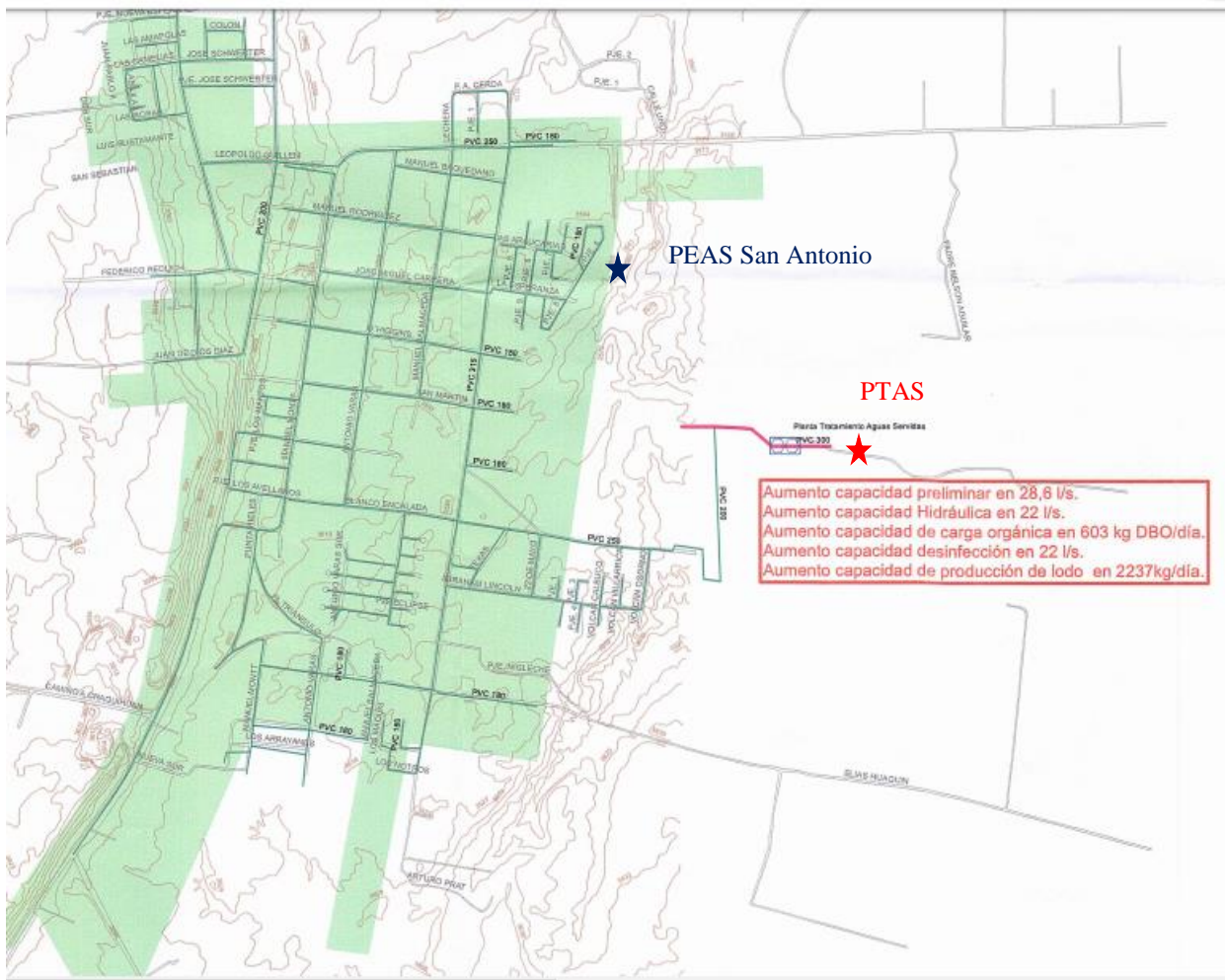


Figura 8.1. Red de recolección de Los Muermos.

Fuente: Actualización PD Los Muermos (2016).

La capacidad de la PTAS queda también reflejada en la Figura 8.2, donde se compara el caudal total (volumen tratado + bypassado) con el caudal medio mensual indicado por ESSAL en la NBI.

Tabla 8.9. Resumen de la evaluación de la PTAS de Los Muermos.

Parámetro	Los Muermos	
	Planta 2	Planta 1
Datos Reactores		
Volumen unitario del reactor (m3)	1.084,7	295,8
N° reactores	2	2
Volumen aireación (m3)	2.169,4	591,5
Datos Sedimentadores		
Area unitaria sedimentador (m2)	132,2	78,2
N° sedimentadores	1	1
Total area sedimentación (m2)	210,4	78,2
Volumen (m3)	631,2	234,5
Altura agua sedim. (m)	3	3
Capacidad Hidráulica		
Q medio (L/s)	23,59	(solo planta 2)
	38,9	(planta 1 y 2)
Q máximo (L/s)*	65	
Capacidad de Carga		
Carga afluente total (KgDBO/d)	516,3	
Pob. Equivalente (N° hab)	9.561	
Cargas teórica 2025 (PD 2020)		
Q medio (L/s)	9,62	
Carga afluente total (KgDBO/d)	319,62	
Pob. Equivalente (N° hab)	5.919	
Q infiltración teorico 2025 (L/s)	1,30	
Nota: * factor limitante: overflow a caudal máximo		

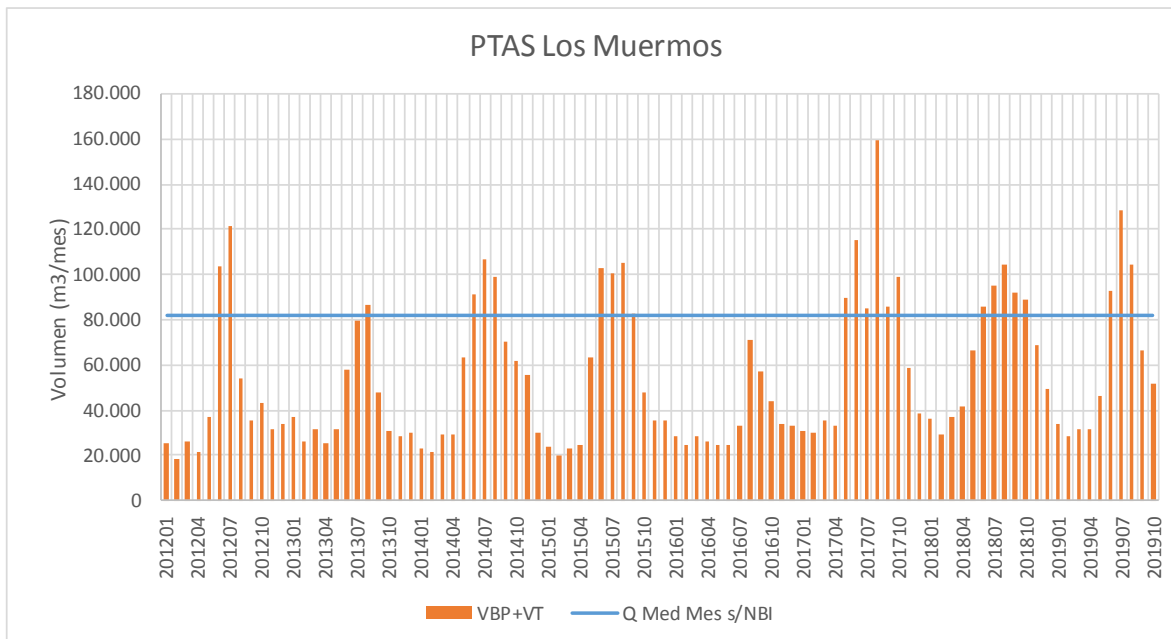


Figura 8.2. Relación entre caudal total registrado (VBP+VT) y caudal medio mensual considerado en la NBI. PTAS Los Muermos (2012-2019).

8.4. Sistema de recolección de aguas lluvias de Los Muermos

Los Muermos no cuenta con un Plan Maestro de Aguas Lluvias (PMALL), ni tampoco se consulta la realización de un proyecto de Plan Maestro para el futuro próximo-mediano. Cuenta con una cantidad indeterminada de sumideros de aguas lluvias.

Parte de las aguas lluvias son descargadas hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de Los Muermos, la cual no está dimensionada para recibirlas y tratarlas. En estos casos, la PTAS ha accionado su bypass, provocando el vertido de aguas contaminadas al estero Clavito, como se aprecia en la Figura 8.3

La PEAS San Antonio no cuenta con telemetría, por lo que desconocen sus volúmenes impulsados y/o descargados por su vertedero de emergencia.

8.5. Sistema de recolección y disposición de Panguipulli.

8.5.1. Sistema de recolección

La Figura 8.4. muestra la red de recolección de Panguipulli. Sus detalles capacidad se entregan en el Anexo 3.

La red de recolección es en un 69,2 % impermeable (de materialidad diferente a cemento comprimido, Tabla 8.1). Un 86,4% de la red tiene diámetro inferior o igual a 200 mm.

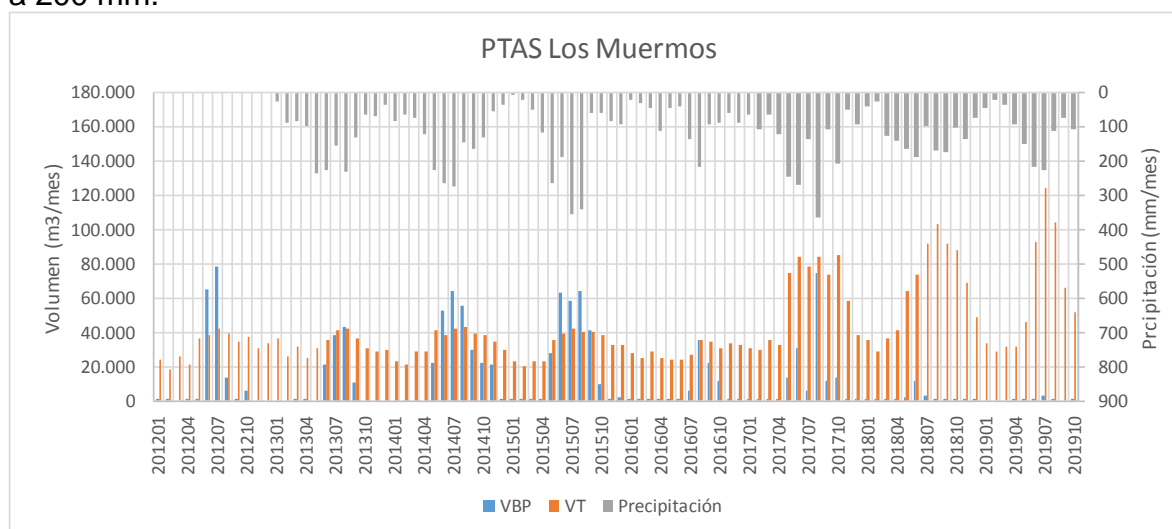


Figura 8.3. Historial de precipitaciones, volúmenes by-paseados (VBP) y volúmenes tratados (VT) por la PTAS Los Muermos.

El sistema de Panguipulli cuenta con 2 Plantas Elevadoras de Aguas Servidas:

- **PEAS Roble Huacho**, construida en 1999, impulsa las aguas servidas recolectadas en el sector central de la ciudad hasta la PEAS Carmela Carvajal, mediante una impulsión de 1.188 m de D=300 mm en cemento-asbesto, antecedida de un tramo de 10 m de D=400 mm de acero.
- **PEAS Carmela Carvajal**, construida en 1999, esta PEAS reimpulsa las aguas del sector centro y las afluentes desde el sector más alto, mediante una impulsión de 2.959 m de cemento-asbesto de 300 mm de diámetro, antecedida de un tramo corto de 11 m de acero del mismo diámetro. La impulsión eleva hasta un punto alto, desde donde prosigue gravitacionalmente hasta la PTAS mediante una conducción en acueducto de 483 m y 300 mm de diámetro (PVC). Esta PEAS tiene un aliviadero lateral que devuelve el exceso de agua que supera la capacidad de la PEAS a la red, produciendo un reciclo con la PEAS Roble Huacho. Las características de ambas PEAS se detallaron en la Tabla 8.3.

Existen dos vertederos de emergencia ubicados al oriente de las calles J.M. Carrera y A. Prat, y de la PEAS Roble Huacho. Ambos ocasionan descargas de aguas servidas (o aguas lluvias con aguas servidas) al lago. Estas descargas son una de las principales fuentes de conflicto con la comunidad y con la autoridad ambiental.

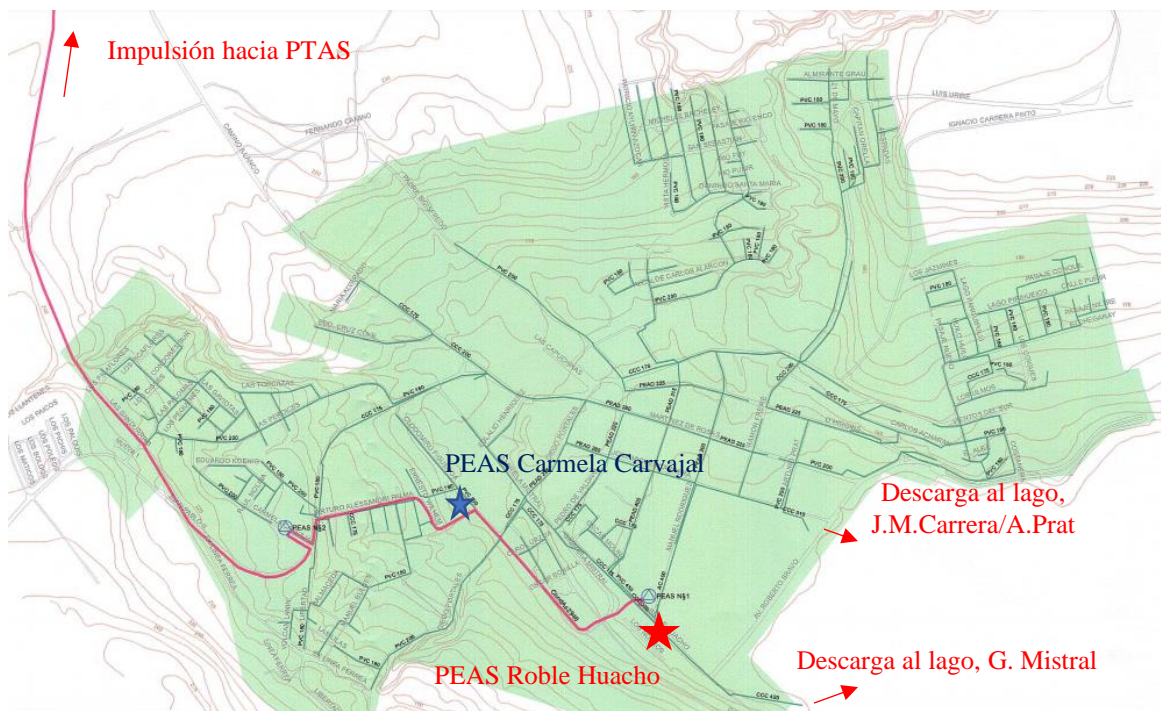


Figura 8.4. Red de recolección de Panguipulli. Fuente: Actualización PD Panguipulli 2016

8.5.2. Sistema de disposición

En cuanto a la PTAS de Panguipulli, la evaluación realizada en el Anexo 7 se resume en la Tabla 8.5. La PTAS tendría como factor limitante al año 2030 la tasa de overflow a caudal medio, pudiendo recibir un caudal máximo por infiltración y agua lluvias de 6 L/s, con respecto al caudal de aguas servidas proyectado. En consecuencia, la PTAS tiene una escasa capacidad de recibir aguas adicionales a las aguas servidas.

La capacidad de la PTAS queda también reflejada en la Figura 8.5, donde se compara el caudal total (volumen tratado + by-paseado) con el caudal medio mensual indicado por ESSAL en la NBI.

Tabla 8.5. Resumen de la evaluación de la PTAS de Panguipulli.

Parámetro	Panguipulli
Datos Reactores	
Volumen unitario del reactor (m3)	1.408,3
N° reactores	2
Volumen aireación (m3)	2.816,6
Datos Sedimentadores	
Area unitaria sedimentador (m2)	84,2
N° sedimentadores	2
Total area sedimentación (m2)	168,4
Volumen (m3)	165,0
Altura agua sedim. (m)	3
Capacidad Hidráulica	
Q medio (L/s)	31,25
Q máximo (L/s)*	63
Capacidad de Carga	
Carga afluente total (KgDBO/d)	478,4
Pob. Equivalente (N° hab)	8.860
Cargas teórica 2019	
Q medio (L/s)	17,13
Carga afluente total (KgDBO/d)	352,97
Pob. Equivalente (N° hab)	6.537
Q infiltración teorico 2019 (L/s)	3,47
Nota: * factor limitante: overflow a caudal máximo	

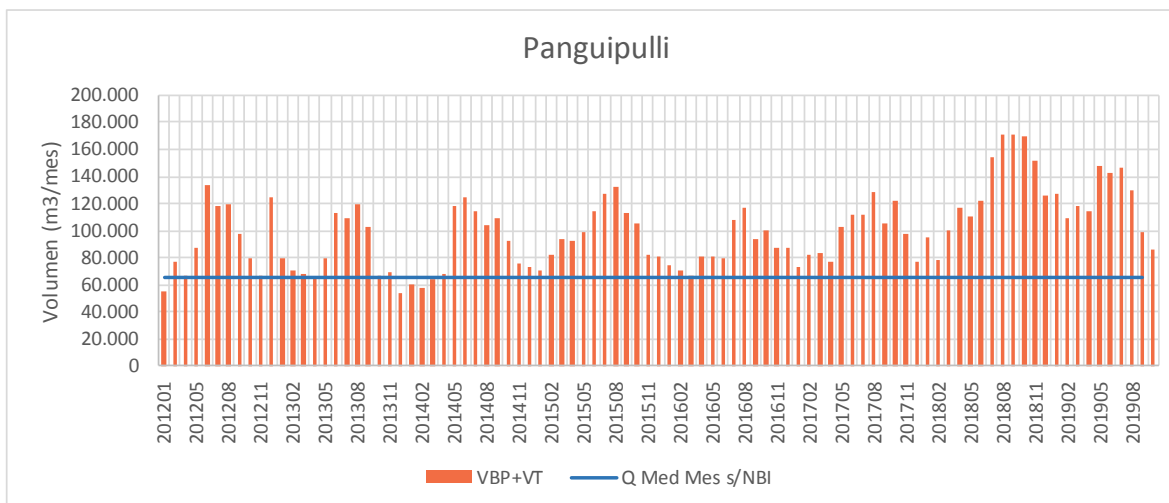


Figura 8.5. Relación entre caudal total registrado (VBP+VT) y caudal medio mensual considerado en la NBI. Panguipulli (2012-2019).

8.5.3. Sistema de recolección de aguas lluvias de Panguipulli

Panguipulli no cuenta con un PMALL, el que se encuentra en etapa de ejecución⁴. Sin embargo, el catastro ya realizado en dicho proyecto⁵ permite verificar que Panguipulli cuenta con una infraestructura de recolección de aguas lluvias no menor, tanto en términos de sumideros, colectores, canales artificiales y naturales, como se resume en la Figura 8.6

El drenaje natural de Panguipulli hacia el lago se produce a través de 3 cursos naturales principales, los que, de sur a norte, son: Estero Cubico oriente, Estero Nanguil y Estero Ancacomoe

Hacia estos cursos naturales descargan algunos de los colectores de aguas lluvias existentes en la parte alta y media de la ciudad. Sin embargo, existen otras 11 descargas artificiales al lago.

De estas 11 descargas, las 2 descargas de aguas servidas, la de la PEAS Roble Huacho y la del vertedero de emergencia ubicado en A. Prat con J. M. Carrera son la que originan conflicto con la población. La Figura 8.7 muestra la frecuencia de activación de estos 2 vertederos el primer semestre de 2017.

⁴ Arrau Ingenieros, Consultoría PM-45, "Plan maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvias de Panguipulli. Región de Los Ríos".

⁵ Planos de catastro fueron facilitados por la DOH para el presente estudio

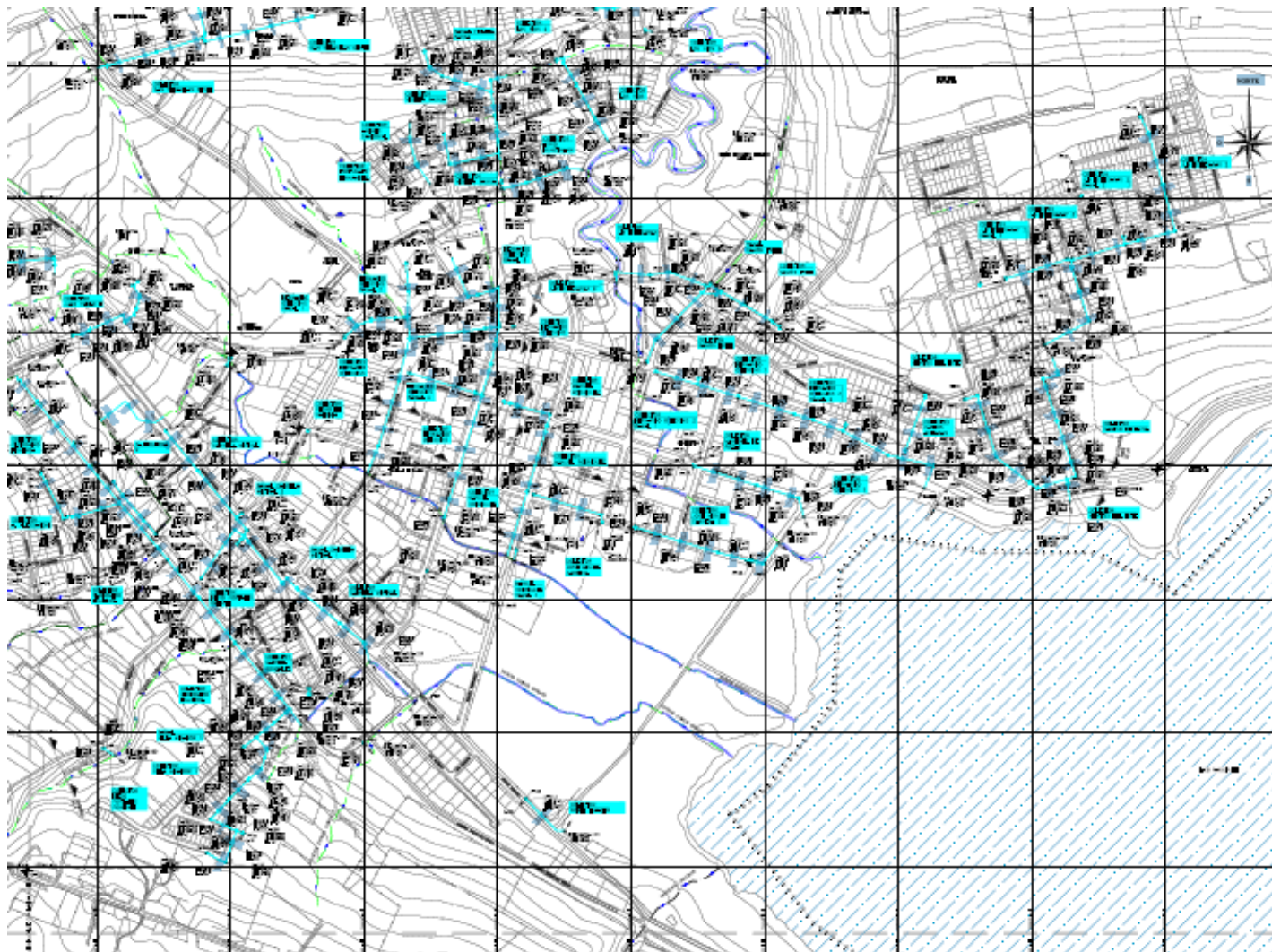


Figura 8.6. Infraestructura de recolección de aguas lluvias existente en Panguipulli.

Fuente: Catastro redes de agua lluvia en Panguipulli, Lámina 5 de 6. Arrau Ingenieros, para la DOH, Mayo 2020.

La Figura 8.7 muestra las fechas en que se activaron los vertederos de emergencia y su relación con las precipitaciones registradas.

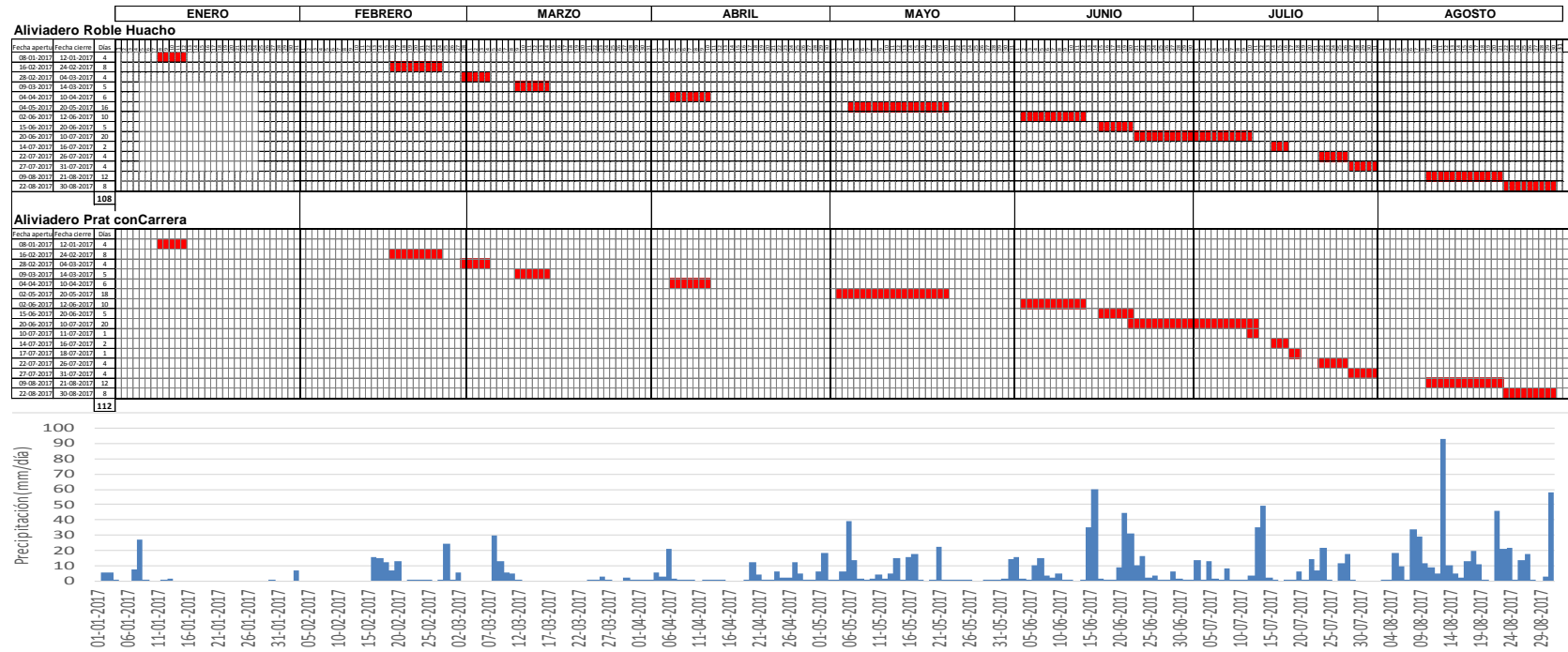


Figura 8.7. Activación de los vertederos de emergencia de Panguipulli durante el primer semestre de 2017. Las celdas rojas muestran los días en que cada vertedero está activado y en la parte inferior se muestran las precipitaciones diarias.

De la Figura 8.8, se observa que los volúmenes by-paseados (VBP) en la PTAS, se mantuvieron casi constantes entre 2012 y 2018, y casi se anulan en 2019, con un mayor volumen tratado (VT) desde el segundo semestre de 2018.

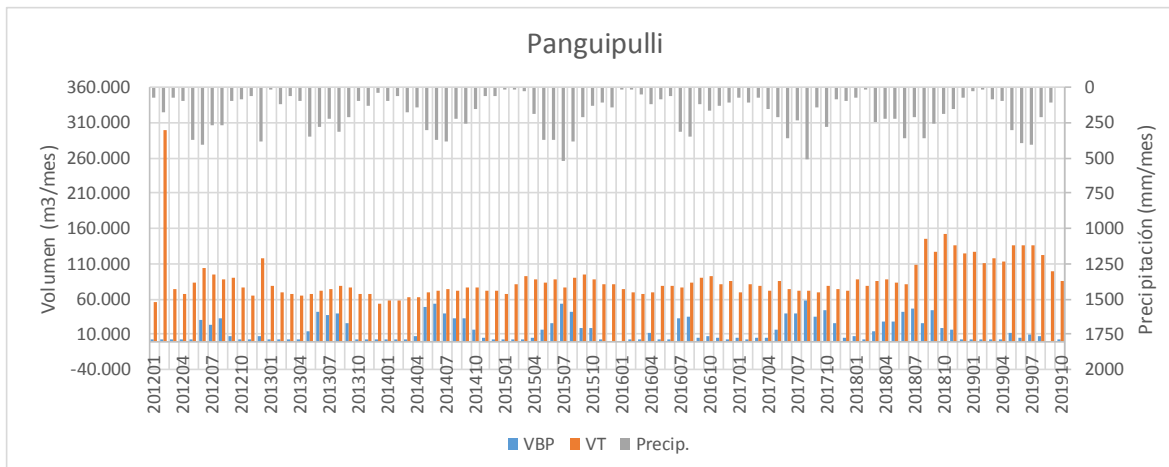


Figura 8.8 Relación entre precipitaciones, volumen by-paseado y volumen tratado en PTAS Panguipulli. VBP: volumen by-paseado; VT: volumen tratado en PTAS Fuente: PR 023

8.6. Sistema de recolección y disposición de Puerto Varas.

8.6.1. Sistema de recolección

La Figura 8.9 muestra la red de recolección de Puerto Varas, con un 63% impermeable y 59% de PVC.

El sistema de recolección de Puerto Varas cuenta con 4 PEAS: Puerto Chico, Santa Rosa, Llanquihue y GPR, esta última alejada de la ciudad:

- **PEAS Puerto Chico:** construida en 1992, se ubica en el sector sur de Puerto Varas e impulsa hacia la PEAS Santa Rosa, paralelamente a la costanera.
- **PEAS Santa Rosa,** construida en 1960, se ubica al norte de Puerto Varas, recibe la descarga de la PEAS Puerto Chico y del afluente del sector centro y norte. Impulsa hacia Llanquihue a través de una impulsión de 846 m y D=350 mm, la que se encuentra en proceso de reemplazo por una impulsión de D=500 mm. A la impulsión le sigue una aducción de cemento asbesto D=500 mm de 5688 m hasta Llanquihue.

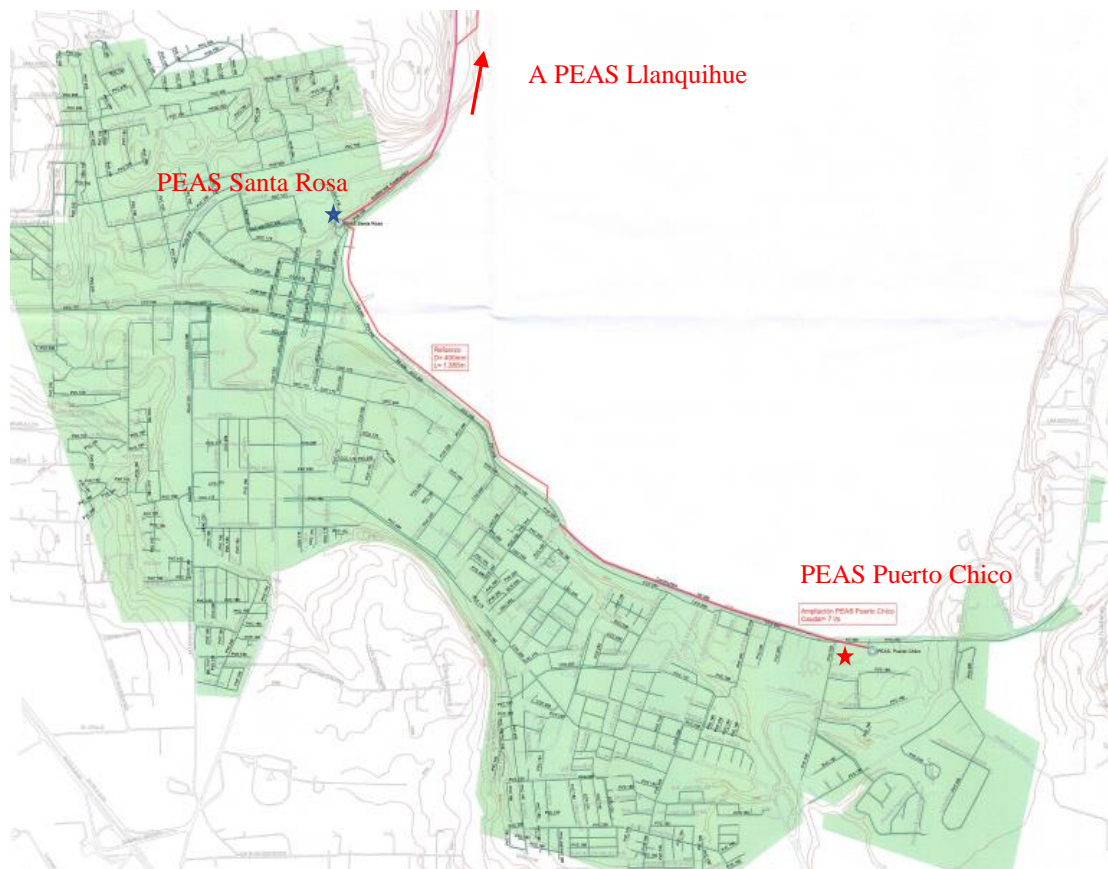


Figura 8.9. Red de recolección de Puerto Varas. Fuente: Actualización PD Puerto Varas (2016)

- **PEAS Llanquihue**, construida en 2002 se ubica en el recinto Vicente Pérez Rosales de Llanquihue e impulsa las aguas de Puerto Varas y Llanquihue hacia la PTAS.
- **PEAS condominio GPR:** se trata de un área alejada de la ciudad y de pequeña capacidad, por lo que no se ahonda más en esta PEAS, ya que es de escasa incidencia en la materia del presente estudio. Las características de las 4 PEAS se presentaron en la Tabla 8.3

8.6.2. Sistema de disposición

Las aguas servidas de Puerto Varas y Llanquihue se impulsan desde la PEAS Llanquihue hasta una PTAS ubicada a unos 4 km al nor-oriente. Los detalles y evaluación de la capacidad de la PTAS se adjuntan en el Anexo 7 y se resumen en la Tabla 8.6.

La PTAS tendría como factor limitante al año 2030 la tasa de overflow a caudal medio, pudiendo recibir un caudal máximo por infiltración y agua lluvias de 90 L/s, con respecto al caudal de aguas servidas proyectado. En consecuencia, como la PTAS sirve tanto a Puerto Varas como a Llanquihue, tiene una capacidad limitada de recibir aguas adicionales a las aguas servidas.

Tabla 8.6. Resumen de la evaluación de la PTAS de Llanquihue.

Parámetro	P.Varas & Llanquihue
Datos Reactores	
Volumen unitario del reactor (m3)	4.562,1
N° reactores	2
Volumen aireación (m3)	9.124,2
Datos Sedimentadores	
Area unit sedimentador (m2)	529,8
N° sedimentadores	2
Total area sedimentación (m2)	1.059,6
Volumen (m3)	2.998,7
Altura agua sedim. (m)	2,83
Capacidad Hidráulica	
Q medio (L/s)	196,32
Q máximo (L/s)*	318
Capacidad de Carga	
Carga afluyente total (KgDBO/d)	4.145,3
Pob. Equivalente (N° hab)	61.870
Cargas teórica 2025	
Q medio (L/s)	72,8
Carga afluyente total (KgDBO/d)	2.351,1
Pob. Equivalente (N° hab)	35.091,0
Q infiltración teorico 2025 (L/s)	31,4
Nota: * factor limitante: overflow a caudal máximo	

La capacidad de la PTAS queda también reflejada en la Figura 8.10, donde se compara el caudal total (volumen tratado + by-paseado) con el caudal medio mensual indicado por ESSAL en la NBI.

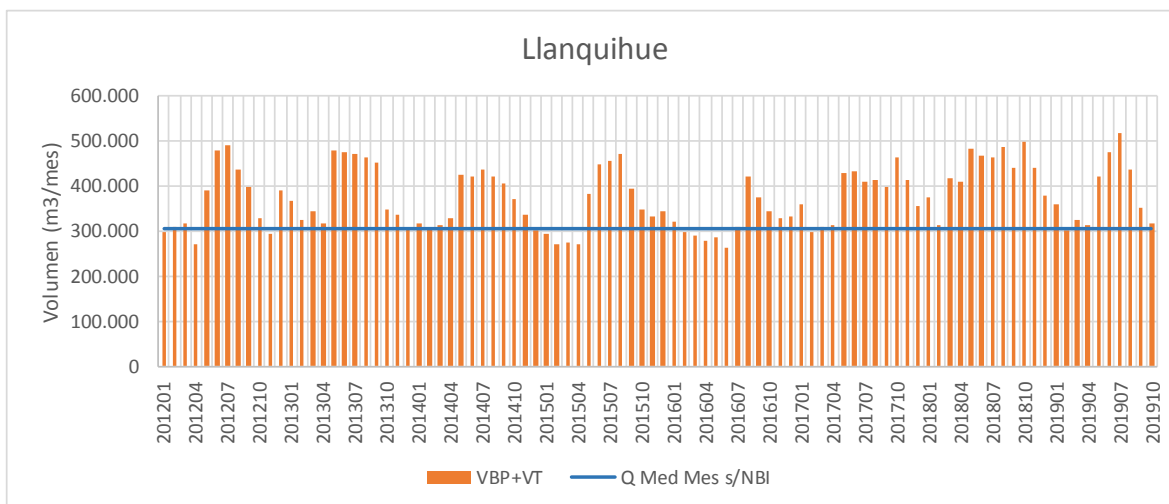


Figura 8.10. Relación entre caudal total registrado (VBP+VT) y caudal medio mensual considerado en la NBI. PTAS Llanquihue y Puerto Varas (2012-2019).

8.6.3. Sistema de recolección de aguas lluvias de Puerto Varas

Puerto Varas cuenta con su Plan Maestro (PMALL) de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias desde 2017⁶.

La Figura 8.11 muestra gráficamente la extensión y ubicación de los colectores y vías de escurrimiento de aguas lluvias existentes al momento de realizar el PMALL. Puerto Varas disponía en 2017 de 19.582 m de colectores de aguas lluvias y de 419 cámaras de inspección, lo que representa un 21,3% de la extensión de la red de aguas servidas.

La red de aguas lluvias tiene unas 24 descargas al lago existentes, de las cuales 2 involucran mezcla con aguas servidas: Puerto Chico y Santa Rosa. Estas descargas son materia de objeciones por parte de la comunidad. La Figura 8.12 muestra la relación entre precipitaciones, caudales tratados, by-paseados y descargas al lago.

El estudio hidrológico realizado para el PMALL permite dimensionar las obras necesarias para diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, como lo requiere este tipo de estudios. Las intensidades medias máximas de lluvia obtenidas se resumen en la Tabla 8.19.

⁶ Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2017), Consultoría PM-41, “Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias”, Agosto 2017, para la Dirección de Obras Hidráulica, MOP:

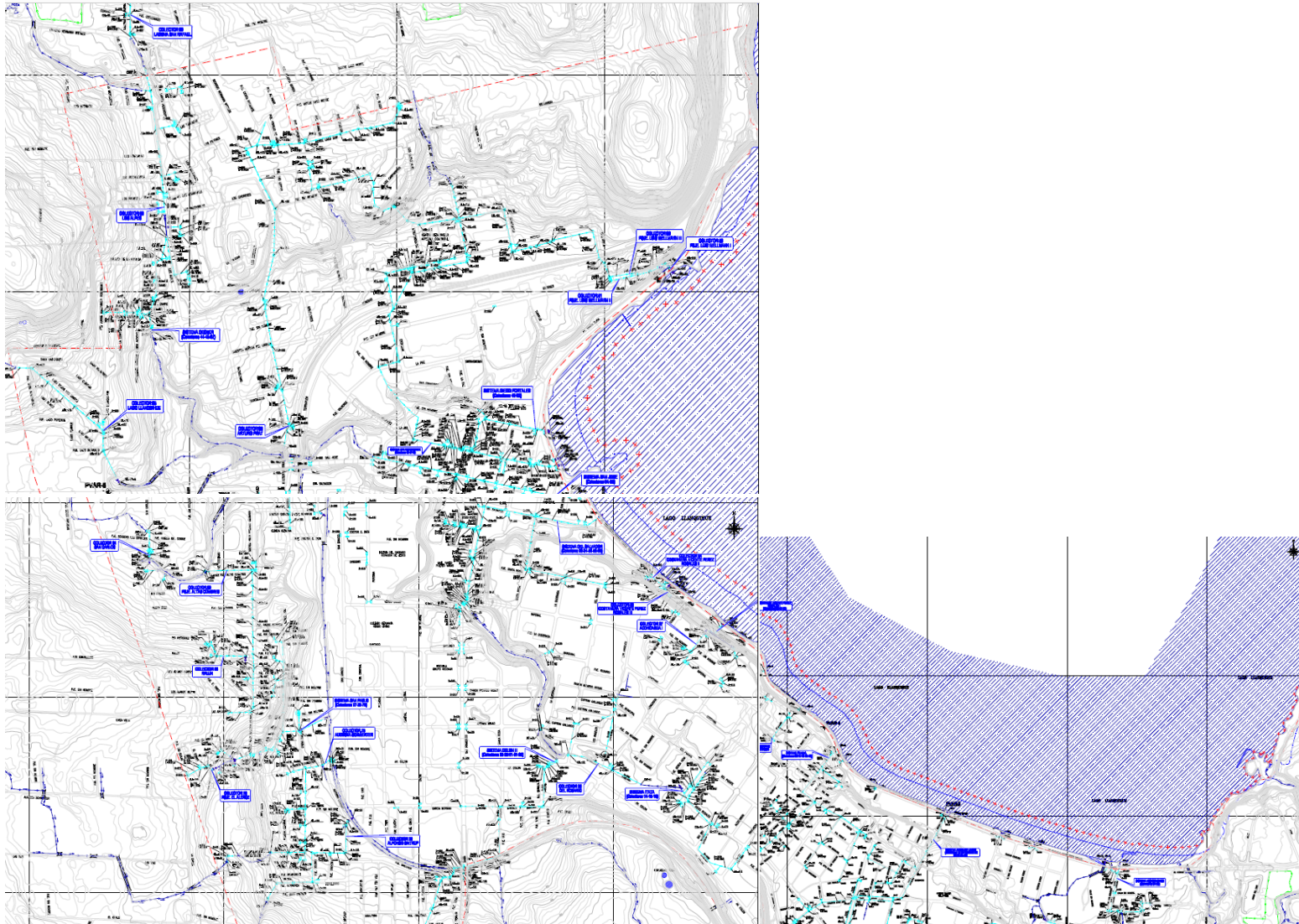


Figura 8.11 Plano catastral de la red de agua lluvia de Puerto Varas. Fuente: Ayala y Cabrera PMALL (2017)

El levantamiento y catastro realizado detectó 3 sectores donde las aguas lluvias se mezclan con aguas servidas. Al respecto, es ilustrativo citar lo siguiente (Sección 4.2.3.1 del PMALL): sector Imperial con Volcán Tronador; Sector San Francisco con Ramón Ricardo Rosas y Andrés Bello; Sector San Francisco altura Pio Nono.

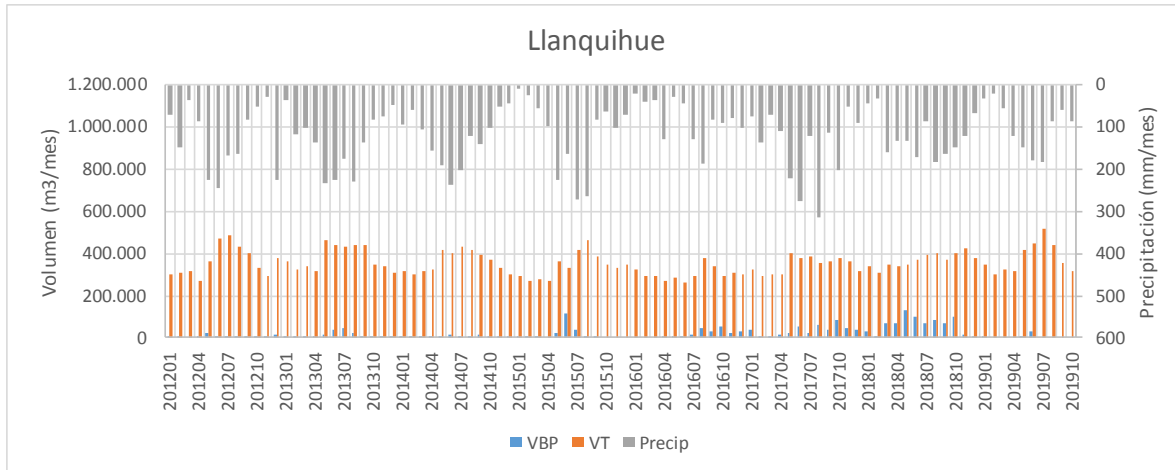


Figura 8.12 Relación entre precipitaciones, volumen by-paseado y volumen tratado en PTAS Llanquihue. VBP: volumen by-paseado; VT: volumen tratado en PTAS Fuente: PR 023

Tabla 8.19. Intensidades medias máximas (mm/h) para diferentes duraciones y períodos de retorno. Fuente: Memoria Consolidada, PMALL de Puerto Varas, Ayala Cabrera Ingenieros Consultores Ltda., agosto de 2017.

t (min)	T=2 años	T=5 años	T=10 años	T=25 años	T=50 años	T=100 años
15	19,3	23,8	26,6	29,9	32,3	34,6
30	14,3	17,7	19,7	22,2	24,0	25,7
45	12,0	14,9	16,6	18,7	20,1	21,6
60	10,1	12,5	13,9	15,7	16,9	18,1
75	9,7	11,9	13,3	15,0	16,2	17,3
90	8,9	11,0	12,3	13,9	15,0	16,0
105	8,4	10,3	11,5	13,0	14,0	15,0
120	8,5	10,5	11,8	13,2	14,3	15,3

9. Caracterización de la facturación de alcantarillado e infiltración

La facturación por concepto de alcantarillado se realiza a partir del volumen medido de agua potable, aplicando un factor de ajuste que se denomina “factor de recuperación” (R). Normalmente, a menos que se demuestre lo contrario, se adopta un $R=0,80$, lo que implica que se asume que el 80 % del agua suministrada a la población será descargada a través del alcantarillado.

La determinación de R es compleja si se desea incorporar el caudal de infiltración e ingreso de aguas lluvias y el caudal de exfiltración, donde eventualmente el R podría ser mayor que 1.

El esquema conceptual de la Figura 9.1, ayuda a visualizar un sistema para la empresa real, con la siguiente simbología:

- V1: volumen de agua potable producida
- V2: volumen agua potable facturada con micromedición
- V3: volumen ingresado a la red de recolección desde viviendas sin/con micromedición
- V4: volumen de infiltración e ingreso de aguas lluvias
- V5: volumen de exfiltración
- V6: volumen que ingresa a PTAS
- V7: vertedero de tormenta
- ΔV_{fis} : pérdidas físicas en la red de distribución a.p.
- ΔV_{com} : pérdidas comerciales en la micromedición
- PTAS: planta de tratamiento de aguas servidas

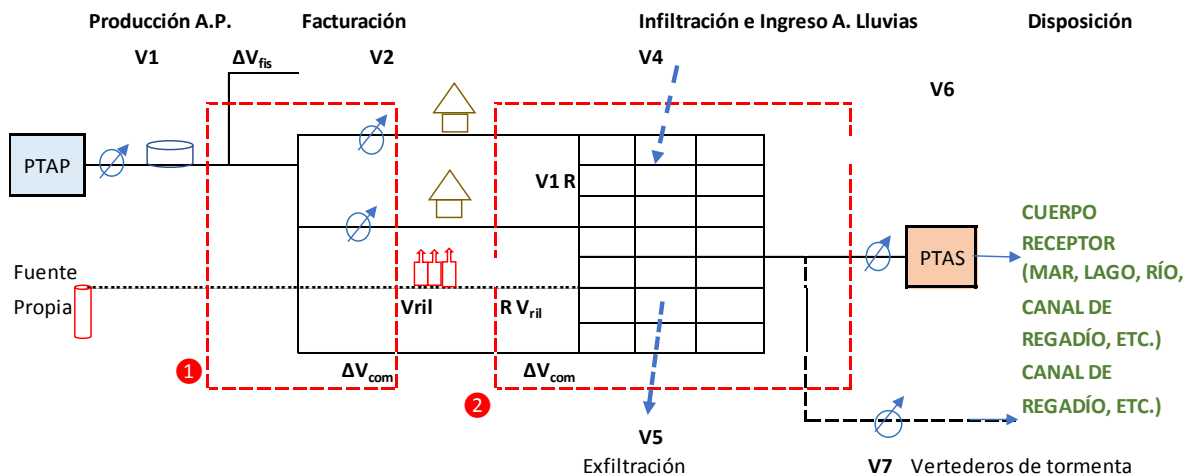


Figura 9.1. Esquema conceptual de un sistema de recolección de aguas servidas

Para la empresa modelo utilizada para fines tarifarios, se considera que la red de colectores es impermeable, siendo obligación de la concesionaria mantener su estanqueidad. Similarmente, la red de recolección modelo es del tipo separada, lo que implica que no hay ingreso de aguas lluvias, salvo en casos puntuales donde pudiera existir un sector de red unitaria.

Sin embargo, en la empresa modelo, el único lugar por donde eventualmente pudiera ingresar agua de infiltración y de aguas lluvias sería el tramo de red domiciliar ubicada aguas arriba de la UD. Estas aguas no son registradas en el consumo de agua potable que sirve de base para la facturación. Ante el eventual ingreso de aguas ajenas a las aguas servidas la concesionaria no tiene atribuciones para mejorar la impermeabilidad de este tramo, aunque si tiene facultad de controlar el ingreso de aguas lluvias, pudiendo incluso clausurar la UD⁷.

Hoy existe la tecnología para identificar y monitorear las viviendas que ingresan aguas lluvias a la UD, como se ha indicado en el Anexo 6 (tecnología DTS: Distributed Temperature Sensing). Esta tecnología se basa en que, durante una lluvia, si la vivienda tiene sus descargas de aguas lluvias de techos y patios conectados a su alcantarillado interior, por la UD ingresará un flujo de agua importante a una temperatura diferente de la temperatura de las aguas servidas.

Sin embargo, es posible que la detección de un caudal de infiltración menor pero constante desde aguas arriba de la UD no sea factible de identificar mediante la tecnología DTS.

Por lo anterior, podría ser razonable y eficiente (en el sentido tarifario) considerar un determinado porcentaje de infiltración en el tramo aguas arriba de la UD (excluyendo la instalación domiciliar bajo la vivienda).

Para la determinación de dicho porcentaje podrían realizarse mediciones en una muestra representativa de viviendas de localidades donde la napa está permanentemente o estacionalmente sobre la UD. Esta información debería ser suministrada por la concesionaria, bajo un protocolo acordado con el Regulador.

La determinación del factor de recuperación (R) a partir del modelo conceptual de la Figura 9.1 se puede lograr despejándolo del siguiente balance volumétrico:

$$R (V2 + Vcom) + Vril + V41 + V42 = V5 + V6 + V7$$

lo que exige conocer las el volumen facturado de agua potable (corregido por su incertidumbre metrológica), las pérdidas comerciales, el volumen de Riles que ingresan a la red de recolección y la infiltración y exfiltración. La ecuación anterior se obtiene del

7 Art. 45 del DFL 382/88

balance realizado en el volumen de control “2” enmarcado en color rojo en la figura anterior. También es recomendable verificar el volumen facturado (V2) con un balance en el volumen de control “1”, lo que requiere información adicional. Por lo anterior, la determinación del coeficiente de recuperación está fuera del alcance del presente estudio.

10. Campañas de medición de caudales de infiltración realizadas en el presente estudio.

Las campañas de medición de parámetros físico-químicos y de caudal, para las 3 localidades en estudio, se han organizado en 2 partes:

- Campaña en tiempo seco, realizadas en las siguientes fechas:
 - Panguipulli: 18 y 19 de marzo 2020
 - Los Muermos: 13 y 14 de abril 2020
 - Puerto Varas: 1 y 2 de abril 2020
- Campaña en tiempo lluvioso, se llevarán a cabo en el mes de junio.
 - Puerto Varas: 2 y 3 de junio 2020
 - Los Muermos: 8 y 9 de junio 2020
 - Panguipulli: 17 y 18 junio 2020

La campaña en tiempo seco permitirá cuantificar la infiltración hacia la red de colectores y la campaña con lluvia permitirá observar el efecto diferencial de la incorporación de aguas lluvias a la red.

Dado que la infiltración es función de la profundidad de la napa, los resultados serán válidos para las fechas de los muestreos. No obstante, estos darán una primera aproximación a los caudales de infiltración y de ingreso de aguas lluvias.

La metodología aplicada para determinar la infiltración se basa en el balance de masa y ha sido presentada en el Anexo 1. Para su aplicación, se realiza una campaña de muestreo, consistente en tomar muestras horarias de las aguas servidas, durante 24 horas y analizarlas separadamente (no es una muestra compuesta) para los siguientes parámetros conservativos: NKT, P, DQO y SST.

Las muestras han sido tomadas por ETMA y analizadas por Hidrolab. En el Anexo 9 se adjuntan los respectivos informes del laboratorio. Además, cada hora se registró el caudal instantáneo mediante un flujómetro del tipo área-velocidad. En el Anexo 10 se incluyen los reportes de ETMA con los caudales.

La metodología para determinar el caudal de infiltración ha sido propuesta para aguas servidas domésticas, sin aporte de RILes, los que pudieran agregar alguno de los parámetros indicados o interferirlos. La determinación de la infiltración se basa en que la

concentración de los parámetros analizados tendrá una variación apreciable entre el día y la noche. En este último caso, porque la proporción de agua infiltrada con respecto a las aguas servidas estrictas es mayor que en el día, se observará una disminución (dilución) de la concentración respectiva. Un análisis de balance de masas permite inferir el caudal de infiltración.

10.1. Campaña en tiempo seco para las localidades de Los Muermos, Panguipulli y Puerto Varas

10.1.1. Resultados del muestreo y cálculo de la infiltración.

Los resultados del muestreo en Los Muermos, Panguipulli y Puerto Varas se resumen en la Tabla 10.1, donde se muestra el caudal de infiltración (Q_{ECP}) y el de su incertidumbre asociada (ΔQ_{ECP}). Los detalles se presentan en el Anexo 4.

Para el muestreo horario se utilizó un muestreador automático SIGMA 900 MAX. Los caudales se midieron con un flujómetro área-velocidad Teledyne ISCO 4250. La certificación de calidad de los equipos se incluye en el Anexo 8

Los puntos de muestreo fueron:

- Los Muermos: cámara de inspección ubicada en el recinto de la PTAS,
- Panguipulli: se utilizaron los caudales afluentes a la PTAS, aunque el muestreo de calidad se hizo en la PEAS Carmela Carvajal. Los caudales de esta PEAS se descartaron por ser irreales.
- Puerto Varas: el muestreo se realizó en la cámara de ingreso a la PEAS Llanquihue.

Tabla 10.1. Resumen de resultados de infiltración en tiempo seco.

Localidad	Fechas	Caudal de infiltración (L/s)	Incertidumbre (L/s)	Parámetros explicativos
Los Muermos	13 y 14 de abril 2020	0,83	4,65	NKT y P
Panguipulli	18 y 19 de marzo 2020	5,8	3,9	DQO
Puerto Varas	1 y 2 de abril 2020	4,47	4,66	NKT, P y DQO (*)
Nota: (*) valores sin outliers en NKT y DQO				

10.1.2. Resumen de los resultados de infiltración obtenidos en tiempo seco.

Con el fin resumir los indicadores de infiltración obtenidos en cada localidad (Anexo 4) se utilizará la información sobre la materialidad de la red (Tabla 3.1) y sobre el porcentaje de red bajo napa (Tabla 3.11).

Se utiliza un indicador de infiltración (L/s) por kilómetro de red baja la napa, construido según se indica en la Tabla 10.2.

De acuerdo al procedimiento de cálculo anterior, las tasas de infiltración serían:

- Los Muermos: 0.08 (L/s/km)
- Panguipulli: 0,34 (L/s/km)
- Puerto Varas: 0,11 (L/s/km)

El caso de Panguipulli resulta ser el de mayor infiltración unitaria, debido a que posee la más alta infiltración (5,8 L/s) y su red es casi un tercio de la red de Puerto Varas.

10.2. Campañas de medición de caudales de infiltración (tiempo lluvioso).

10.2.1. Resultados del muestreo y cálculo de la infiltración.

Los resultados del muestreo en Los Muermos, Panguipulli y Puerto Varas se resumen en la Tabla 10.3, donde se muestra el caudal de infiltración (Q_{ECP}) y el de la incertidumbre asociada a la determinación del caudal de infiltración (ΔQ_{ECP}). Ver detalles en Anexo 4.

Los puntos de muestreo fueron:

- Los Muermos: en una cámara de inspección ubicada en el recinto de la PTAS
- Panguipulli: el muestreo de calidad y la medición de caudales se hizo en el afluente a la PTAS.
- Puerto Varas: el muestreo se realizó en la cámara de ingreso a la PEAS Llanquihue con los caudales impulsados por la PEAS Santa Rosa

Tabla 10.2. Resumen de resultados de infiltración y determinación de un indicador de infiltración unitario.

Localidad	Infiltración (L/s)	Red bajo napa (%)	Red total (km)	Red bajo napa (km)	Tasa de infiltración (L/s/km)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
LOS MUERMOS	0,83	50,30	21,37	10,75	0,08
PANGUIPULLI	5,80	48,00	35,54	17,06	0,34
PUERTO VARAS	4,50	46,25	91,61	42,37	0,11
Notas:	Columnas (1), (2) y (3) son datos				
	Columna (4) = (2)*(3) / 100				
	Columna (5)= (1) / (4)				

La información pluviométrica horaria se ha obtenido de www.agrometeorologia.cl (INIA) y se ha complementado con el registro del agua caída en cada punto de muestreo durante las 24 horas de duración, mediante la instalación de un pluviómetro portátil.

10.2.2. Resumen de los resultados de infiltración e ingreso de aguas lluvias en tiempo lluvioso.

La Tabla 10.3 resume los resultados obtenidos en la campaña en tiempo lluvioso, los que, como ya se ha señalado corresponde a una mezcla de infiltración desde la napa y aportes de aguas lluvias desde la red pública y domiciliaria.

En las secciones siguientes de este informe se analizarán y verificarán estos resultados mediante otros procedimientos.

10.3. Comparación de los resultados de tiempo seco y tiempo lluvioso.

La Tabla 10.4 y la Figura 10.1 compara y resume los diferentes resultados obtenidos, tanto para tiempo seco como lluvioso.

Aparte de los valores estimados para la infiltración como para la mezcla de infiltración y aguas lluvias, se ha incluido el valor de la incertidumbre, el cual es, en general, menor en tiempo seco, con la excepción de Panguipulli. Esto posiblemente es reflejo de la mayor estabilidad en el caudal y en los parámetros en tiempo seco.

Tabla 10.3. Resumen de resultados obtenidos en campaña en tiempo lluvioso.

Localidad	Fechas	Caudal de infiltración y Aguas Lluvias (L/s)	Incertidumbre (L/s)	Parámetros explicativos
Los Muermos	8 y 9 de junio 2020	8,2	± 1,6	N total
Panguipulli	17 y 18 de junio 2020	17,8	± 2,5	NKT, N total y DQO
Puerto Varas	2 y 3 de junio de 2020	55,6	± 13,9	NKT, N total y P

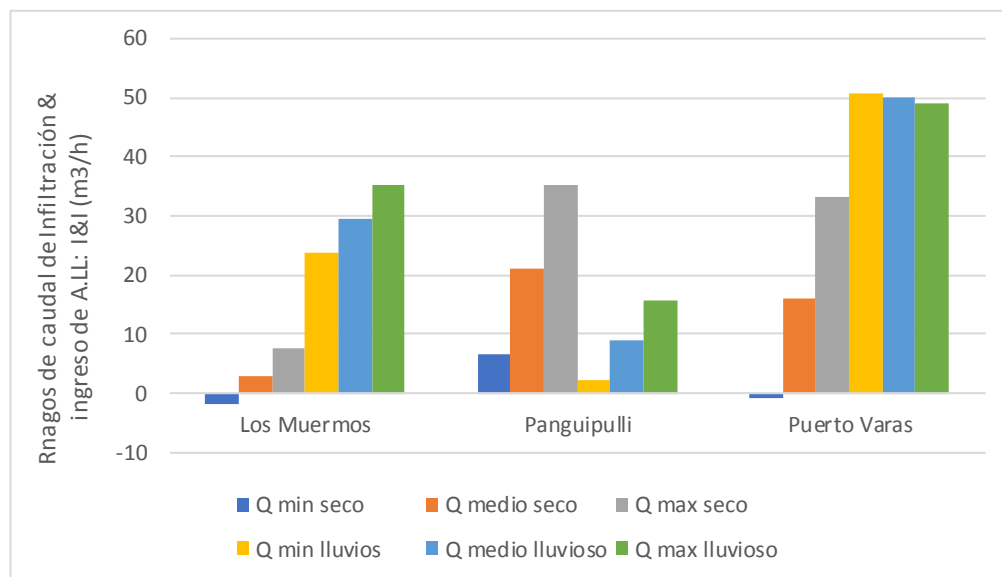


Figura 10.1. Rangos de caudal de infiltración y de infiltración + agua lluvias en Los Muermos, Panguipulli y Puerto Varas

Tabla 10.4. Resumen de resultados obtenidos en campaña en tiempo seco y lluvioso.

Localidad	Fecha	Q de infilt. (L/s)	Q de infilt. y A. LL. (L/s)	ΔQ seco (L/s)	ΔQ lluvioso (L/s)	Parámetros explicativos
Los Muermos	13 y 14 de abril 2020	0,8		$\pm 1,3$		NKT, N total y P
	8 y 9 junio 2020		8,2		$\pm 1,6$	N total
Panguipulli	18 y 19 marzo 2020	5,8		± 4		NKT, N total y DQO
	17 y 18 junio 2020		17,8		$\pm 2,5$	NKT, N total y DQO
Puerto Varas	1 y 2 abril 2020	4,5		$\pm 4,7$		NKT, P y DQO
	2 y 3 junio 2020		55,6		$\pm 13,9$	NKT, N total y P

10.4. Validación de los resultados mediante métodos flujométricos

Para validar los resultados obtenidos mediante los métodos químicos, se utilizaron los tres métodos flujométricos (o volumétricos) descritos en la sección 5.3.2.

Los tres métodos flujométricos se aplicaron sobre la siguiente data:

- Caudales obtenidos por este consultor en tiempo seco y lluvioso
- Caudales registrados por ESSAL durante un mes en las subcuencas de Panguipulli y Puerto Varas

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 10.5, de donde se observa que el Los Muermos los métodos flujométricos no son confiables por estar influidos por la incorrecta utilización de los flujómetros electromagnéticos (flujo a napa libre).

En Panguipulli los resultados de los métodos químicos en tiempo seco se aproximan a los obtenidos con los métodos flujométricos, incluso con los obtenidos por ESSAL en 2018. Sin embargo, en tiempo lluvioso los resultados son muy disímiles al compararlos con los caudales afluentes a la PTAS.

En síntesis, la aplicación de los métodos flujométricos validan los obtenidos por métodos químicos.

Tabla 10.5. Resumen comparativo entre los caudales de infiltración obtenidos por métodos químicos y volumétricos.

Localidad	Método aplicado	Fecha de muestreo	Tiempo seco	Tiempo lluvioso	Parámetros explicativos
			Q Infiltración (L/s)	Q A.LL + Infiltr. (L/s)	
Los Muermos	Químico	13 y 14 Abril 2020	0,83		NKT, N total, P
Los Muermos	Químico	8 y 9 de Junio 2020		6,60	N total-incertidumbre
Los Muermos	Volumétrico	13 y 14 Abril 2020	1,04		
Los Muermos	Volumétrico	8 y 9 de Junio 2020		5,00	Promedio
Los Muermos	Volumétrico	8 y 9 de Junio 2020		6,90	Promedio, sin outlier
Panguipulli	Químico	18 y 19 marzo 2020	5,80		NKT, Nt, DQO (Q PTAS)
Panguipulli	Químico	17 y 18 junio 2020		17,8 ± 2,5	NKT, Nt, DQO c/incertidumbre
Panguipulli	Volumétrico	18 y 19 marzo 2020	16,00		Promedio WWP, MFF y SS
Panguipulli	Volumétrico	17 y 18 junio 2020		17,80	Promedio
Puerto Varas	Químico	1 y 2 abril 2020	4,50		NKT, P y DQO
Puerto Varas	Químico	2 y 3 junio 2020		55,60	NKT, Nt y P
Puerto Varas	Volumétrico	1 y 2 abril 2020	3,30		SS
Puerto Varas	Volumétrico	2 y 3 junio 2020	4,30		SS sin outlier

11. Caracterización y cuantificación de los caudales de infiltración e ingreso de aguas lluvias a considerar sin y con Plan Maestro de Aguas Lluvias.

11.1. Introducción.

Si bien el drenaje de aguas lluvias y su gestión, no está dentro del ámbito legal de las empresas sanitarias, es inevitable, como sucede en la práctica, que los sistemas de aguas servidas y de aguas lluvias se encuentren relacionados.

Por una parte, existen algunos sectores de las ciudades con un sistema de alcantarillado unitario (p.e. en el centro de Santiago), lo cual es casi imposible modificar y separar, por los grandes costos y trastornos viales que causaría.

Además, dado que en muchas ciudades aún no se ha construido un sistema primario de recolección de aguas lluvias, como es el caso de Panguipulli, cuyo Plan Maestro está en etapa de ejecución, algunos sumideros de aguas lluvias descargan al alcantarillado, sin que las empresas sanitarias estén legalmente autorizadas a desconectarlos (Art. 3, Ley 19.525).

En ciudades mediterráneas, como Santiago, por ejemplo, la descarga de aguas servidas mezcladas con aguas lluvias, durante eventos de mucha pluviometría, se realiza a los cursos superficiales, por vertederos de tormenta o by-paseando las PTAS, las que no están dimensionadas para recibir los caudales punta así generados. Esta situación es tácitamente aceptada, dado que en dichos eventos los caudales de los cursos receptores se ven incrementados al recibir aguas lluvias de los terrenos ubicados aguas arriba dentro de sus respectivas cuencas. Esto genera un gran caudal de dilución que minimiza o “enmascara” la contaminación producida por las aguas servidas.

En ciudades costeras, los excesos de agua servidas incrementadas por las lluvias van directamente al mar, donde la dilución es aún mayor que en un curso superficial.

Otra situación muy diferente ocurre cuando las descargas se producen en un cuerpo lacustre, como Panguipulli y Puerto Varas. En estos casos las descargas se producen en el centro de las ciudades y a poca distancia de la orilla. La capacidad de dilución y/o de transporte de los residuos es menor, ya que queda sujeta a la circulación del agua en el lago. Además, en estos casos, el agregar carga orgánica (DBO), bacteriológica y nutrientes (N y P) atentan significativamente contra la estabilidad ambiental del lago, sin mencionar el efecto estético y emocional sobre la población, cuando estos cuerpos tienen un uso recreacional y turístico estival.

Por otro lado, en las ciudades donde se encuentra construido el Plan Maestro de aguas lluvias, como es el caso de Puerto Varas, sigue existiendo ingreso de aguas lluvias, tanto desde sumideros ubicados en la vía pública como a través de parte de las instalaciones

sanitarias domiciliarias, cuya propiedad y gestión no son parte del activo de las empresas sanitarias, por encontrarse dentro de propiedad privada.

Se debe distinguir el concepto de “infiltración”, el que normalmente se entiende como el ingreso de aguas desde la napa que rodea a un colector y el de “ingreso de aguas lluvias”. El primero, no está directamente relacionado a las aguas lluvias, aunque estas últimas indirectamente incrementan la infiltración, cuando saturan y/o elevan la posición de la napa freática durante o después de una lluvia.

En la Figura 11.1, para Puerto Varas (subcuenca N° 6), se muestra el efecto de las precipitaciones sobre el caudal registrado a la salida de dicha subcuenca. Para el período entre el 23 y 28 de julio de 2019, donde prácticamente no hubo precipitación el caudal baja oscilando en función de la curva de variación horaria del caudal de aguas servidas, tendiendo a una infiltración base del orden de 2 a 3 L/s. Precipitaciones del orden de 4 a 6 mm/hora tienen como respuesta un incremento de 2 a 3 veces el caudal

La Figura 11.2 representa los 3 componentes posibles del caudal que transporta un colector.

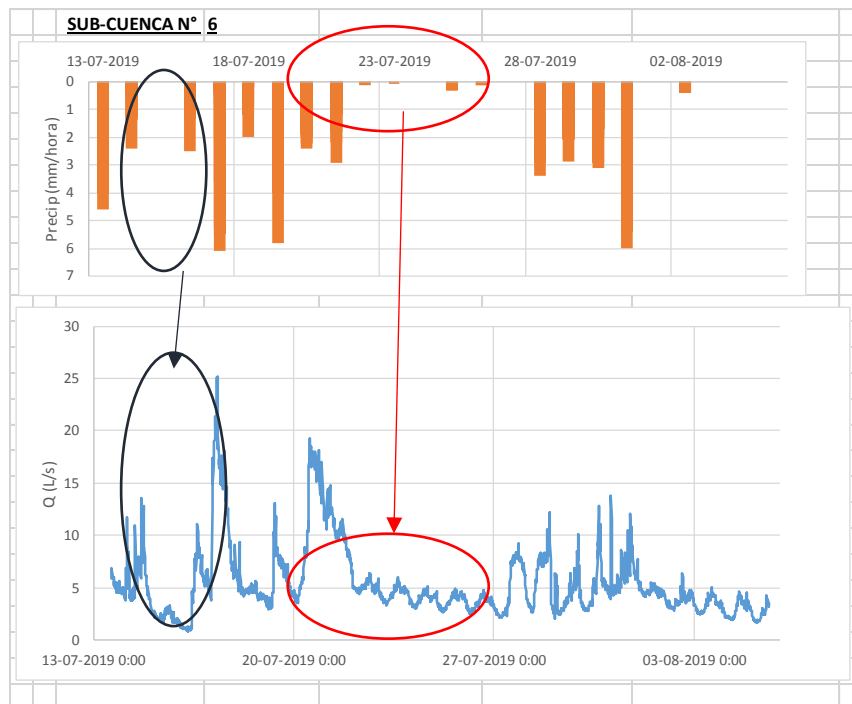


Figura 11.1. Interacción entre precipitación y caudal efluente de la subcuenca n° 6 de Puerto Varas. Fuente: registro de caudales de ESSAL y precipitación en Puerto Montt.

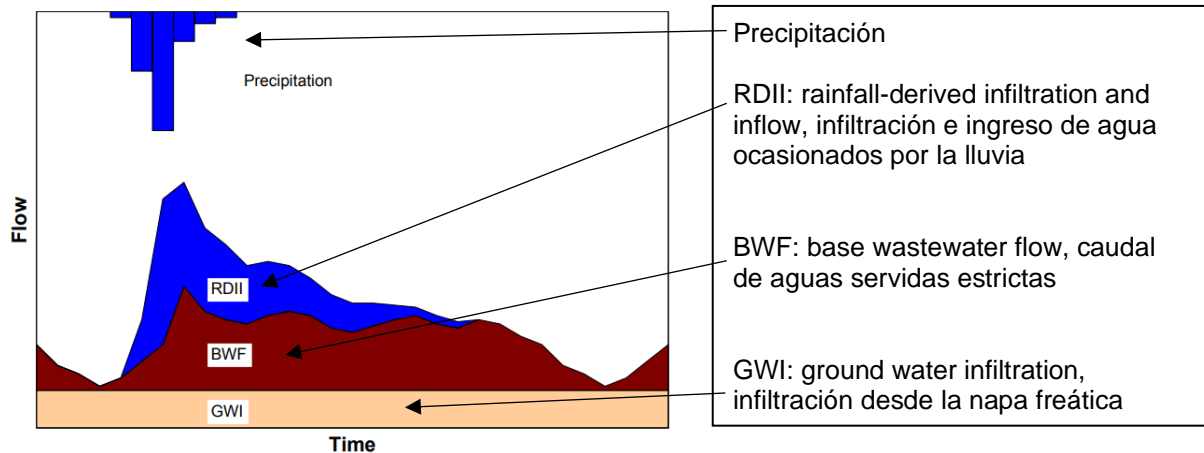


Figura 11.2. Componentes de las aguas servidas en tiempo lluvioso. Fuente: EPA (2007)

En el presente Informe se ha demostrado la aplicación de métodos químicos para determinar la infiltración (GWI), tomando como base la información registrada en campañas de muestreo de parámetros de calidad de aguas servidas y de caudal.

Existen técnicas del ámbito de la hidrología urbana⁸ que permiten, conocida la curva de caudal versus tiempo, separar las 3 componentes indicadas en la Figura 11.2, para lo cual se requiere conocer la variación horaria de precipitación y la variación horaria correspondiente de caudal a la salida de una cuenca o subcuenca del sistema de alcantarillado. Este tipo de registro a nivel horario es fundamental para poder determinar el caudal de aguas lluvias que ingresa a la red de alcantarillado, ya sea en localidades sin o con Plan Maestro. Además, como ya se ha señalado en el capítulo anterior, es necesario que el registro horario de precipitación sea obtenido directamente en la localidad y no sea el de una estación pluviográfica cercana, ya que se ha observado que difieren significativamente.

11.2. Alternativas a nivel conceptual.

Por lo anterior, es razonable pensar que la solución “integral” del problema de aguas lluvias urbanas, debiera tener los siguientes componentes y “actores”, en forma simultánea:

- Red primaria de aguas lluvias: corresponde a la red de drenaje que transporta las aguas lluvias hasta su punto de disposición final. Esta red es responsabilidad del Estado a través del Ministerio de Obras Públicas, ejecutando los Planes Maestros

⁸ EPA (2007), EPA (2017), etc.

de Aguas Lluvias, a los cuales se refiere la ley 19.525/1997 de aguas lluvias y construyendo y manteniendo la red primaria.

- Red secundaria de aguas lluvias: corresponde a la red que recoge las aguas lluvias desde los sumideros. Su diseño, construcción y mantenimiento es responsabilidad del Ministerio de Vivienda a través de los SERVIU, como lo establece la Ley 19.525/1997
- Las empresas sanitarias, que en la actualidad son responsables de la mantención y reposición de la UD⁹. La carencia o mal funcionamiento de las redes de aguas lluvias les afecta directamente y deben velar porque estas no ingresen a sus redes de recolección.
- Los clientes son responsables de no ingresar aguas lluvias a sus redes domiciliarias de alcantarillado, lo cual debe ser fiscalizado y controlado eficazmente por la concesionaria sanitaria. Las buenas prácticas internacionales¹⁰, dan recomendaciones para la gestión de las aguas lluvias a nivel domiciliario. Esto podría requerir la colaboración técnica y/o económica del gobierno local (Municipalidad p.e.) y/o de la misma concesionaria.

11.3. Medición del aporte de aguas de infiltración e ingreso de aguas lluvias.

Como ya se indicado, la información necesaria para determinar el aporte de aguas de infiltración y de aguas lluvias es:

- Determinación de la infiltración: muestreo horario durante 24 horas y determinación de parámetros de calidad de agua servida como: NKT, P, DQO y SST, además de los caudales horarios. Esto debería hacerse al menos con una frecuencia trimestral (estacional).
- Registros horarios continuos de caudal de aguas servidas, se determina mediante el registro del caudal total en tiempo seco, al cual luego se le extrae la infiltración. Esto permite determinar el caudal base de aguas servidas (aguas servidas estrictas)
- Determinación del aporte de aguas lluvias a la red de recolección, se determina a partir del registro horario continuo del caudal total en tiempo lluvioso, al cual se le extrae la infiltración y el caudal base de aguas servidas.
- Se requiere conocer el hietograma de lluvia (mm/hora) del día de muestreo
- mediante un pluviógrafo, con registro horario
- Todos los registros deben ser almacenados en un data logger para su posterior retiro y procesamiento.

⁹ UD: definida por el RIDAA como aquella parte de la instalación de alcantarillado que va desde el colector público hasta la última cámara de inspección domiciliaria, exclusive

¹⁰ Kesik (2015)

La determinación de la infiltración y del caudal de ingreso de aguas lluvias puede efectuarse a nivel de una localidad completa, o a nivel de cada una de sus cuencas o subcuencas. A mayor nivel de detalle se requiere más información.

Un aspecto relevante se refiere a la metodología de medición y registro continuo del caudal en los colectores. Algunas empresas, como ESSAL, utilizan aforadores de tecnología “área-velocidad”. Sin embargo, esta tecnología tiene dos problemas que la hacen poco efectiva y poco recomendable:

- Su sensor de velocidad se obstruye frecuentemente con material sólido transportado por las aguas servidas (papeles, textiles, etc.) lo que interrumpe su medición y registro. Esta tecnología es más recomendable cuando se trata de mediciones puntuales de caudal o sin presencia de materiales que lo obstruyan.
- Cuando la altura de escurrimiento se mide con transductores de presión ubicados sobre el radier del colector, el rango de medición está limitado a alturas de escurrimiento mayores que 2-3 cm, por lo que no registra fielmente el caudal mínimo en colectores de diámetro pequeño.

Los flujómetros de tecnología electromagnética, como ya se ha señalado para el caso de Los Muermos, funcionan correctamente sólo si el flujo es a boca llena.

Se debe preferir instrumentos que no están en contacto con las aguas, por ejemplo:

- Sistemas área velocidad: sensores de flujo laser (laser flow sensor) y medición de nivel ultrasónico, como Teledyne ISCO (www.teledyneisco.com) u otro fabricante
- Sensor radar OFR, de Nivus (www.nivus.de) o de otro proveedor

Además, es deseable que se disponga de tramos rectos lo más cortos posible, aguas arriba y abajo del instrumento y que puedan operar con alto contenido de sólidos (flotantes y sedimentos) y, eventualmente, en sobrecarga de caudal (boca llena).

12. Caracterización hidrológica e hidrogeológica de los sistemas en estudio

Las localidades en estudio tienen un régimen pluviométrico anual, con precipitaciones todos los meses, aunque con un incremento significativo en la época invernal, como se aprecia en la Figura 12.1.

Por su cercanía, se observa que Los Muermos (estación Los Canelos) y Puerto Varas tienen precipitaciones mensuales muy similares, provocadas por los mismos frentes. Panguipulli tiene en general mayores precipitaciones en la época invernal, aunque el resto del año es menos lluvioso que Los Muermos y Puerto Varas.

En este capítulo se incluye el análisis de las series de tiempo de caudales afluentes a las PTAS, entre enero 2012 y octubre 2019 y obtenidos del PR23. Se incluye en el análisis

la información pluviométrica mensual de las estaciones El Tepual (para Los Muermos y Puerto Varas) y la estación Santa Carla y Lago Riñihue para Panguipulli. Esta información permite modelar la relación entre las precipitaciones y el caudal afluente a las PTAS.

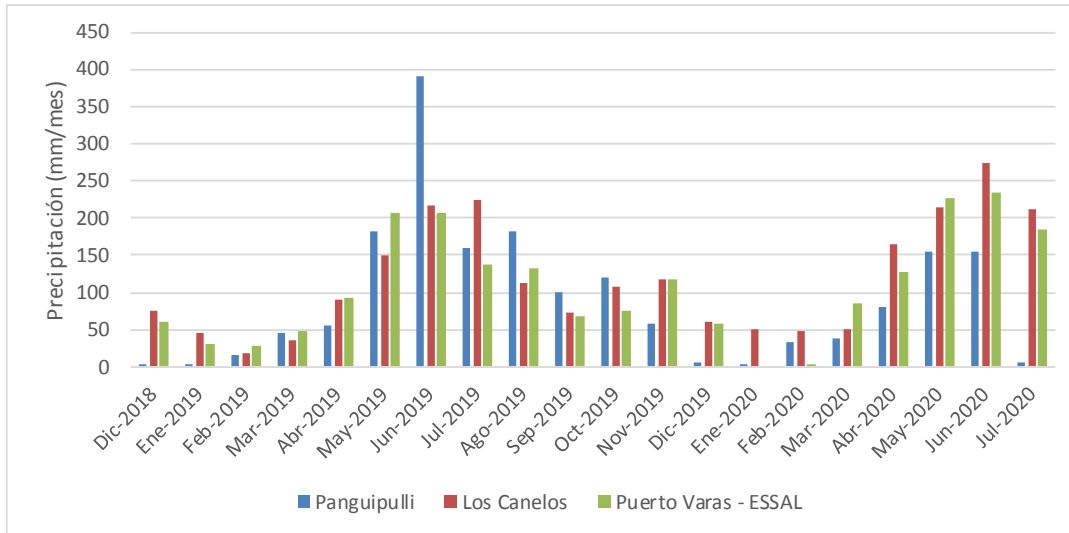


Figura 12.1. Régimen pluviométrico mensual de las localidades en estudio. Fuente: INIA, www.agrometeorologia.cl

12.1. Metodología

Las precipitaciones mensuales se correlacionan muy directamente con los caudales afluentes a las PTAS, considerados aquí como el volumen tratado (VT) por la planta más el volumen by-paseado (VBP), como puede verse en la Figura 12.2, para Los Muermos, donde también se aprecia el volumen by-paseado desglosado del volumen tratado.

Dado lo anterior, y con la finalidad de obtener un modelo simple que permita relacionar la infiltración y el ingreso de aguas lluvias al sistema de recolección, se desarrolla un modelo de correlación lineal simple, entre las variables Precipitación mensual (variable independiente) y el volumen afluente (VBP+VT). Para ello se utiliza la función “estimacion.lineal” de Excel y sus estadígrafos resultantes se indican en la Tabla 12.1, mientras que en la Figura 12.4 se muestra la comparación entre el VBP +VT real y el estimado. El modelo es de la forma:

$$\mathbf{VBP + VT = m1 \times Precipitación + b}$$

donde m1 y b son los parámetros a determinar.

El modelo mensual resultante para Los Muermos es:

$$\mathbf{VBP + VT \text{ (m3/mes)} = 294,26 \times Precipitación \text{ (mm/mes)} + 19.215,67}$$

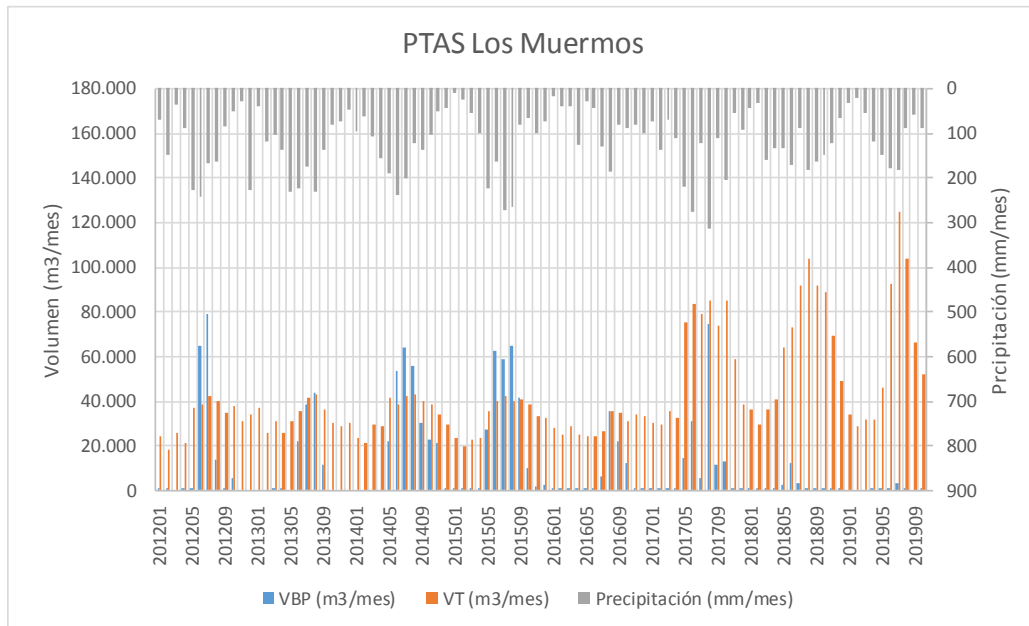


Figura 12.2. Correlación entre volúmenes mensuales afluentes a la PTAS de Los Muermos y precipitaciones mensuales. Figura superior VBP+VT, inferior VBP y VT separados

Tabla 12.1. Modelo de correlación lineal simple para Los Muermos: estadígrafos (izquierda) y verificación si la correlación es por azar (derecha).

VBP+VT= m1*Precip+b			Verificación de azar:	
	m1	b	n=	94
Coeficientes	294,26152	19215,66928	df=	92
Errores Standard	35,528917	4909,470521	v1=	1
R2	0,4271363	23945,74311	v2=	92
F	68,596665	92	Probab(azar)=	0,000
SS	3,933E+10	52752672403		
	ss regresió	ss residuos		

En este caso, el error estándar de “m1” es 35,5 y el de “b” es 4.909,47. El coeficiente de determinación R^2 es 0,427 y el error estándar en la determinación de VBP+VT es 23.945,7. La función de distribución F es 68,60, con $df=92$ grados de libertad, valores que sirven de base para determinar el nivel de confianza del modelo, comparando el valor de F con el de F crítico. Las sumas de regresión de los cuadrados es 3,93E10 y la de los residuos es 52752672403.

12.2. Resultados del modelo de correlación.

Para los casos de Panguipulli y Puerto Varas, se realizó el mismo análisis anterior y los resultados para los parámetros m1 y b se resumen en la Tabla 12. 2.

Tabla 12.2. Parámetros del modelo de correlación lineal simple:

$$VBP + VT \text{ (m3/mes)} = m1 \times \text{Precipitación (mm/mes)} + b$$

Localidad	m1	b	R2	Probabilidad (azar)
Los Muermos	294,262	19.215,6693	0,427136	0,000
Panguipulli	134,620	75.8277,7687	0,39362	0,000
Puerto Varas	669,246	295.364,2561	0,474119	0,000

De la Figura 12.3 se aprecia que el modelo de regresión lineal simple reproduce satisfactoriamente los caudales afluentes, partiendo sólo de la precipitación mensual. La Figura 12.4 muestra los residuos entre los valores observados y los estimados.

12.3. Información del PMALL de Puerto Varas

El PMALL de Puerto Varas analizó en detalle la pluviometría de la ciudad y determinó las intensidades máximas para efectos de diseño, en función del período de retorno y la duración. La Tabla 12.3 muestra los valores Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) estimados por el PMALL

Tabla 12.3. Intensidades medias máximas (mm/h) para diferentes duraciones y períodos de retorno. Fuente: Memoria Consolidada, PMALL de Puerto Varas, Ayala Cabrera Ingenieros Consultores Ltda., agosto de 2017.

t (min)	T=2 años	T=5 años	T=10 años	T=25 años	T=50 años	T=100 años
15	19,3	23,8	26,6	29,9	32,3	34,6
30	14,3	17,7	19,7	22,2	24,0	25,7
45	12,0	14,9	16,6	18,7	20,1	21,6
60	10,1	12,5	13,9	15,7	16,9	18,1
75	9,7	11,9	13,3	15,0	16,2	17,3
90	8,9	11,0	12,3	13,9	15,0	16,0
105	8,4	10,3	11,5	13,0	14,0	15,0
120	8,5	10,5	11,8	13,2	14,3	15,3

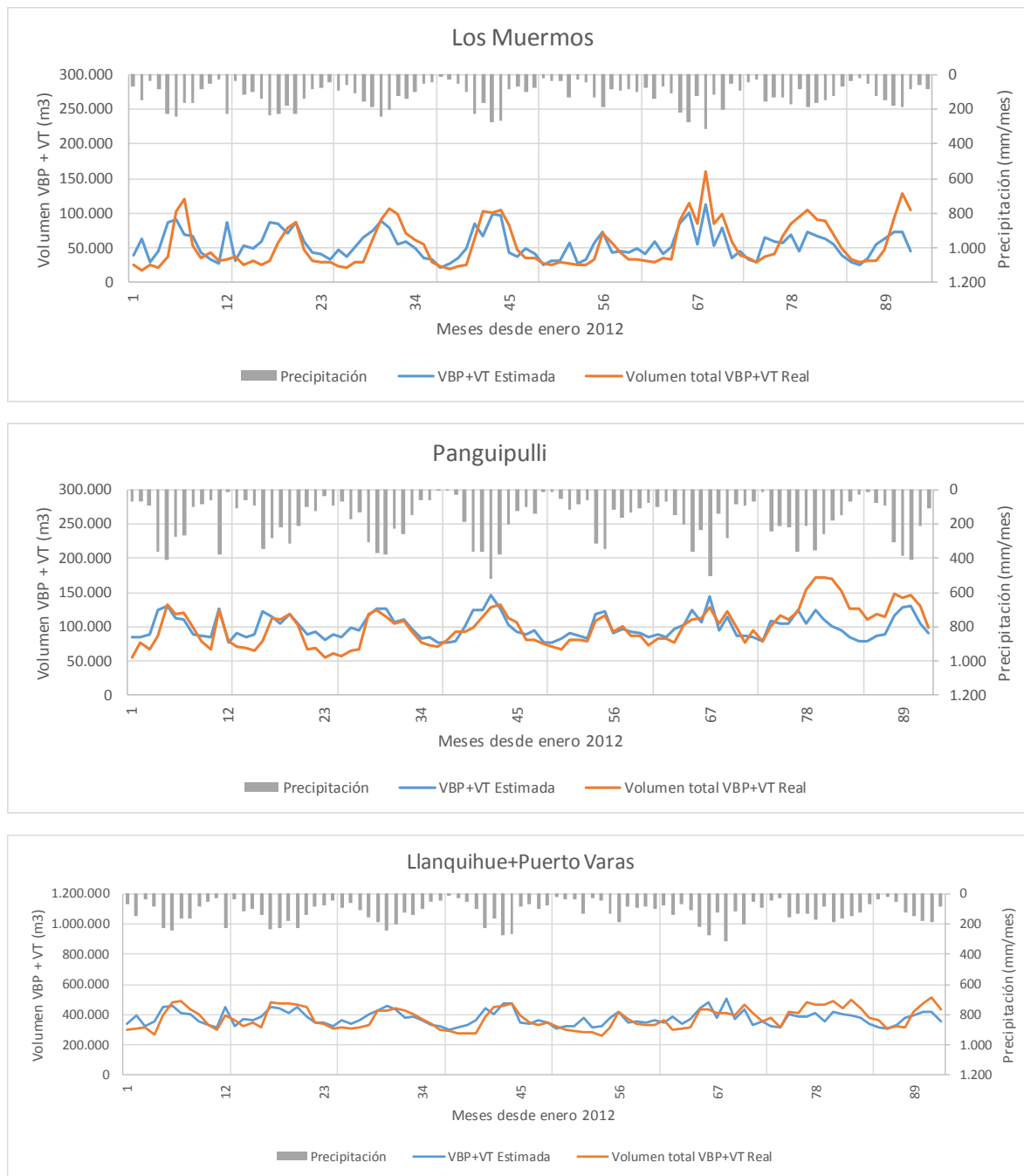


Figura 12.3. Comparación entre los volúmenes afluentes (VBP+VT) reales y los estimados y su relación con las precipitaciones mensuales.

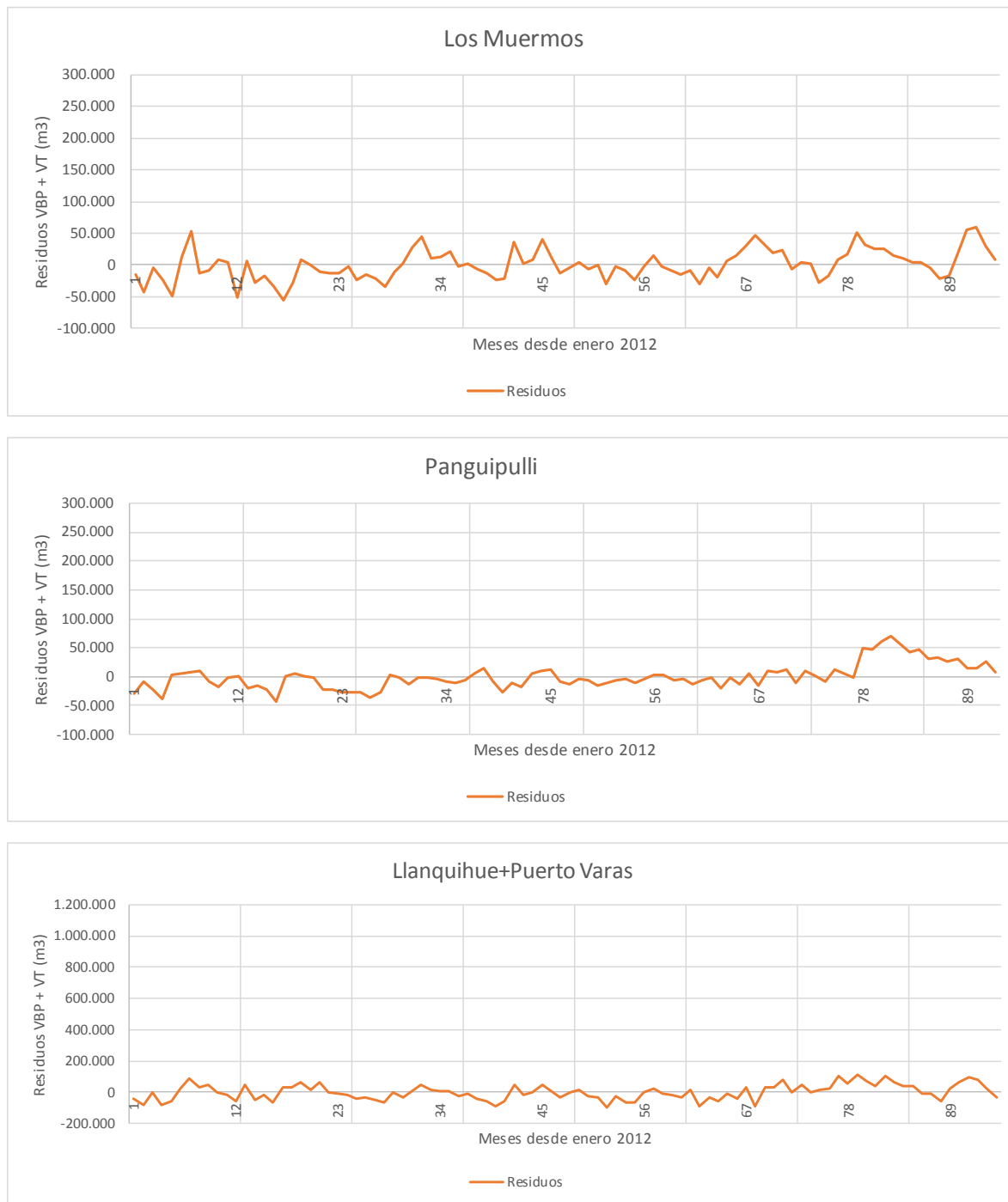


Figura 12.4. Residuos de los volúmenes afluentes (VBP+VT) reales y los estimados.

12.4. Ingreso de aguas lluvias a los colectores de aguas servidas.

Se requiere determinar el caudal de aguas lluvias que ingresa al sistema de alcantarillado en las localidades en estudio. Si bien el alcantarillado sanitario es, en principio, del tipo separado, de todas formas, ingresa agua lluvia al sistema, como por ejemplo a través de tapas de cámaras defectuosas o manipuladas por la población y/o conexiones ilegales a nivel domiciliario o público.

Para lograr este objetivo, se debe disponer de registros continuos de caudal y de precipitación a nivel horario, ya que se trata de determinar los caudales punta (peaks) de lluvias que pueden tener una duración y variación horaria.

En el contexto del presente estudio se dispone de dos fuentes de información que podrían utilizarse para este objetivo:

- Registro de caudales con intervalos de quince minutos, tomado por ESSAL, para las ciudades de Puerto Varas y Panguipulli. El registro de Puerto Varas corresponde al período diciembre 2018 - enero 2019, mientras que el de Panguipulli es de julio - agosto de 2018. Estos registros no están alterados por el caudal impulsado por plantas elevadoras, excepto probablemente por la recirculación de caudal que existe en Panguipulli desde la PEAS Carmela Carvajal. La localidad de Los Muermos carece de este tipo de información.
- Registro de protocolo de intercambio de información PR023, el que contiene información del caudal medio mensual y máximo afluente a la PTAS de un período más largo (2012-2019). Estos registros están probablemente afectados por el caudal impulsado por las plantas elevadoras.

12.4.1. Determinación del ingreso de aguas lluvias mediante el registro de ESSAL.

Los detalles de la metodología y sus resultados se adjuntan en el Anexo 5. El proceso consiste en restar secuencialmente del caudal total las componentes:

- Aguas servidas estrictas, provenientes del consumo de agua potable por la población. Para esto se utiliza el hidrograma obtenido en tiempo “seco” o al menos luego de unos 6-7 días sin lluvia (o con lluvia muy escasa).
- Infiltración e Ingreso de aguas lluvias (I&I), en conjunto
- Infiltración desde la napa. Para su determinación se utiliza la información obtenida de la aplicación de los métodos químicos en tiempo seco y lluvioso descritos en el Anexo 1 del presente Informe.
- Ingreso de aguas lluvias.

La Figura 12.5 permite visualizar el efecto de diferentes eventos de precipitación sobre el caudal total registrado por ESSAL, por ejemplo, en Puerto Varas.

Se distinguen las siguientes zonas en el hidrograma:

- Zona de caudal creciente por efecto de lluvia (sombreada en color amarillo). Se observan claramente peaks de caudal asociados a lluvias de mayor intensidad dentro del evento general de precipitación.
- Zona de caudal decreciente (o de recesión), por ausencia de lluvia. Esta zona muestra un descenso casi lineal en los días posteriores al evento de lluvia. Los hidrogramas diarios son prácticamente idénticos en esta zona.
- Destacado en color blanco se observa el perfil tipo de la variación horaria del caudal de aguas servidas domésticas o “estrictas”, con un mínimo nocturno y una rama ascendente a partir de las 7 de la mañana, aproximadamente.

Sin embargo, lo anterior no ocurre en algunas subcuencas de Panguipulli, donde los caudales máximos incluso se incrementan a unos 10 días después de la lluvia.

Se tomará como hidrograma representativo del caudal de aguas servidas estrictas, el hidrograma más alejado en el tiempo de un evento de lluvia, en particular el del día 27-28 de julio 2019, el que se indica en la Figura 12.5.

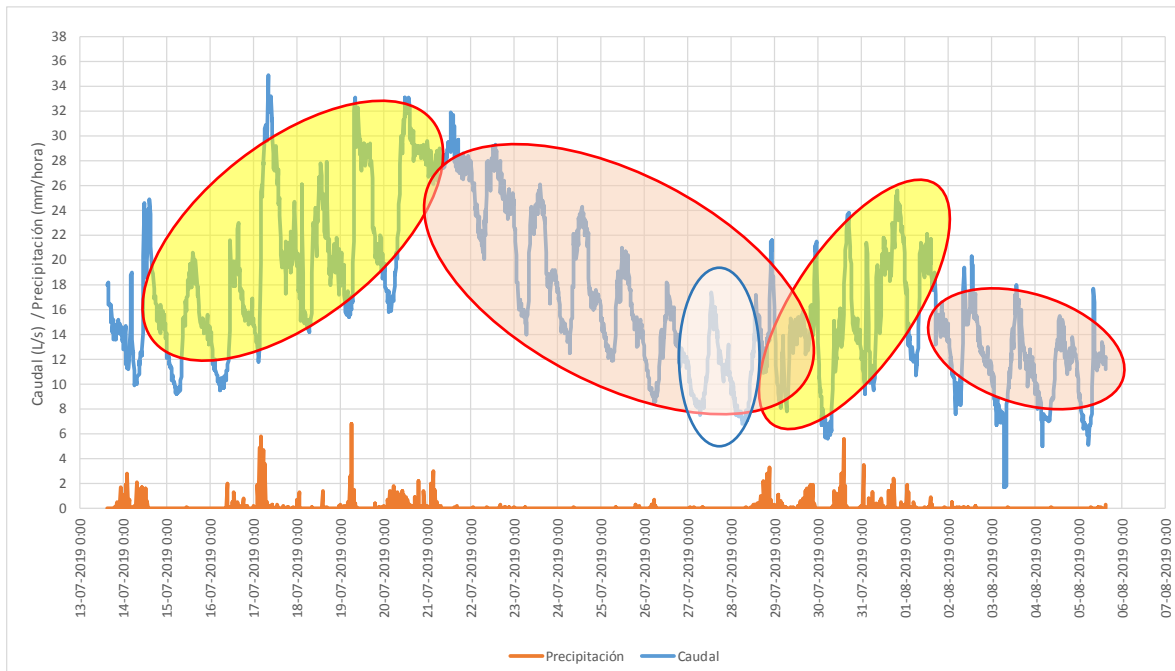


Figura 12.5. Caudal total registrado en una subcuenca de Puerto Varas y precipitación registrada en estación Colegual (INIA). Destacadas en color amarillo las ramas ascendentes y en rojo las de recesión. Destacado en color blanco se muestra un hidrograma diario tipo de aguas servidas estrictas. Fuentes: caudales por ESSAL; precipitaciones por INIA; elaboración propia.

La Figura 12.6 muestra la aproximación triangular del hidrograma del 27 al 28 de julio. Este comienza, en general, a las 7:00 AM y termina a las 6:45 del día siguiente. Del análisis de la información existente, se determinó que la forma “triangular” más representativa es cuando los catetos del triángulo son aproximados por funciones cuadráticas, con el tiempo (“t” en minutos) como variable independiente, del tipo:

$$\Delta Q = a + b t + c t^2$$

La función es lineal en a, b y c, los que se estiman por mínimos cuadrados, mediante la función “estimacion.lineal” de Excel. Se obtienen dos funciones cuadráticas, una para la rama ascendente y otra para la descendente. La determinación de los parámetros de detalla en el Anexo 5 y se resumen en la Tabla 12.4.

El hidrograma de aguas servidas estrictas así obtenido se considera válido para días con o sin lluvias y se descuenta diariamente de la serie de caudales totales registrados, para generar un hidrograma de I&I. A este último, se le descuenta la infiltración desde la napa, obtenida por métodos flujométricos o químicos, para finalmente obtener el hidrograma de ingreso de agua lluvia a la red de alcantarillado. La Figura 12.7 muestra gráficamente el proceso de cálculo indicado.

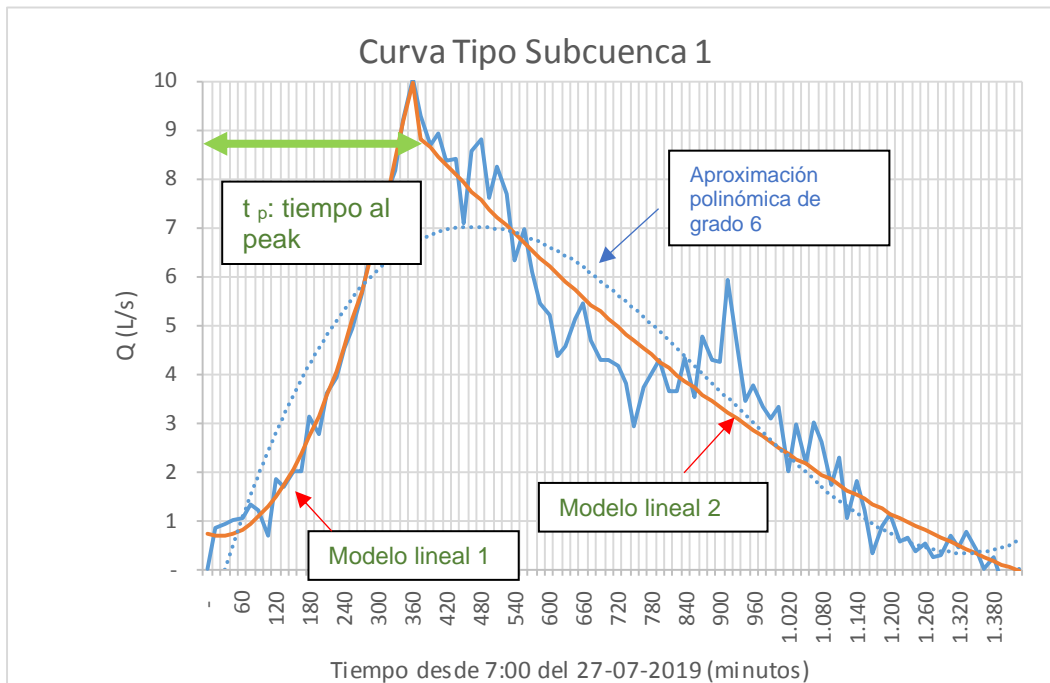


Figura 12.6. Detalle de aproximación al hidrograma de consumo en tiempo seco para la subcuenca 1 de Puerto Varas.

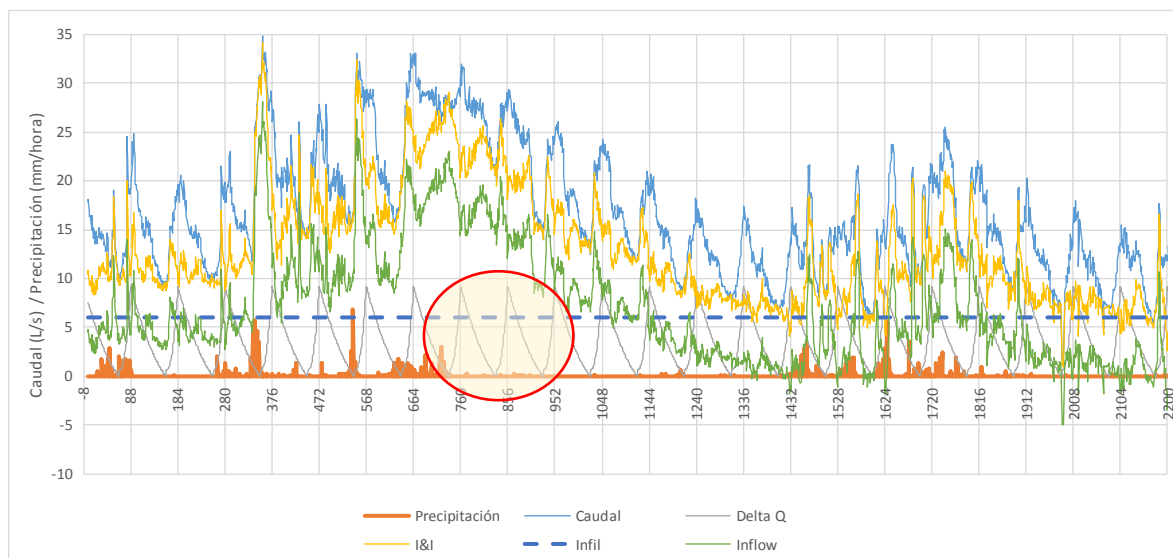


Figura 12.7. Proceso de cálculo del caudal que ingresa (inflow) a la red de alcantarillado. Puerto Varas, subcuena 1: Al caudal total (celeste) se le resta el hidrograma de aguas servidas estrictas (gris) y se obtiene I&I (amarillo) al cual se le resta la infiltración (línea azul segmentada), para obtener el caudal de A. Lluvias que ingresa al alcantarillado (verde). El círculo rojo muestra la repetición de hidrogramas de aguas servidas estrictas

Tabla 12.4. Resumen de parámetros de hidrograma en tiempo seco, para Puerto Varas.

Subcuena	Parámetros de rama ascendente					Parámetros de rama descendente		
	t_p (min)	ΔQ_p (L/s)	a	b	c	a	b	c
1	360	9,95	0,7296041	-0,00335186	8,05E-05	14,0532591	-0,01540142	3,87E-06
2	135	1,74	0,12473636	0,0154707	1,60101E-05	3,20962853	-0,00497898	2,10903E-06
4	495	10,86	0,037859	0,04206329	-4,08E-05	23,6026775	-0,02981168	8,09E-06
5	420	6,23	-0,69210701	0,01625752	5,33E-07	8,55121469	-0,00866161	1,30E-06
9	285	12,54	-0,33278312	0,0407346	1,56E-05	14,5615545	-0,01051208	-8,95E-07
11	390	15,36	-1,67735468	0,03530088	2,15E-05	12,3568698	0,00610464	-1,09E-05
12	645	30,04	-0,10990257	0,00529467	-1,06164E-06	2,30385447	0,00056378	-1,80339E-06

Los resultados obtenidos mediante esta metodología se expresan como el cociente (menor que 1,0 o que 100%), entre el volumen de agua lluvia ingresada a la red de recolección y el volumen de agua lluvia caída sobre cada subcuena. Los detalles del cálculo se adjuntan en el Anexo 5 y se resumen en las Tablas 12.5 y 12.6.

De las tablas anteriores, para las subcuenas analizadas, se concluye que los valores obtenidos para el indicador “Inflow/precipitación”, para las subcuenas 4 y 5 de Panguipulli son irreales (volumen de inflow mayor que volumen precipitado), por lo que no se consideran, quedando un promedio de 17,7 % para esta localidad. Para Puerto Varas el indicador es del orden del 13,6 %, lo que puede explicarse en función a que esta ciudad tiene un PMALL ejecutado. Los Muermos no dispone de registros continuos de caudal por lo que su indicador se estima en un valor intermedio del orden de 15%.

Este indicador permitirá estimar el caudal medio de aguas lluvias que ingresa a la red de alcantarillado sanitario, para un período de retorno y precipitación asociada dados. Parte de la precipitación escurre hacia el alcantarillado sanitario, parte por los colectores de aguas lluvias (si existen), calles y cursos naturales.

Tabla 12.5. Resumen de resultados de la aplicación de los registros de ESSAL en Puerto Varas, 13 de julio - 5 agosto 2018. Fuente: elaboración propia, datos de ESSAL

Subcuenca	Volumen de precipitación (m3)	Volumen de inflow (m3)	Volumen de Inflow / Volumen de precipitación (%)
1	145.313	14.026	9,65
2	41.922	4.868	11,61
4	184.079	13.657	7,42
5	33.044	10.561	31,96
9	70.610	21.915	31,04
11	57.819	6.512	11,26
12	24.068	4.049	16,82
Total	556.856	75.588	13,57

Tabla 12.6. Resumen de resultados de la aplicación de los registros de ESSAL en Panguipulli, 13 de diciembre 2018 - 3 enero 2019. Fuente: elaboración propia, datos de ESSAL

Subcuenca	Volumen de precipitación (m3)	Volumen de inflow (m3)	Volumen de Inflow / Volumen de precipitación (%)
1	16.313	2.095	12,84
2	11.763	2.204	18,74
3	18.431	3.977	21,58
4	1.937	3.893	201,03
5	2.681	4.514	168,40
Total	51.125	16.684	32,63
Promedio subcuencas 1, 2 y 3			17,7

12.4.2. Determinación del ingreso de aguas lluvias mediante el uso de la información del PR023.

La información del PR023 contiene datos asociados al proceso de control de las PTAS que realiza la SISS. Los datos relevantes para el presente informe son los indicados en la Tabla 12.7 para los años 2018-2019.

Es de interés para el presente estudio el indicador cociente entre el caudal máximo puntual y el caudal medio mensual, para los efectos de estimar los peaks de caudal total

(aguas servidas + aguas lluvias + infiltración). Estos valores para Panguipulli y Llanquihue (incluye a Puerto Varas) están influenciados por sus respectivas PEAS.

La variación anual de los parámetros de caudal desde 2012 al 2019 se muestra en la Figura 12.11 y se resumen en la Tabla 12.8. Se observa una variabilidad importante y creciente en el caso de Los Muermos, a partir de 2016. Sin embargo, se debe recordar que esta PTAS posee flujómetros electromagnéticos en su afluente, los que no operan a boca llena, lo que afecta a dichas mediciones.

Dado lo observado en el caso de Los Muermos, se ha estimado representativo el período 2012-2015 para el cual el indicador CMAP/CMEM es de **1,6**. Manteniendo el mismo período para Panguipulli y Llanquihue-Puerto Varas, se adoptan los siguientes indicadores:

- Los Muermos y Puerto Varas 1,6
- Panguipulli: 2,0

Estos indicadores permitirán estimar el caudal máximo puntual, válido para dimensionar las obras, a partir del caudal medio mensual.

Tabla 12.7. Caudales máximos diarios (CMAD), máximos puntuales (CMAP) y medios afluentes (CMEM) a las PTAS de Los Muermos, Panguipulli y Llanquihue.

FECHA	Los Muermos					Panguipulli					Llanquihue				
	CMAD (m3/día)	CMAD (L/s)	CMAP (L/s)	CMEM (L/s)	Factor CMAP/CMEM	CMAD (m3/día)	CMAD (L/s)	CMAP (L/s)	CMEM (L/s)	Factor CMAP/CMEM	CMAD (m3/día)	CMAD (L/s)	CMAP (L/s)	CMEM (L/s)	Factor CMAP/CMEM
ene-18	1.576	18,2	21,1	13,5	1,6	4.074	47,2	41,2	32,6	1,3	15.828	183,2	251,5	127,2	2,0
feb-18	1.460	16,9	39,8	12,1	3,3	3.654	42,3	48,6	32,1	1,5	12.017	139,1	254,3	126,5	2,0
mar-18	1.517	17,6	44,9	13,7	3,3	3.744	43,3	55,0	31,7	1,7	14.168	164,0	246,8	130,9	1,9
abr-18	1.943	22,5	47,7	15,8	3,0	3.793	43,9	65,0	34,0	1,9	13.444	155,6	258,9	131,9	2,0
may-18	2.681	31,0	59,6	24,0	2,5	3.939	45,6	62,1	31,0	2,0	13.924	161,2	256,5	130,7	2,0
jun-18	2.952	34,2	81,0	28,3	2,9	3.159	36,6	66,5	31,4	2,1	15.279	176,8	278,1	143,0	1,9
jul-18	5.120	59,3	60,0	34,4	1,7	4.715	54,6	68,1	40,4	1,7	16.811	194,6	232,8	147,1	1,6
ago-18	5.934	68,7	69,7	38,8	1,8	5.216	60,4	68,1	54,2	1,3	18.063	209,1	230,5	151,3	1,5
sep-18	4.180	48,4	69,6	35,3	2,0	5.080	58,8	68,1	49,3	1,4	17.116	198,1	217,2	144,1	1,5
oct-18	4.215	48,8	58,3	33,1	1,8	5.588	64,7	72,7	56,8	1,3	16.278	188,4	221,3	148,7	1,5
nov-18	4.587	53,1	71,7	26,7	2,7	5.710	66,1	75,8	52,5	1,4	16.696	193,2	217,2	164,8	1,3
dic-18	2.382	27,6	50,4	18,4	2,7	5.253	60,8	65,3	46,7	1,4	14.454	167,3	214,0	141,7	1,5
ene-19	1.420	16,4	31,8	12,6	2,5	4.908	56,8	73,3	47,2	1,6	14.296	165,5	229,8	131,0	1,8
feb-19	1.591	18,4	37,7	11,9	3,2	4.456	51,6	72,8	45,3	1,6	12.356	143,0	203,0	125,7	1,6
mar-19	1.328	15,4	53,8	11,8	4,6	5.203	60,2	76,2	44,0	1,7	11.995	138,8	224,1	121,0	1,9
abr-19	1.374	15,9	58,4	12,3	4,7	4.181	48,4	88,7	43,8	2,0	13.168	152,4	246,8	121,4	2,0
may-19	2.353	27,2	89,5	17,3	5,2	5.705	66,0	78,1	50,8	1,5	19.762	228,7	259,1	154,8	1,7
jun-19	5.060	58,6	93,5	35,7	2,6	5.366	62,1	69,0	52,8	1,3	19.301	223,4	241,1	172,2	1,4
jul-19	7.203	83,4	95,9	46,5	2,1	5.512	63,8	78,1	51,1	1,5	21.839	252,8	245,7	193,1	1,3
ago-19	5.480	63,4	89,0	38,9	2,3	5.156	59,7	75,0	45,9	1,6	18.154	210,1	219,5	163,1	1,3
sep-19	2.716	31,4	49,3	25,5	1,9	2.991	34,6	68,6	38,2	1,8	14.557	168,5	231,7	136,6	1,7
oct-19	2.397	27,7	45,3	19,4	2,3	3.613	41,8	52,2	31,8	1,6	13.153	152,2	215,8	119,0	1,8

Nota: CMAD: caudal máx diario CMAP: caudal máx puntual CMEM: caudal medio mensual

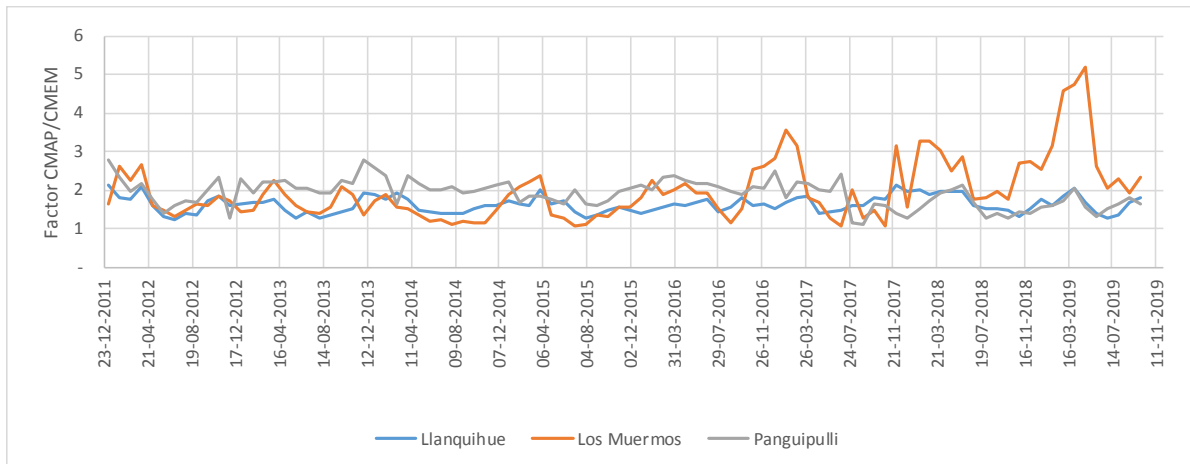


Figura 12.11. Variación anual del factor caudal máximo puntual y medio mensual (CMAP/CMEM) para las 3 PTAS.

Tabla 12.8. Resumen del factor caudal máximo puntual y medio mensual (CMAP/CMEM) para las 3 PTAS, para el período 2012-2019. Fuente PR023.

Estadígrafo	Caudal Medio Mensual (CMEM)			Factor CMAP /CMEM		
	Los Muermos	Panguipulli	Llanquihue *	Los Muermos	Panguipulli	Llanquihue
Máximo	46,5	56,8	193,1	5,17	2,78	2,14
Mínimo	11,8	31,0	119,0	1,05	1,12	1,24
Promedio	23,9	42,9	142,1	1,98	1,90	1,62
Desv Estandar	10,9	8,7	18,8	0,79	0,35	0,22

Nota: Según el PD 2020, Puerto Varas representa aproximadamente un 78,9 % del caudal afluente a la PTAS de Llanquihue

12.5. Determinación de los caudales de aguas lluvias que ingresan a la red y comparación de caudales.

Con el objeto de determinar el caudal de ingreso de aguas lluvias, se utilizan a continuación los caudales de infiltración obtenidos en el capítulo 5 (Tabla 5.1), para las campañas realizadas en tiempo seco y tiempo lluvioso, complementados por los determinados mediante métodos flujométricos.

Del Plan de Desarrollo 2020, se obtiene el caudal medio de aguas servidas para cada localidad.

Del análisis de frecuencia de precipitaciones medias mensuales, el que se incluye en el Anexo 11, se obtiene la precipitación mensual para diferentes períodos de retorno ($T= 2, 5, 10, 20, 25, 50$ y 100 años)

Además, se usará la correlación lineal simple entre la precipitación mensual y el volumen VBP+VT, descrita en el capítulo 6, basada en la precipitación mensual para diferentes períodos de retorno. La correlación lineal ha sido obtenida para las PTAS de Los Muermos, Panguipulli y Llanquihue (la que incluye en su afluente a Puerto Varas y Llanquihue), se determina el VBP+VT correspondiente a la precipitación de cada período de retorno. El VBP+VT corresponde en este caso el **caudal medio total** afluente a la PTAS, vale decir: aguas servidas, aguas lluvias e infiltración.

La metodología aplicada tiene dos variantes:

- Método 1: se usa el indicador cociente entre caudales máximos puntuales afluentes a las PTAS, y el caudal medio mensual, ambos obtenidos de la información del PR023
- Método 2: se utiliza el indicador cociente entre el volumen medio de inflow y el volumen de precipitación, obtenido de los registros de caudal registrados por ESSAL para Puerto Varas y Panguipulli y de los registros de precipitaciones horarias obtenidos del servicio agrometeorológico del INIA o DGA. Para determinar el caudal máximo, a partir del caudal medio total, se aplica el indicador obtenido con la información del PR023.

La metodología se puede aplicar tanto a un escenario actual, a un escenario futuro (con PMALL) o a un escenario intermedio de corto plazo (que denominaremos “Propuesto”), donde se aplican medidas de corto plazo para independizar el sistema de recolección de aguas servidas de los efectos de la infiltración y de las aguas lluvias. Este último escenario se describe en la sección 14.1.2.

Además, como se ha explicado en el Anexo 5, la efectividad tanto del escenario Propuesto, como del escenario Propuesto + PMALL, es incierta, ya que dependerá de los recursos y eficiencia a aplicar por la empresa sanitaria (escenario Propuesto) o por la DOH y SERVIU (PMALL). Por esta razón, partiendo del escenario Actual, se ha analizado el escenario Propuesto con una efectividad referencial del 90%, tanto para la reducción del ingreso de aguas lluvias y de infiltración. Para el caso del escenario Propuesto + PMALL, se ha determinado la efectividad necesaria de alcanzar para evitar sobrepasar la infraestructura sanitaria existente (demanda satisfecha).

La Tabla 12.9 resume los resultados obtenidos, para los escenarios actual, propuesto y con propuesto + PMALL. Los detalles se encuentran en el Anexo 5. Se presentan los resultados en términos de los caudales totales máximos, con el fin de compararlos posteriormente con la capacidad de la infraestructura existente.

Tabla 12.9. Comparación entre caudales totales máximos, para los escenarios Actual, Propuesto y Propuesto + PMALL implementado.

Localidad	Periodo Retorno T (años)	Caudal total máximo (L/s)			Fracción Sol. Propuesta / Actual (%)	Fracción Sol. Prop. + PMALL / Actual (%)	Reducción (Propuesta / Actual) (%)	Reducción (Propuesta + PMALL) / Actual (%)
		Actual	Solución Propuesta	Solución Propuesta + PMALL				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=(4)/(3)*100	(7)=(5)/(3)*100	(8) = 100-(6)	(9) = 100-(7)
Los Muermos	2	28,95	21,28	19,69	73,5	68,0	26,5	32,0
Los Muermos	5	42,26	23,14	19,88	54,8	47,0	45,2	53,0
Los Muermos	10	50,42	24,28	19,99	48,2	39,7	51,8	60,3
Los Muermos	20	60,09	25,63	20,13	42,7	33,5	57,3	66,5
Los Muermos	25	61,91	25,88	20,15	41,8	32,6	58,2	67,4
Los Muermos	50	62,77	26,00	20,17	41,4	32,1	58,6	67,9
Los Muermos	100	70,31	27,06	20,27	38,5	28,8	61,5	71,2
Panguipulli	2	82,91	34,96	26,85	42,2	32,4	57,8	67,6
Panguipulli	5	125,27	40,07	27,31	32,0	21,8	68,0	78,2
Panguipulli	10	137,50	41,55	27,44	30,2	20,0	69,8	80,0
Panguipulli	20	140,98	41,97	27,48	29,8	19,5	70,2	80,5
Panguipulli	25	144,86	42,44	27,52	29,3	19,0	70,7	81,0
Panguipulli	50	172,85	45,82	27,83	26,5	16,1	73,5	83,9
Panguipulli	100	178,04	46,44	27,88	26,1	15,7	73,9	84,3
Pto. Varas	2	154,92	120,26	112,74	77,6	72,8	22,4	27,2
Pto. Varas	5	187,29	124,27	113,16	66,3	60,4	33,7	39,6
Pto. Varas	10	203,17	126,23	113,37	62,1	55,8	37,9	44,2
Pto. Varas	20	211,76	127,29	113,48	60,1	53,6	39,9	46,4
Pto. Varas	25	213,95	127,56	113,51	59,6	53,1	40,4	46,9
Pto. Varas	50	216,82	127,92	113,55	59,0	52,4	41,0	47,6
Pto. Varas	100	225,65	129,01	113,66	57,2	50,4	42,8	49,6

En la Figura 12.12 se comparan los caudales totales de los tres escenarios (columnas 3, 4 y 5 de la Tabla 12.9). Se observan reducciones variables según la localidad, siendo mayor en Panguipulli. Además, las reducciones de caudal aumentan significativamente con el período de retorno. También se aprecia que agregar el PMALL a la solución propuesta incrementaría la reducción en aproximadamente un 10%.

Los resultados anteriores, como se explicó en el Anexo 5, son referenciales, ya que se basan en una efectividad supuesta del 90% para el escenario propuesto. Para lograr la satisfacción de la demanda con la infraestructura sanitaria existente, se requeriría que la efectividad de la solución propuesta + PMALL alcance al 99% en la reducción del ingreso de aguas lluvias, y al 96 % en la reducción de la infiltración.

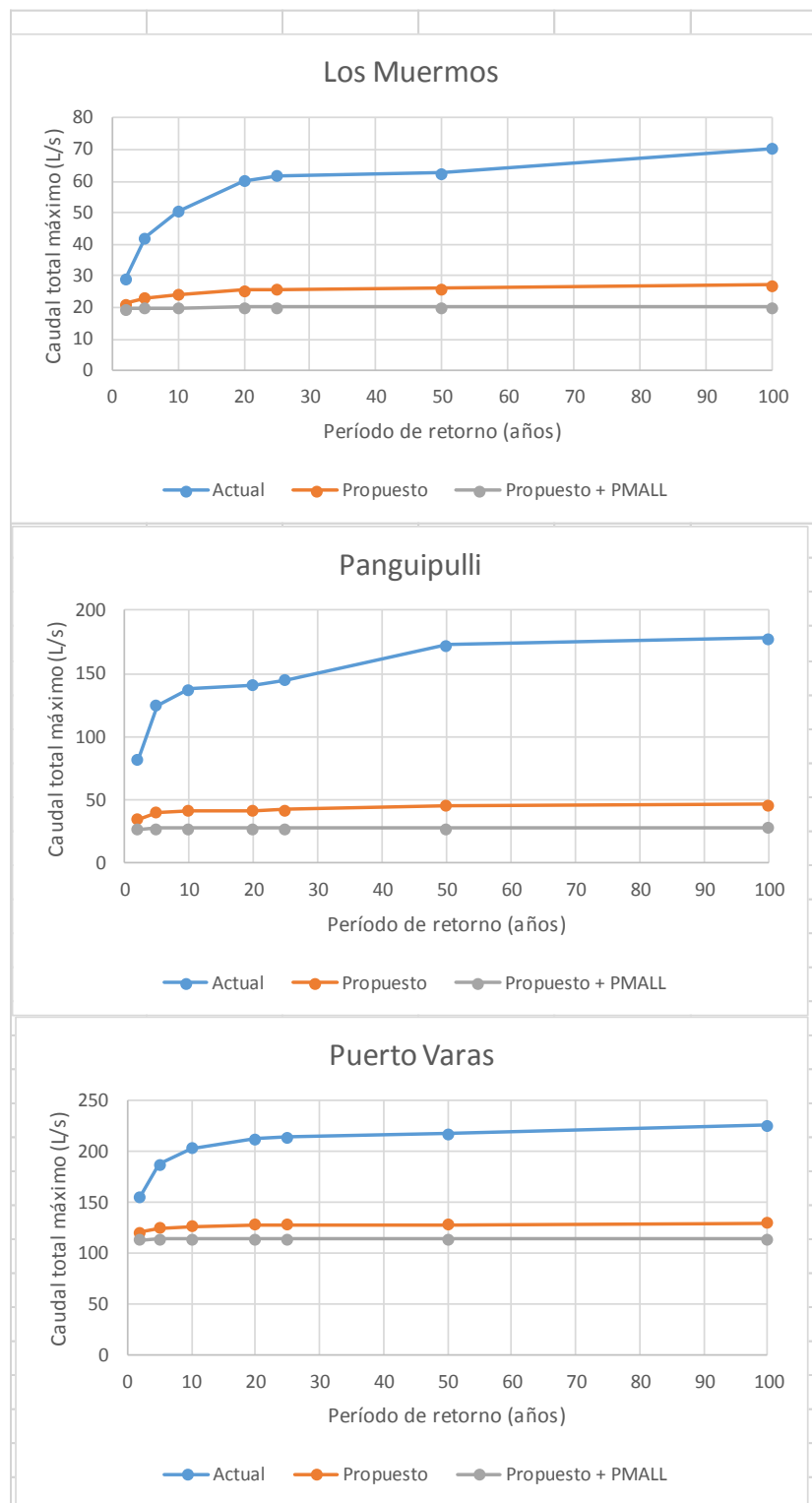


Figura 12.12. Variación estimada del caudal total desde la situación, la solución propuesta y con PMALL, para las localidades en estudio.

Los PMALL están diseñados, por razones económicas, con períodos de retorno de 2 o 5 años (P. Varas con T=2 años). Esto implica que lluvias correspondientes a períodos de retorno mayores a 2 años (1 vez cada 2-3 años, en promedio) podrían superar la capacidad de la red de aguas lluvias y podrían afectar a la red sanitaria.

Por otro lado, dado el plazo que toma la implementación plena de un sistema de aguas lluvias (realización del PMALL, ingeniería de detalle, licitación y construcción, más 5 años para la desconexión de sumideros existentes), es del orden de 7 a 10 años, por lo que su efecto beneficioso tiene un retardo importante, para Panguipulli, por ejemplo. Esto mantendrá en el tiempo el déficit en los sistemas de evacuación de aguas lluvias y su impacto sobre los sistemas de recolección y disposición de aguas servidas

Si el impacto negativo de las aguas lluvias sobre el alcantarillado se mantiene en el corto y mediano plazo, ¿será necesario sobredimensionar las obras de aguas servidas (redes, PEAS, impulsiones, PTAS) para absorber el exceso de caudal producido por las aguas lluvias? Y, si así fuese, ¿para qué nivel de seguridad (i.e. período de retorno, lluvia de diseño) debería diseñarse el sistema de recolección de aguas servidas?

La respuesta a esta pregunta puede tener varios enfoques, pudiendo ser de orden regulatorio; normativo; ambiental y/o tarifario. Una respuesta simple podría ser “diseñar para la misma seguridad con que se diseña el sistema de evacuación de aguas lluvias” de la localidad. Sin embargo, esta respuesta no es satisfactoria para la población de localidades lacustres, como Puerto Varas y Panguipulli, donde sus cuerpos receptores son ambiental y socialmente más sensibles que una descarga marina o fluvial.

Desde un punto de vista normativo, el DS 90 (Tabla 3) establece límites máximos a las descargas lacustres (p.e. coliformes fecales < 1.000 NMP/100ml, Nitrógeno total 10 mg/L, Fósforo 2 mg/L). Estos límites muy posiblemente se cumplan durante una tormenta importante (p.e. mayor que 20-30 mm/día), pero no durante una menor. El límite máximo de 1.000 coliformes/100 mL está también indicado en la norma NCh 1.333 (modificada en 1987).

El decreto 122 (SEGPRES) de 2010 establece las normas secundarias de calidad ambiental (NSCA) para las aguas del lago Llanquihue. Para el área de vigilancia de Puerto Varas, requiere los siguientes niveles:

- Oxígeno disuelto $\geq 8,5$ mg/L
- DQO: 5 mg/L
- Nitrógeno total 0,13 mg/L
- Fósforo total 0,01 mg/L
- Coliformes fecales: no se incluye como parámetro de calidad

El criterio de cumplimiento de la NSCA requiere que un percentil 66 ¹¹ esté bajo el límite para la DQO, N y P, aunque para el oxígeno disuelto exige un percentil 33, para las muestras de un período de dos años. Para el lago Panguipulli hay una NSCA a la fecha.

De acuerdo a lo señalado para el DS 90, NCh 1.333 y NSCA del lago Llanquihue pareciera ser que, desde el punto de vista normativo-ambiental, el problema de las descargas de aguas servidas al lago se plantea principalmente en eventos sin lluvia o con lluvias de poca intensidad y duración.

Por otro lado, la norma chilena NCh 1105. Of. 2009 indica que el caudal medio de aguas servidas se debe calcular en función del consumo de agua (potable o de fuentes propias, sección 6.5.1). Sin embargo, las secciones 6.3.5 y 6.6.1.3 indican que se debe incluir el caudal de infiltración, en función de la posición de la napa; de la permeabilidad del terreno; del tipo de juntas y/o de empalmes; como también de la materialidad de las cámaras de inspección (cuerpo, radier) y de las conexiones entre colectores y cámaras. Esto es relevante desde el punto de vista tarifario, ya que la empresa modelo debe cumplir con la normativa vigente. La norma NCh 1105 no considera aporte de aguas lluvias en el caudal de diseño, ya que se debe diseñar sistemas separados (sección 4.2).

Es relevante anotar que en el PMALL de P. Varas (2017) se determinó que la alternativa de estanques de regulación (de ecualización o de laminación) **no era rentable**, según los criterios de evaluación de la DOH y del Ministerio de Desarrollo Social (2014).

¹¹ Percentil 66 significa que el valor ubicado en el lugar k-esimo de la lista de valores, donde $k = q \times n$, cumple con el límite establecido, con $q = 0,66$ y n es la cantidad de datos. La lista debe estar ordenada en orden creciente.

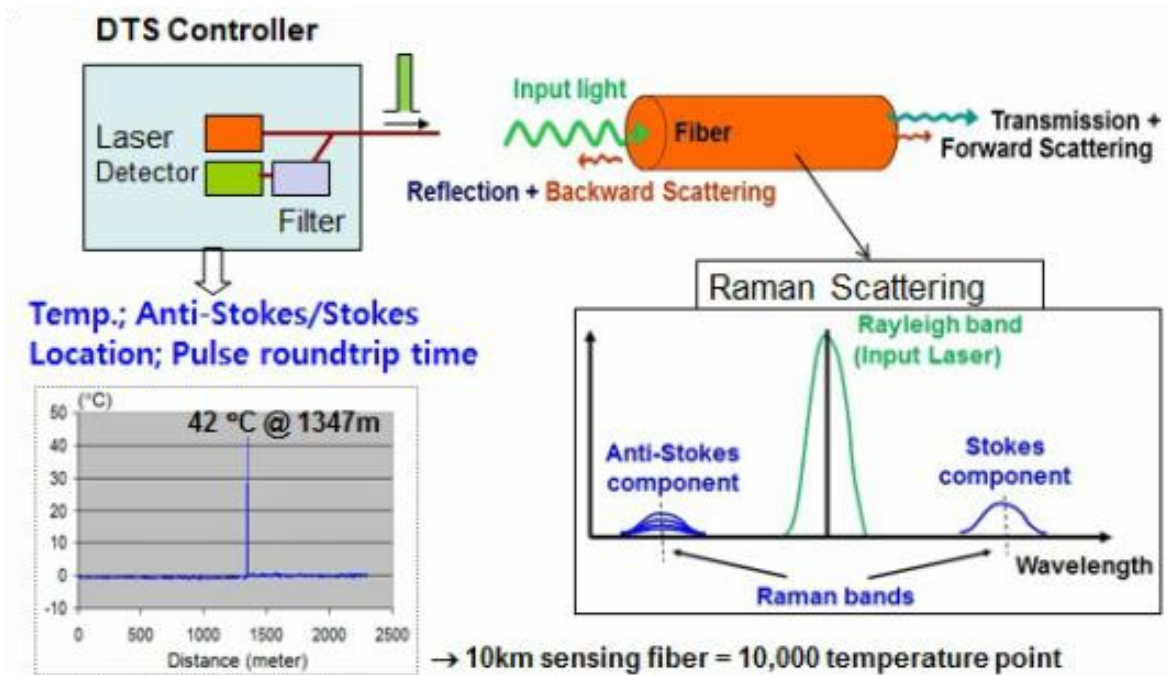


Figura 13.1. Esquema conceptual del DTS, basada en la dispersión de Raman.

El esquema físico de una instalación en una red de alcantarillado se muestra en la Figura 13.2 y el esquema conceptual para el balance de masa y de energía en la Figura 13.3, lo que da la relación entre volumen V2 (o caudal Q2) de agua “extraña” con respecto al volumen afluente V1 (o caudal Q1):

$$V2 / V1 = \Delta T / [(T2-T1) - \Delta T] \quad \text{con} \quad \Delta T = T3 - T1$$

13.3. Localización del ingreso de “aguas extrañas”

Para realizar la prueba piloto, con el fin de probar la tecnología, se optó por la menor de las tres localidades en estudio: Los Muermos. Más aún, se seleccionó el área aportante a la PEAS San Antonio, para acotar aún más el tamaño del área aportante.

Se eligió el tramo principal afluente a la PEAS San Antonio, constituido por un colector de PVC de D=200 mm y una longitud útil de 385 m, como se muestra en la Figura 13.4.

13.4. Inicio de los registros

Yokogawa ha estado registrando información desde el día 23 de septiembre, por ejemplo, en la Figura 13.5 se muestra el registro del 29 de septiembre, día en el cual se produjo una lluvia de 6 mm/hora entre las 8:00 y 9:00 horas.

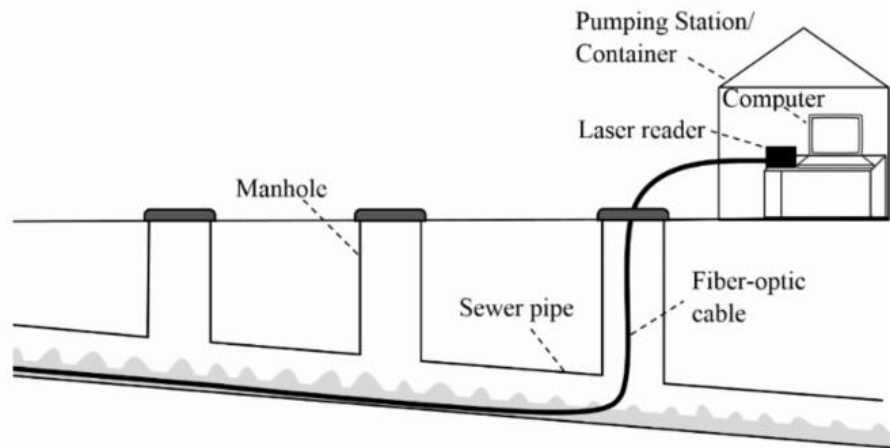


Figura 13.2. Esquema típico de una aplicación de la tecnología DTS a una red de alcantarillado. Fuente: Beheshti y Saegrov (2018)

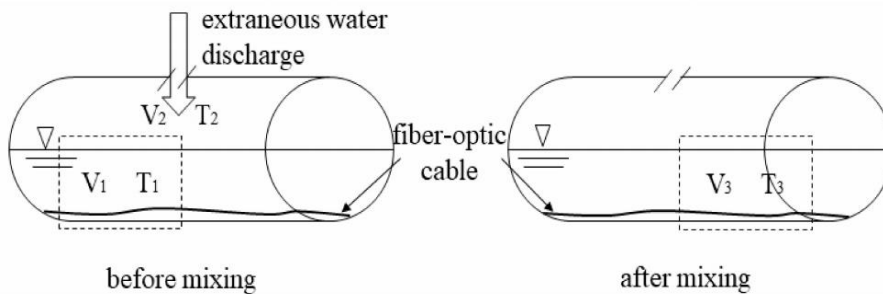


Figura 13.3. Esquema conceptual para realizar balance de masas y de energía en punto de ingreso de "agua extraña". Fuente: Beheshti y Saegrov (2018)

Del registro del 29 de septiembre, se obtienen lo siguiente:

- Entre las 0:00 y las 6:00 horas la temperatura del agua servida se enfría, para luego de las 7:00-8:00 de la mañana empezar a aumentar su temperatura, por las descargas de agua caliente en las duchas u otros artefactos.
- En el tramo entre el desarenador y la sala eléctrica, la FO está dentro de un conduit seco, por lo que su temperatura baja (color azul).
- **Las precipitaciones entre las 7:00 y 9:00 producen el ingreso de agua lluvia por las cámaras 5 y 7.** Esto podría estar indicando que el agua lluvia de cae sobre el pavimento de los pasajes se encauza hacia la cámara de inspección ubicada al final del pasaje, los que tienen pendiente hacia el oriente y/o que los ramales de alcantarillado de los pasajes están recibiendo aguas lluvias desde las viviendas.
- Sin embargo, las precipitaciones posteriores (de 16:00 a 21:00 horas) no se detectan, por la mayor descarga de agua caliente desde las viviendas, lo que se observa a partir de las 13:00 horas. Hacia las 20:00 horas se detecta el ingreso de

agua fría por las cámaras 1 y 8. Estas cámaras reciben caudal de tramos de colectores ubicados aguas arriba, por lo que es probable que la mezcla de aguas lluvias con aguas servidas explique la menor temperatura.

- Como se muestra en la Figura 13.6, la temperatura de las aguas servidas se mantiene estable en cerca de 10°C entre las 23:00 y las 9:00 horas, para incrementarse hasta 15 °C en el resto del día.
- Entre las cámaras 1 y 3, y entre las 0:00 y 9:00 horas se observa una leve coloración celeste, lo que podría estar indicando la presencia de infiltración, ya que se mantiene a largo del día, aunque a medida que esta agua avanza hacia la PEAS se va mezclando y homogeneizando su temperatura.

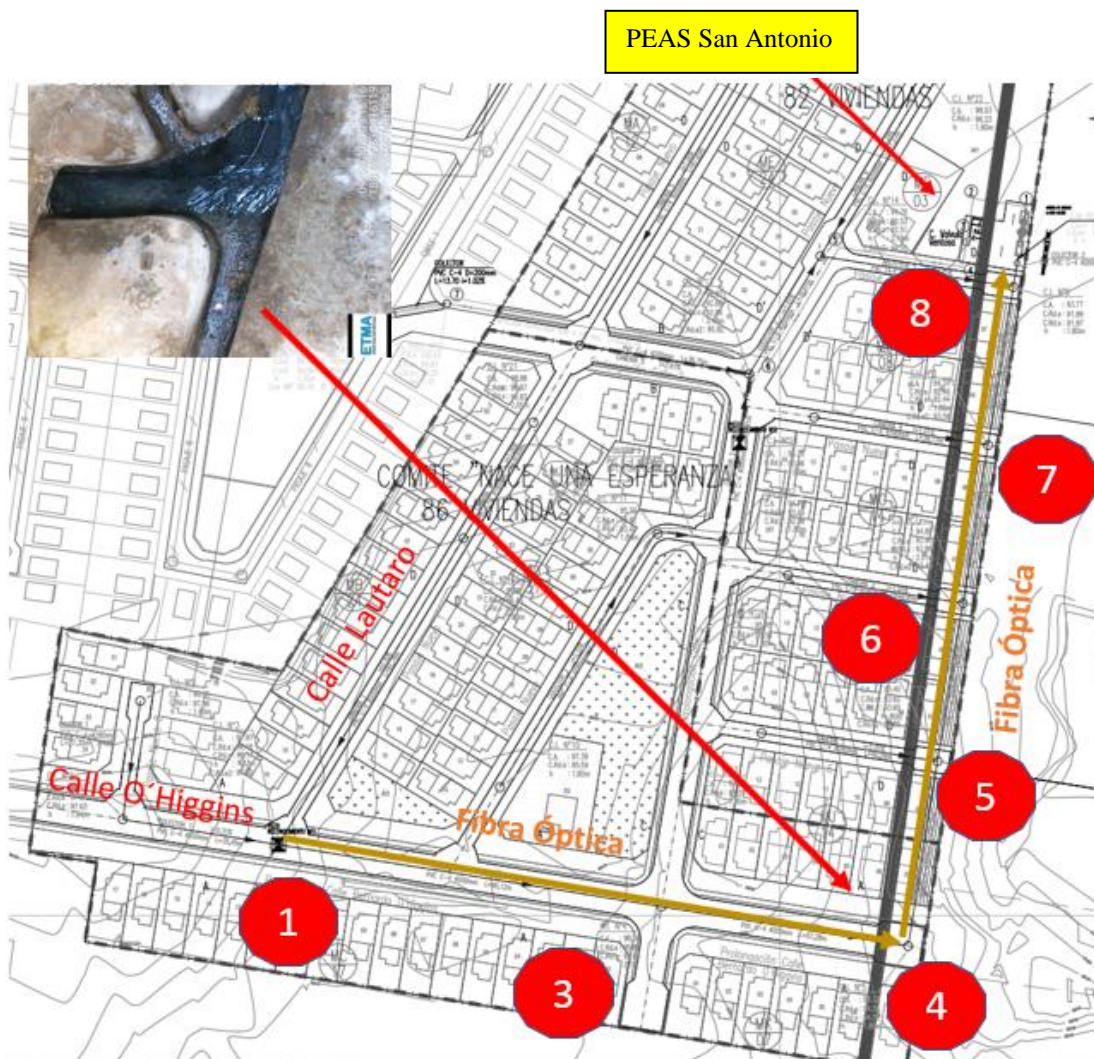


Figura 13.4. Ubicación de la FO en la cuenca aportante a la PEAS San Antonio y numeración de cámaras de inspección adoptada.

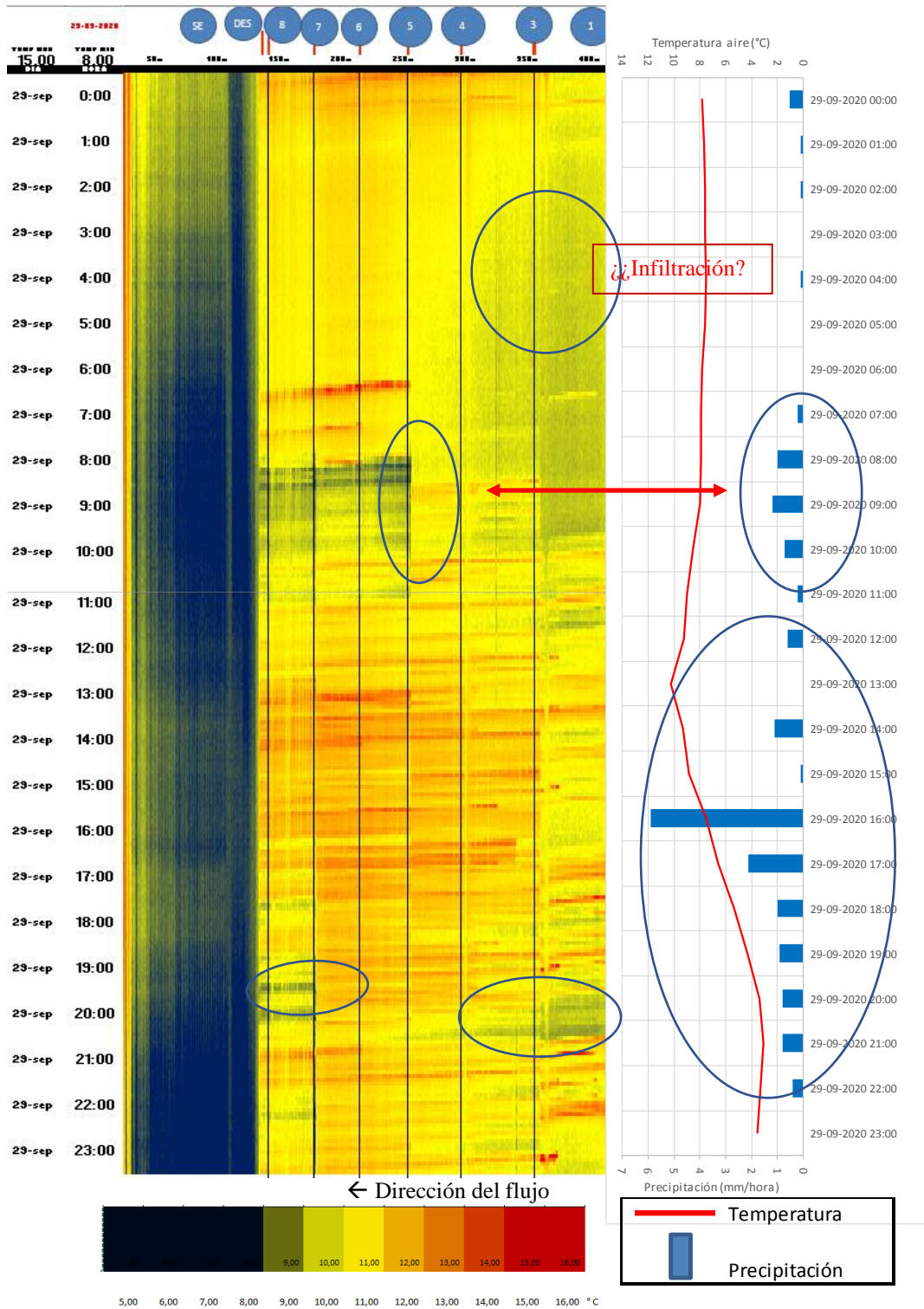


Figura 13.5. Mapa de calor registrado el 29-09-2020, con precipitación máxima de 6 mm/hora a las 16:00 horas. Líneas verticales indican ubicación de las cámaras

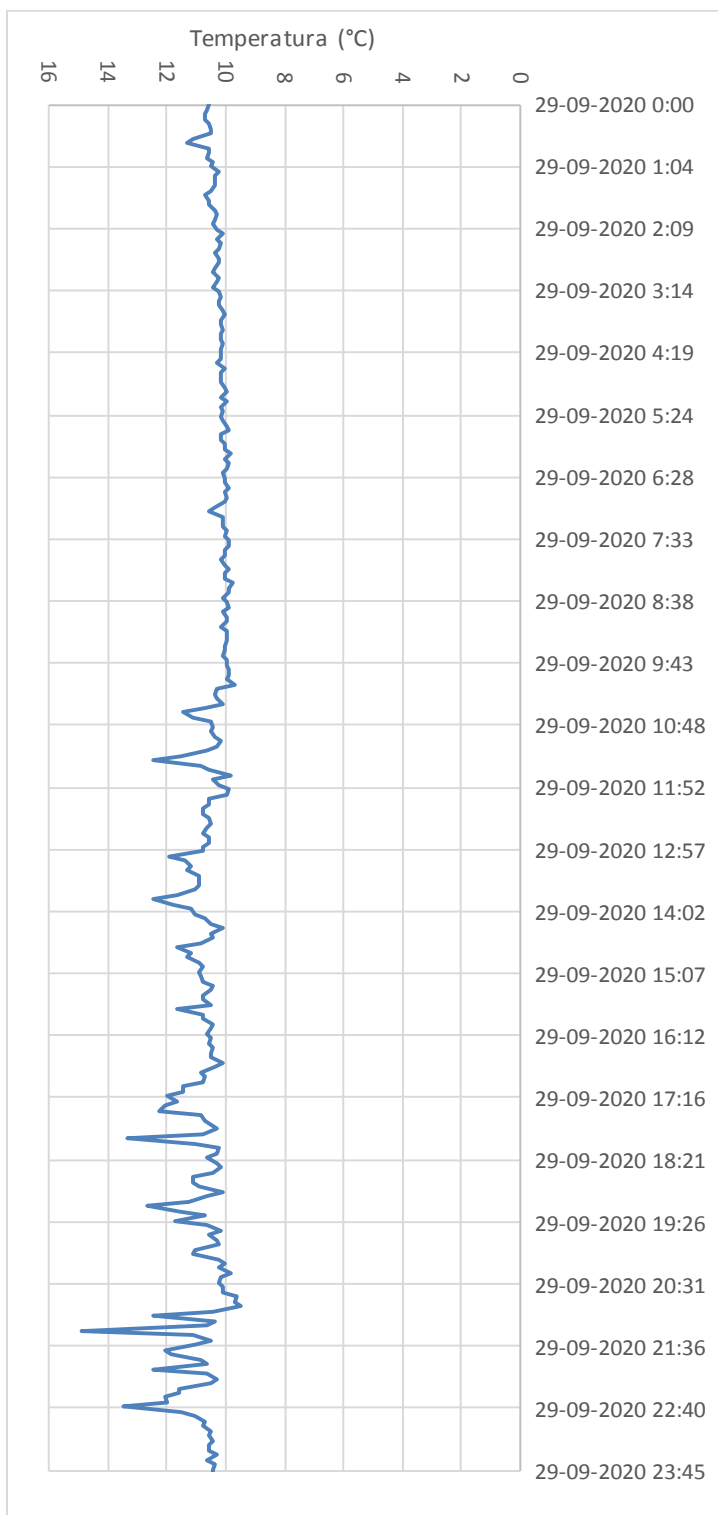


Figura 13.6. Temperatura del agua servida en x= 355 m, el día 29 de septiembre 2020

13.5. Pruebas del 30 de octubre y del 18 de noviembre 2020

Dado que en octubre no se registraron lluvias importantes (mayores que 10 mm/hora) y con el fin de evaluar la sensibilidad del sistema DTSX, se decidió realizar un par de pruebas ingresando manualmente diferentes volúmenes de agua al colector a diferentes temperaturas.

La primera prueba se realizó el 30 de octubre y su planificación de esta prueba incluía:

- Pruebas a realizar en la red pública: vertido de agua a un volumen y temperatura conocidos:
 - agregar un volumen de agua de 5 litros a la temperatura ambiente.
 - agregar un volumen de agua de 10 litros a la temperatura ambiente
 - agregar un volumen de agua de 50 litros a la temperatura ambiente
 - agregar un volumen de agua de 5 litros a una temperatura 5°C menor que la ambiente (con hielo)
 - agregar un volumen de agua de 10 litros a una temperatura 5°C menor que la ambiente (con hielo)
 - agregar un volumen de agua de 50 litros a una temperatura 5 °c menor que la ambiente (con hielo)

Los principales hitos de esta prueba, cuyo mapa de calor es la Figura 13.7, son:

- La colocación de una bolsa de hielo sobre la FO en la cámara 1 no es detectada por el sistema a los 21 segundos, sólo es detectada a los 31 segundos. Esto permite “fijar” la ubicación de la cámara 1 en el registro y mapa de calor.
- Se observa que las cámaras 5 y 6 se encuentran con sus colectores obstruidos con papeles, pelos y otros materiales, lo que impide que el DTSX pueda detectar cambios de temperatura, ya que el material adherido a la FO produce un efecto de “aislación” térmica. El mapa de calor se mantiene a una temperatura constante. **Esto constituye un hallazgo interesante, pues implica que el DTS permite identificar y ubicar si hay obstrucciones..** También se concluye que, para el objetivo de identificar el ingreso de aguas extrañas, el colector debe estar limpio.
- Las descargas manuales de agua con 6 litros en la cámara 1 no logran ser registradas. Se descargan 20 litros y estos si se registran (18:22) en el sistema.

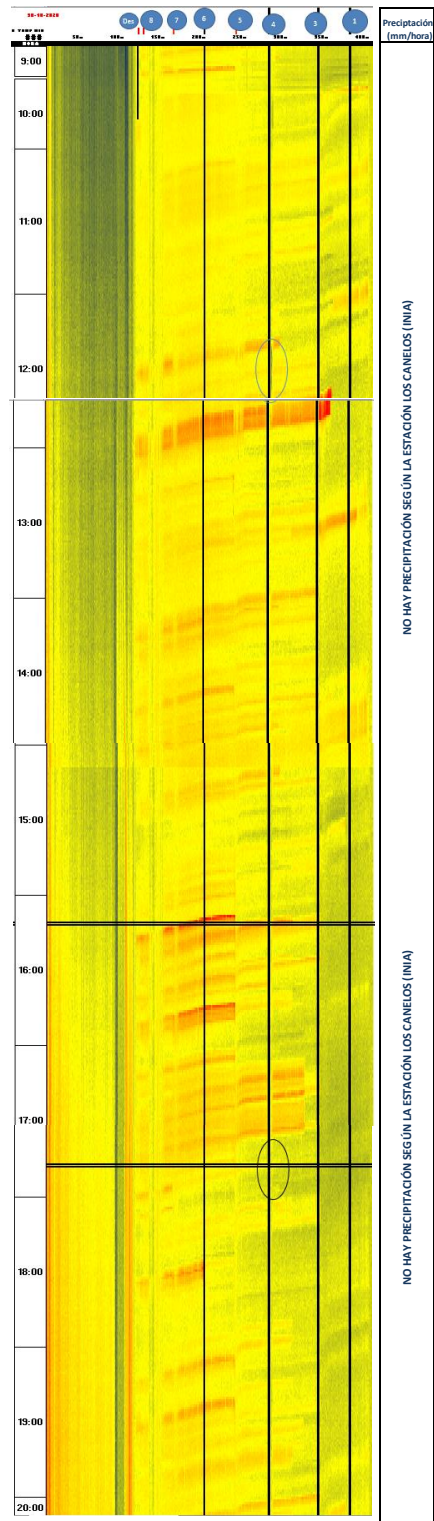


Figura 13.7. Mapa de calor 30 octubre 2020. Líneas verticales indican ubicación de las cámaras

El mapa de calor obtenido en la segunda prueba (18 noviembre) se presenta en la Figura 13.8. Los principales hitos de esta prueba son:

- El inicio de la prueba es a las 12:40 en la cámara n° 3
- La descarga de 200 litros de agua enfriada a 5,1 °C, usando hielo en escamas, se detecta inmediatamente en el sistema DTS. El diferencial de temperatura con el agua servida es de al menos 8 °C, simulando las condiciones de invierno. El caudal de descarga fue de 40 L/minuto, producido por una motobomba portátil bencinera.
- La temperatura de las aguas servidas en el colector bajó unos 5 a 6 °C y se detectó claramente el término de la descarga de agua fría
- La segunda descarga de agua fría realizada en la cámara n° 6, a las 13:20 horas, se vió interrumpida por la detención de la motobomba cuando se habían descargado 100 Litros aproximadamente. Se reanudó a las 13:30 horas, para descargar los 100 L restantes. La temperatura del agua fría es de 4,5°C. Se detectó el inicio, la interrupción y la reanudación de la prueba (ver mapa de calor).
- La temperatura ambiente era del orden de 18 °C y no estaba precipitando.

13.6. Conclusiones y recomendaciones extraídas de la prueba piloto

La prueba piloto realizada con la tecnología DTS ha permitido identificar los siguientes aspectos en la operación de la red de alcantarillado de Los Muermos:

- Se ha verificado la factibilidad técnica de la tecnología DTS para las condiciones locales, permitiendo identificar y ubicar el ingreso de aguas con diferente temperatura a las aguas servidas domésticas.
- Ha permitido identificar el ingreso de aguas lluvias en los pasajes ubicados inmediatamente al sur de la PEAS San Antonio, la que proviene desde la calzada de los pasajes o de las viviendas ubicadas allí
- En cuanto al ingreso de aguas de infiltración esto aparentemente se aprecia como una “mancha” difusa en el mapa de calor.
- En cuanto al volumen mínimo detectable este es del orden de 20 litros.
- El sistema registra temperaturas a la centésima de grado Celcius. Sin embargo, este nivel de precisión sólo se puede observar en un transecto de la data (como en la Figura 13.13, por ejemplo) y no en el mapa de calor.
- Es fundamental ubicar exactamente las cámaras y otras obras relevantes en el mapa de calor, para facilitar el correcto análisis e interpretación de la data.
- La instalación de un sistema como el descrito (FO, equipo DTSX, almacenamiento de datos), por si solo, no garantiza la obtención de resultados prácticos, ya que los datos deben ser procesados y analizados por profesionales con experiencia en procesamientos de datos y en la operación de redes de recolección.

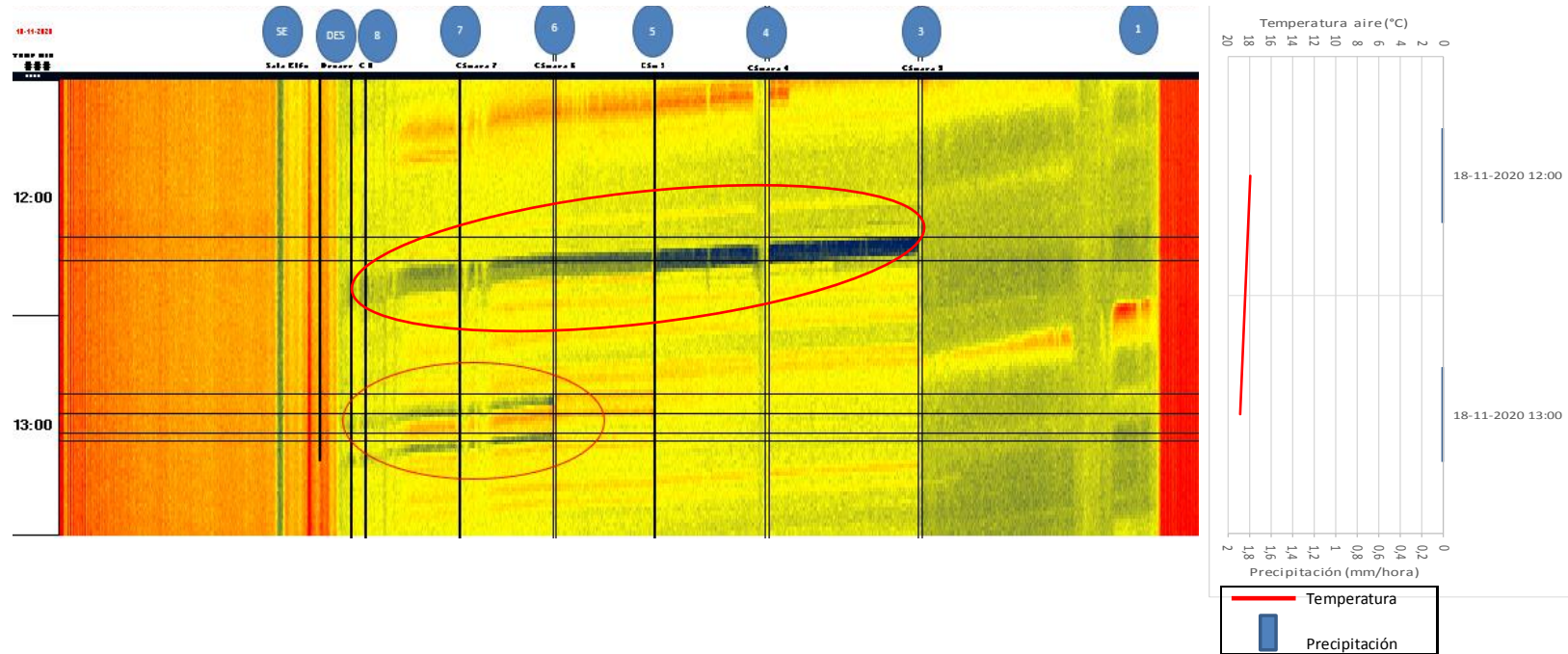


Figura 13.8. Mapa de calor de prueba del 18 noviembre 2020. 2 descargas manuales de 200 litros de agua fría. La primera a las 12:40 desde la cámara 3 y la segunda a las 13:20 desde la cámara 6 (interrumpida por detención de la bomba y reanudada a las 13:30)

- El volumen de datos generado por el sistema es enorme y se recomienda, para aplicaciones en mayor escala, contar con un software adecuado para facilitar su procesamiento y despliegue.
- Se recomienda utilizar la metodología en una escala mayor, ya que se ha demostrado su capacidad para generar resultados prácticos y aplicables para resolver el problema de ingreso de agua “extraña” al alcantarillado.
- Debe revisarse el costo de la instalación para una localidad de mayor extensión por las economías de escala en: costo de la FO, de su instalación, puesta en marcha, monitoreo y análisis de la información.
- El sistema DTS permite estimar la velocidad de escurrimiento en cada tramo, haciendo el cociente $\Delta x/\Delta t$ del avance de la “pluma” de temperatura en el mapa de calor. **Esto no se había reportado en la literatura.**

14. Propuestas de solución e inversiones asociadas.

El objetivo de este capítulo es plantear alternativas de solución para reducir los niveles de infiltración e ingreso de aguas lluvias a la red de recolección.

Como principio básico se establece que las soluciones planteadas deben, en primer lugar, controlar el ingreso de aguas extrañas a la red, en contraposición a mantener el estado actual de la red y proyectar obras adicionales que permitan ampliar la capacidad de recolección, almacenamiento temporal (estanques ecualizadores), conducciones y de tratamiento, para controlar los excesos de aguas servidas mezcladas con aguas de infiltración y de lluvia.

Lo anterior implica que la solución integral debe ir avanzando necesariamente por etapas:

- Etapa 1: Obtención de información básica
- Etapa 2: Ingeniería de detalle
- Etapa 3: Ejecución de obras

La Tabla 14.1 resume el balance oferta-demanda realizado en el presente estudio, donde se indican las fuentes de la información utilizada. El balance se realiza a partir de la PEAS que impulsa a la PTAS correspondiente e incluye la capacidad de dicha PEAS, la impulsión y la PTAS.

Tabla 14.1. Balance oferta-demanda de PEAS, impulsión/conducción y PTAS.

Localidad	Periodo Retorno T (años)	DEMANDAS			OFERTAS			BALANCE OFERTA - DEMANDA PARA DIFERENTES ESCENARIOS (L/s)								
		Q afluente a PTAS (L/s)			CAPACIDAD ACTUAL (L/s)			BALANCE ACTUAL			BALANCE CON SOL. PROPUESTA			BALANCE CON c/SOL. PROP. Y PMALL		
		Actual	Con solución propuesta	Con solución propuesta y PMALL	PEAS (*)	Conducción (**)	PTAS (***)	(PEAS (*))	Conducción (**)	PTAS (***)	(PEAS (*))	Conducción (**)	PTAS (***)	(PEAS (*))	Conducción (**)	PTAS (***)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)
Los Muermos	2	28,95	21,28	19,69	N/A	63,7	31,0	N/A	34,7	2,0	N/A	42,42	9,7	N/A	44,01	11,3
Los Muermos	5	42,26	23,14	19,88	N/A	63,7	31,0	N/A	21,4	- 11,3	N/A	40,56	7,9	N/A	43,82	11,1
Los Muermos	10	50,42	24,28	19,99	N/A	63,7	31,0	N/A	13,3	- 19,4	N/A	39,42	6,7	N/A	43,71	11,0
Los Muermos	20	60,09	25,63	20,13	N/A	63,7	31,0	N/A	3,6	- 29,1	N/A	38,07	5,4	N/A	43,57	10,9
Los Muermos	25	61,91	25,88	20,15	N/A	63,7	31,0	N/A	1,8	- 30,9	N/A	37,82	5,1	N/A	43,55	10,8
Los Muermos	50	62,77	26,00	20,17	N/A	63,7	31,0	N/A	0,9	- 31,8	N/A	37,70	5,0	N/A	43,53	10,8
Los Muermos	100	70,31	27,06	20,27	N/A	63,7	31,0	N/A	-6,6	- 39,3	N/A	36,64	3,9	N/A	43,43	10,7
Panguipulli	2	82,91	34,96	26,85	83,3	86,0	28,0	0,39	3,1	- 54,9	48,34	51,04	- 7,0	56,45	59,15	1,2
Panguipulli	5	125,27	40,07	27,31	83,3	86,0	28,0	- 41,97	-39,3	- 97,3	43,23	45,93	- 12,1	55,99	58,69	0,7
Panguipulli	10	137,50	41,55	27,44	83,3	86,0	28,0	- 54,20	-51,5	- 109,5	41,75	44,45	- 13,6	55,86	58,56	0,6
Panguipulli	20	140,98	41,97	27,48	83,3	86,0	28,0	- 57,68	-55,0	- 113,0	41,33	44,03	- 14,0	55,82	58,52	0,5
Panguipulli	25	144,86	42,44	27,52	83,3	86,0	28,0	- 61,56	-58,9	- 116,9	40,86	43,56	- 14,4	55,78	58,48	0,5
Panguipulli	50	172,85	45,82	27,83	83,3	86,0	28,0	- 89,55	-86,9	- 144,9	37,48	40,18	- 17,8	55,47	58,17	0,2
Panguipulli	100	178,04	46,44	27,88	83,3	86,0	28,0	- 94,74	-92,0	- 150,0	36,86	39,56	- 18,4	55,42	58,12	0,1
Pto. Varas	2	154,92	120,26	112,74	202,3	346,4	191,2	47,38	191,5	36,3	82,04	226,14	70,9	89,56	233,66	78,5
Pto. Varas	5	187,29	124,27	113,16	202,3	346,4	191,2	15,01	159,1	3,9	78,03	222,13	66,9	89,14	233,24	78,0
Pto. Varas	10	203,17	126,23	113,37	202,3	346,4	191,2	- 0,87	143,2	- 12,0	76,07	220,17	65,0	88,93	233,03	77,8
Pto. Varas	20	211,76	127,29	113,48	202,3	346,4	191,2	- 9,46	134,6	- 20,6	75,01	219,11	63,9	88,82	232,92	77,7
Pto. Varas	25	213,95	127,56	113,51	202,3	346,4	191,2	- 11,65	132,4	- 22,8	74,74	218,84	63,6	88,79	232,89	77,7
Pto. Varas	50	216,82	127,92	113,55	202,3	346,4	191,2	- 14,52	129,6	- 25,6	74,38	218,48	63,3	88,75	232,85	77,7
Pto. Varas	100	225,65	129,01	113,66	202,3	346,4	191,2	- 23,35	120,8	- 34,4	73,29	217,39	62,2	88,64	232,74	77,5

Notas: (*) PEAS: Carmela Carvajal en Panguipulli y Santa Rosa en Pto. Varas. Los Muermos N/A porque es gravitacional, salvo pequeño sector PEAS San Antonio
 Puerto Varas: PEAS Santa Rosa PD2016 Cuadro 4.57.1 p. 55
 (**) Emisario terrestre en el caso de Los Muermos, impulsión en las otras
 (***) Capacidad hidráulica limitada por overflow a Q máximo PTAS
 (3), (4) y (5) de Tabla 12.9 Informe Final
 (6) de Tabla 12.9 Informe Final Los Muermos: PD 2020 Cuadro N° 4.54 p. 38 Panguipulli: PD 2020 Cuadro 4.54.1 p. 56 P.Varas PD 2016 173,3 L/s Cuadro N°4.54.1 p. 54
 (7) de Anexo 7 Los Muermos: Sección 7.4.6 Anexo 7, p. 10 overflow a Q máx. Plantas 1&2 Panguipulli: Anexo 7 Sección 7.5.9 p. 21 P.Varas: Anexo 7 sección 7.6.9 p. 29

Color rojo indica falta de capacidad (déficit)

14.1. Alternativas de solución

14.1.1. Planificación general

Esta consiste en recopilar información necesaria para ir enfrentando de forma priorizada y por etapas las soluciones. Básicamente corresponde a la Etapa 1.

Etapa 1: Obtención de información básica

- Adopción de protocolos estandarizados para el levantamiento de información de terreno, usando la norma europea EN 13508 u otra
- Trabajos de terreno para la verificación del estado de la red: ojalá con tecnologías que entreguen información cuantitativa y que no exijan tener el colector en seco, como FELL (Focused Electrode Leak Location)¹³, scanner o técnicamente similar.
- Catastro actualizado de conexiones de aguas lluvias (sumideros) y domiciliarias (con materialidad, diámetro, longitud, etc.)
- Localización de red de piezómetros a instalar para registrar niveles de napa, en forma continua y en línea.
- Verificación/calibración de flujómetros: en particular los flujómetros electromagnéticos de Los Muermos.
- Registros continuos de caudales efluentes por subcuencas, con flujómetros sin contacto con las aguas servidas.
- Registros de caudales afluentes a PEAS y PTAS
- Diagnóstico del estado real de la red mediante el uso de tecnologías que permitan diagnosticar cuantitativamente y ubicar con precisión los tramos de colectores, cámaras de inspección y uniones domiciliarias con problema de infiltración. La Tabla 14.2 resume las tecnologías más usadas para estos fines. Información detallada, colector por colector, y ubicación dentro de cada colector del tipo de falla y solución recomendada (rehabilitación o reemplazo). La Figura 14.1 muestra algunas de las tecnologías disponibles.
- Priorización de las obras propuestas

Etapa 2: Ingeniería de detalle

- Especificación de tecnologías y materiales apropiados para la rehabilitación y/o construcción de sistemas de recolección impermeables: colectores y cámaras de inspección y UD's.
- Solución técnica para la conexión impermeable entre colectores y cámaras de inspección y entre UD's y colectores.
- Rejas mecanizadas con limpieza automática, para evitar su colmatación y activación de las descargas de emergencia.
- Tapas de cámaras de inspección con llave y sello de goma estancas.

¹³ www.electroscan.com/sewer-services/

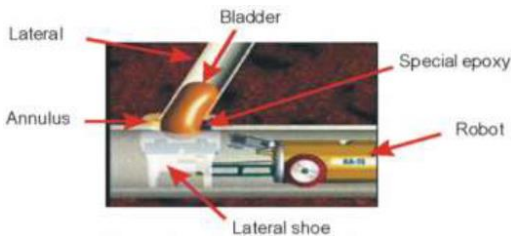


Glemans, rehab. SWP alcantarillado de San Clemente, NuevoSur (2019)

Grouting c/poliuretano de C.I



Conexión de UD's antes, durante y después de reparación mediante robots.



Reparación robótica de UD



Drenaje de A. LL.en patios de viviendas



Sellado químico interior de CI



Sellado interior de CI con mortero de cemento



Tapas con llave y sellos estancos de CI's

- Advantages:
 - Easy Quick Fix
 - Inexpensive
 - Unskilled Installation

Figura 14.1. Tecnologías disponibles para reducir la infiltración e ingreso de aguas lluvias al alcantarillado.

Tabla 14.2. Comparación entre diferentes tecnologías de evaluación de colectores: Fuente: Aguas y Saneamiento Consultores, estudio “Diagnóstico recolección de aguas servidas”, Anexo 1, para la SISS, 2008.

Parámetro	Medición de caudal	Pruebas de humo	CCTV	FELL	SSET	Perfilador Laser	Cámara Zoom
Rendimiento en Inspección (m/día)		1.500 a 3.000	600 a 900	900 a 1.200	1.000 a 2.000 (2)	1.000 a 2.000 (5)	1.500 m/día 20 a 25 Cl/día (3)
Rendimiento en Interpretación (m/día)	Variable	3.000 a 6.000	1.200 a 1.800	5.000 a 6.000	7.200 a 8.400 (4)	7.200 a 8.400 (5)	
Costo (US\$/m)	0,5 a 1	0,82 a 1,15	10 a 16	3 a 6			
Condiciones para realizar la prueba	Medir en tiempo seco y durante tormenta	Colector sobre nivel de la napa. Varios meses de tiempo seco antes de la prueba	Colector limpio. Vacío. Sin caudal (by pass)	Ninguna	Colector limpio. Vacío. Sin caudal (by pass)	Colector limpio. Vacío. Sin caudal (by pass)	Colector en uso. Con caudal normal
Tipo de dato de salida	Cuantitativo	Cualitativo	Cualitativo	Cuantitativo	Cuantitativo	Cuantitativo	Cualitativo
Detección de fallas o filtraciones	Detecta filtraciones. No detecta fallas	Detecta algunos defectos (uniones, grietas)	Detecta filtraciones que ocurren al momento de la inspección.	Detecta todos los defectos. Identifica si son estructurales, juntas o de UD's	Detecta filtraciones que ocurren al momento de la inspección.	Detecta deformaciones y depósitos en el colector	Detecta fallas en cámaras y hasta 15 a 200 m en colectores de diámetros 6" y mayores (3)
Mide tamaño de falla o filtración	Mide caudal de filtración	Estimación descriptiva	Estimación descriptiva	Amplitud del gráfico se correlaciona con tamaño de falla	Mide espesor y longitud de grietas	Mide deformaciones y depósitos	Estimación descriptiva
Precisión en la posición de la falla	120 m	120 m	0,05 m	0,05 m	0,001 m	0,05 m	
Confiable de los datos	Moderada: depende del evento captado	Baja: depende del suelo y de la superficie (p.e. pavimento)	Moderada: depende de la experiencia del operador	Alta: independiente del suelo y posición de la napa	Alta	Alta	
Experiencia requerida del operador	Semanas	Días	Meses	Días	Meses	Días	
Calificación requerida del analista	Profesional	Técnico	Técnico	Técnico	Técnico	Técnico	

Notas

1. Datos de Metrotech Corp (www.fell41.com), a menos que se indique lo contrario
2. Velocidad de 4 m/min en operación, en jornada de 8 horas. Fuente: www.hydrmaxusa.com
3. Fuente: InfraMetrix (www.hydrmaxusa.com)
4. Fuente: www.hydrmaxusa.com, sobre SSET indica 1/6 del tiempo de CCTV
5. Si perfilador laser va montado en carro de SSET

- Etapa 3: Ejecución de obras
 - Ejecución de obras que eliminen o reduzcan significativamente el ingreso de agua de la napa o de lluvia.
 - Trabajos de terreno para verificar la eficacia de las obras realizadas.
 - Registros de caudales efluentes por subcuencas (cada 15 min)
 - Registros con caudales afluentes a PEAS y PTAS (15 min)
 - Identificación y registro de trabajos adicionales.

14.1.2. Definición de obras de recolección para la empresa real

- Desconexión de sumideros de aguas lluvias. De ser necesario construir pozo/zanja de infiltración bajo la vereda.
- Desconexión de bajadas de techos de viviendas y edificios y su monitoreo permanente (DTS o flujometría permanente, por subcuencas u otra técnica)
- Cámaras de inspección herméticas, tapas con llave y sello de goma.
- Revestimiento interior de colectores de Cemento Comprimido y Cemento Asbesto: por ejemplo, usando la tecnología SWP (spiral wound pipe) o F&F (fold and form) u otra, como las usadas en Chile por Glemans u otra empresa.
- Revestimiento interior de UD's y sellado con manga en la conexión: Glemans u otras empresas cuentan con la tecnología
- Impermeabilización interior de cámaras de inspección y/o domiciliarias, mediante mezclas especiales o productos cementicios (p.e. CAVE)
- Rejas mecanizadas con limpieza automática, para evitar su colmatación y que se activen las descargas de emergencia, como ocurre en la actualidad.

14.1.3. Definición de obras de regulación para la empresa real

- No se consultan estanques ecualizadores en la ciudad
- De requerirse almacenamiento de emergencia podría utilizarse el volumen de las antiguas lagunas de estabilización existentes en las PTAS de Los Muermos y Panguipulli, como se muestra en la Figura 14.2.

14.1.4. Definición de obras de disposición para la empresa real

- De acuerdo al análisis realizado en el Anexo 7, las actuales PTAS tienen capacidad suficiente si se controla el ingreso de infiltración y de aguas lluvias.
- Se podría rehabilitar las antiguas lagunas de estabilización como un volumen de contención que impida la activación del bypass de la PTAS y la descarga de material con contenido fecal.



Figura 14.2. Terrenos disponibles de ex lagunas de estabilización en Los Muermos (izquierda) y Panguipulli (derecha).

14.1.5. Otras obras e instalaciones propuestas

Otras obras e instalaciones que pueden contribuir a la solución del problema planteado están:

- Sistema de monitoreo en tiempo real (SCADA) de caudales y niveles de agua en redes y cámaras de inspección
- Sistema de control en tiempo real (RTC) de compuertas de vertederos

14.2. Verificación hidráulica de la red de colectores

No se dispuso por parte de ESSAL de todo el detalle de la red de alcantarillado (cotas de anillo y de radier de todas las cámaras de inspección, caudales por tramo, etc.), tal que permitiera una verificación hidráulica detallada tramo por tramo. Se ha hecho una verificación indirecta que relaciona la precipitación vs volúmenes afluentes a las PTAS en tiempo seco y lluvioso

14.3. Planificación de campañas de terreno adicionales

- Inspección técnica de la impermeabilidad de la red: colectores y cámaras
- Diagnóstico del estado real de la red: colectores, cámaras y UD's
- Registro continuo on-line de niveles de napa, mediante una red de piezómetros.
- Verificación y calibración de todos los flujómetros instalados, incluyendo la reinstalación de los flujómetros electromagnéticos (para que operen a boca llena) y tiempo de tránsito (Doppler).
- Instalación de flujómetros tipo laser en puntos inundables

- Catastro de UD's: materialidad, diámetro, longitud, estado del cemento comprimido) y cámara domiciliaria (incluyendo pruebas de impermeabilidad).

14.4. Síntesis de la información disponible

La principal información utilizada para el presente estudio ha provenido de las siguientes fuentes:

- SISS: GIS
- SISS: PR013
- SISS: PR023
- SISS: NBI 2018 y 2019
- SISS: Planes de Desarrollo 2016
- ESSAL: Campañas con registro de caudales en Panguipulli y Puerto Varas 2018-2019
- ESSAL: Plano AutoCAD: sólo esquemático, sin detalles
- ESSAL: Registros de caudales impulsados, afluentes y efluentes de la PTAS
- DGA: información desde <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>
- INIA: información meteorológica desde www.agrometeorologia.cl
- CR(2) información meteorológica desde <http://explorador.cr2.cl/>
- Municipalidades: Planos Reguladores y estudios anexos

14.5. Valorización de las obras

En una primera etapa se propone sólo obras en el sistema de recolección, las que se orientan a evitar el ingreso de aguas lluvias y aguas de infiltración a la red.

Se supone que sólo basta con obras de rehabilitación, aunque la Etapa 1 propuesta (obtención de información) podría indicar reemplazos por obra nueva.

14.5.1. Valorización de obras de recolección propuestas

Las obras de recolección propuestas se orientan a impermeabilizar la red de recolección, junto con sus cámaras de inspección y UD's.

Se considera el uso de tecnologías "sin excavación" (no-dig), para lo cual ya hay un mercado desarrollado en Chile.

Con fines presupuestarios, se ha considerado los precios ofertados en diferentes obras realizadas por la empresa GLEMANS, los que se incluyen en la Tabla 14.3.

Las obras propuestas para una primera etapa se presupuestan en la Tabla 14.4, cuyas cantidades se han definido con los siguientes criterios:

- Se consulta rehabilitación sólo de colectores “permeables”, como son los de cemento asbesto y cemento comprimida. Esto no incluye a colectores de PVC de Los Muermos, los cuales tendrían uniones defectuosas y que requerirían un trabajo de sellado con medios robóticos.
- Sólo se considera el porcentaje de instalaciones que se encuentran bajo la napa, según lo informado por ESSAL
- Del porcentaje anterior, se considera que no todas las instalaciones requieren rehabilitación. Se ha aplicado un criterio paretiano y se estima que requiere rehabilitación sólo un 30 % de las instalaciones bajo la napa (colectores, cámaras de inspección y UD’s).
- No se ha incluido la desconexión de aguas lluvias desde sumideros instalados en la vía pública porque, según lo informado por la empresa esto se ha ya realizado.
- Similarmente, la empresa ha realizado campañas para desconectar las bajadas de aguas lluvias de los techos de las viviendas y está permanentemente preocupada del tema.

Tabla 14.3. Precios de referencia para trabajos de rehabilitación de colectores.

Fuente: Presupuestos de Glemans, para ESVL y Nuevo Sur.

Actividad	Unidad	Cantidad (m)	P.U. (\$/un)	P.U. (UF/un)	Precio Total (UF)	Fecha	UF (\$)
Instalación tubería PVC SWP dentro de tubería de cemento de 175-200 mm y reconexión de UD	m	613		10,6	6.498	22-06-2015	
Suministro y colocación HDPE PE80 PN6 DN=225 mm	m	1	168.000	6,36	6,36	03-03-2017	26.406
Suministro y colocación HDPE PE80 PN6 DN=225 mm	m	1	90.897	3,44	3,44	03-03-2017	26.406
Suministro y colocación HDPE PE80 PN6 DN=225 mm	m	1	207.830	7,87	7,87	03-03-2017	26.406
Instalación tubería PVC SWP dentro de tubería de cemento de 230-250 mm y reconexión de UD	m	159		11,3	1.797	22-06-2015	
Suministro y colocación HDPE PE80 PN6 DN=250 mm	m	1	236.712	8,96	8,96	03-03-2017	26.406
Suministro y colocación HDPE PE80 PN6 DN=250 mm	m	1	212.300	8,04	8,04	03-03-2017	26.406
Instalación tubería PVC SWP dentro de tubería de cemento de 300 mm y reconexión de UD	m	40		12,1	484	22-06-2015	
Transporte, Instalación y prueba HDPE PE80 PN6 DN=400 mm	m	1	205.317	7,78	7,78	03-03-2017	26.406
Desbastado, reconexión y sellado de uniones domiciliarias de 100-110 mm	N°	81		14,7	1.191	22-06-2015	
Reconexión UD con reposición	N°	1	263.003	9,96	9,96	03-03-2017	26.406
Renovación de UD	N°	1	263.003	9,96	9,96	03-03-2017	26.406

Tabla 14.4. Valorización de obras de rehabilitación de los sistemas de recolección de Los Muermos, Panguipulli y Puerto Varas.

Localidad	Colectores permeables		Total red (m)	% de red bajo napa
	Cem. asbesto (m)	Cem. comprimido (m)		
Los Muermos	-	-	21.371	50,3
Panguipulli	993	10.950	35.542	48,0
Puerto Varas	335	33.553	91.611	46,3
Porcentaje de red a rehabilitar=				0,3
Longitud red a rehabilitar				
Localidad	Cem. asbesto (m)	Cem. comprimido (m)	P. Unit. (UF/m)	Total (UF)
Los Muermos	-	-	6,9	-
Panguipulli	142,99	1.577	6,9	17.198
Puerto Varas	46,48	4.655	6,9	47.020
			UF	64.218
			MM\$	1.841
Localidad	Cámaras de inspección (N°)	Cámaras defectuosas bajo napa (N°)	P. Unit. (UF/cámara)	Total UF
Los Muermos	214	32	10	320
Panguipulli	355	51	10	510
Puerto Varas	916	127	10	1.270
Nota: supone 1 cámara cada 100 m de colector			Total=	2.100
Localidad	Uniones domiciliarias (N°)	U. D.'s defectuosas bajo napa (N°)	P. Unit. (UF/UD)	Total UF
Los Muermos	2.113	318	2,6	827
Panguipulli	3.221	463	2,6	1204
Puerto Varas	9.613	1333	2,6	3466
Nota: supone UD's de d=100 mm			Total=	5496

En resumen, las obras propuestas totalizan UF 71.814 (aproximadamente US\$ 2,8 millones), como se detalla en la Tabla 14.5.

Tabla 14.5. Resumen de costos de obras de rehabilitación propuestas.

Nota: Se considera un 30% de las instalaciones permeables y bajo la napa

Localidad	Costos estimados de Rehabilitación (UF)			
	Colectores	Cámaras	UD's	Total
Los Muermos	-	320	827	1.147
Panguipulli	17.198	510	1.204	18.912
Puerto Varas	47.020	1.270	3.466	51.755
Total	64.218	2.100	5.496	71.814

14.5.2. Valorización de obras de regulación propuestas

No se consideran en una primera Etapa.

14.5.3. Valorización de obras de disposición propuestas

No se consideran en una primera Etapa.

14.5.4. Valorización de otras obras e instalaciones propuestas

No se consideran en una primera Etapa.

15. Conclusiones y recomendaciones.

15.1. Conclusiones

15.1.1. Aspectos metodológicos

Se ha aplicado una metodología basada en balance de masas (métodos químicos) para determinar el nivel de infiltración en las 3 localidades en estudio, usando como trazadores algunas de las componentes propias de las aguas servidas, como la DBO5, SST, NKT y P. Esta metodología se ve afectada cuando en una localidad hay actividad industrial que altera la normal concentración de dichos trazadores en las aguas servidas. Un segundo efecto distorsionador es la existencia de PEAS que alteran la distribución horaria de los caudales de aguas servidas. La metodología debería ser aplicada exclusivamente en tiempo seco, ya que las aguas lluvias que temporalmente ingresan al alcantarillado diluyen la concentración de los trazadores adoptados. Con todo, la metodología ha permitido estimar los porcentajes de infiltración en las 3 localidades en estudio. El costo de esta metodología es alto, por la necesidad de obtener muestras horarias durante 24 horas y su posterior análisis físico-químico en un laboratorio certificado.

La aplicación de métodos volumétricos empíricos para determinar la infiltración es más simple y ha permitido confirmar los resultados obtenidos mediante métodos químicos. Sin embargo, exige que los caudales estén correctamente registrados a nivel horario (idealmente cada 15 minutos). La data utilizada obtenida mediante flujómetros de tecnología área/velocidad puede estar afectada o descontinuada por la obstrucción del sensor de velocidad ubicado en el radier del colector o por obstrucciones en los colectores y/o rejillas (colectores en carga).

La aplicación de la tecnología DTS (Distributed Temperature Sensing) para ubicar geográficamente los puntos de ingreso de infiltración y agua lluvia en el área aportante a la PEAS San Antonio de Los Muermos, ha demostrado ser efectiva, aunque requiere de equipamiento especial, como fibra óptica instalada en radier del colector y un equipo generador y registrador de pulsos de luz laser, lo que la hace de alto costo. Además, genera una cantidad muy grande de información

(temperatura cada 1 m de fibra óptica cada 1 minuto), lo que exige disponer de una herramienta de cálculo apropiada. Su principal ventaja es que permite mantener durante un lapso de tiempo el monitoreo, especialmente para verificar si la desconexión de aguas lluvias domésticas se mantiene en el tiempo (i.e. el cliente no se re-conecta).

Como conclusión principal, en cuanto a la información necesaria, se estima que una campaña de aforo por sub-cuenca, de 1 o 2 semanas, tanto en tiempo seco como lluvioso, permite obtener información suficiente para estimar los volúmenes de infiltración y de aguas lluvias que ingresan al alcantarillado. Las sub-cuencas deben ser independientes entre sí y no contar con PEAS intermedias, de lo contrario se debe medir el afluente a cada PEAS. También es necesario contar con el registro continuo del caudal afluente a la PTAS y del caudal by-paseado, para verificar el cierre del balance de caudales.

La metodología aplicada para separar el caudal de agua lluvias que ingresa a la red de recolección, sigue los lineamientos indicados en la literatura, desglosando el caudal total registrado en el tiempo (agua servida + infiltración+ agua lluvia), siguiendo la secuencia:

- Caudal de Infiltración e ingreso de agua lluvias (I&I) = caudal total – caudal de aguas servidas estrictas. Estas últimas obtenidas de los registros continuos de caudal en tiempo seco.
- Caudal de ingreso de A.LL. = Caudal de I&I – caudal de infiltración. Estas últimas obtenidas de la aplicación de métodos químicos o volumétricos
- Es posible utilizar los registros de precipitaciones horarias de una estación meteorológica vecina, como las que actualmente se encuentran disponibles en la internet¹⁴. Sin embargo, para correlacionar con mayor precisión la precipitación con el caudal de ingreso a los colectores, lo ideal es contar un pluviógrafo en la localidad en estudio.

15.1.2. Resultados Obtenidos

Los principales resultados obtenidos en el presente estudio indican los niveles de infiltración según el detalle de la Tabla 15.1.

La comparación entre los caudales de **infiltración** obtenidos en el presente estudio y los adoptados por ESSAL en su PD 2020 se resume en la Tabla 15.2

¹⁴ DGA, INIA, CR2

Tabla 15.1. Resumen de resultados obtenidos.

Localidad	Método	Fecha	Tiempo seco		Tiempo lluvioso		Parámetros explicativos	Fuente
			Caudal de Infiltración		Caudal A. Lluvias + Infiltración			
			(m ³ /h)	(L/s)	(m ³ /h)	(L/s)		
Los Muermos	Químico	13 y 14 Abril 2020	3,00	0,83			NKT, N total, P	AyS
Los Muermos	Químico	8 y 9 de Junio 2020			23,90	6,60	N total-incertidumbre	AyS
Los Muermos	Volumétrico	13 y 14 Abril 2020	3,73	1,04				AyS
Los Muermos	Volumétrico	8 y 9 de Junio 2020			17,90	5,00	Promedio	AyS
Los Muermos	Volumétrico	8 y 9 de Junio 2020			24,90	6,90	Promedio, sin outlier	AyS
Panguipulli	Químico	18 y 19 marzo 2020	21,30	5,80			NKT, Nt, DQO (Q PTAS)	AyS
Panguipulli	Químico	17 y 18 junio 2020			64 ± 9	17,8 ± 2,5	NKT, Nt, DQO c/incertidumbre	AyS
Panguipulli	Volumétrico	18 y 19 marzo 2020	57,60	16,00			Promedio WWP, MFF y SS	AyS
Panguipulli	Volumétrico	17 y 18 junio 2020			63,90	17,80	Promedio	AyS
Panguipulli	Volumétrico	17 y 18 junio 2020			192,70	53,50	Promedio, afluyente PTAS	ESSAL
Panguipulli	Volumétrico	8 diciembre 2018	28,70	8,00			Aforos 11 cuencas	ESSAL
Panguipulli	Volumétrico	9 diciembre 2018	18,00	5,00			Aforos 11 cuencas	ESSAL
Puerto Varas	Químico	1 y 2 abril 2020	16,10	4,50			NKT, P y DQO	AyS
Puerto Varas	Químico	2 y 3 junio 2020			200,00	55,60	NKT, Nt y P	AyS
Puerto Varas	Volumétrico	1 y 2 abril 2020	10,90	3,30			SS	AyS
Puerto Varas	Volumétrico	2 y 3 junio 2020	15,60	4,30			SS sin outlier	AyS
Puerto Varas	Volumétrico	2 junio 2020			132,90	36,90	Promedio	AyS
Puerto Varas	Volumétrico	27 julio 2019			131,90	36,60	Suma > 0, 12 cuencas	ESSAL
Puerto Varas	Volumétrico	28 julio 2019			116,20	32,30	Suma > 0, 12 cuencas	ESSAL
Puerto Varas	Volumétrico	20 julio 2019			199,20	55,30	Suma > 0, 12 cuencas	ESSAL
Puerto Varas	Volumétrico	21 julio 2019			333,10	92,50	Suma > 0, 12 cuencas	ESSAL

Tabla 15.2. Comparación entre infiltración obtenida y la del PD 2020.

Localidad	Presente Estudio *	PD 2020
Los Muermos	0,8 ± 1,3 L/s	1,50 L/s
Panguipulli	5,8 ± 4 L/s	9,02 L/s
Puerto Varas	4,5 ± 4,7 L/s	22,92 L/s
<ul style="list-style-type: none"> • Ver Tabla 4.16 del Anexo N° 4. 		

Se aprecia una sobre-estimación importante de la infiltración para Puerto Varas por parte de ESSAL. Sin embargo, se debe considerar que la infiltración tiene una variación estacional e inter-anual, dependiendo del nivel de la napa, la que a su vez está influenciada por las precipitaciones. Por lo tanto, los valores obtenidos de observaciones puntuales, como en el presente estudio, no necesariamente son representativos y válidos para cualquier época del año. Tampoco son extrapolables a otras localidades.

En síntesis, tanto la infiltración como el ingreso de aguas lluvias tienen valores variables en el tiempo y no deben ser considerados como constantes. Además, ambos valores dependen de la localidad en estudio, ya que estas tienen suelos e infraestructura sanitaria de diferente característica y estado de conservación.

El ingreso de aguas lluvias a los colectores depende directamente de la intensidad y duración de las lluvias. Las observaciones obtenidas en 2020 no corresponden a eventos de gran intensidad (> 15-20 mm/hora).

Los resultados obtenidos muestran claramente que el caudal de aguas lluvias que ingresa a la red sanitaria es significativamente mayor que el de infiltración, lo cual establece el orden de prioridad para enfrentar el problema.

Las proyecciones de caudal de aguas lluvias, para diferentes períodos de retorno llevan a caudales crecientes que superan la capacidad actual de PEAS, conducciones y PTAS

La cuantificación teórica de los diversos aportes de aguas lluvias a la red de alcantarillado (ver Anexo 12) desde diversas fuentes se resume en la Tabla 15.3.

Esto deja en claro la importancia de controlar en primer lugar el ingreso de A.LL. por sumideros (aporte mínimo 7,8 L/s por sumidero del tipo S3 o S4, los más pequeños).

El ingreso de aguas lluvias por tapas de cámaras abiertas representa un caudal de al menos 15 L/s por cámara. Por las tapas no removidas ingresa un caudal unitario menor, pero en el total de cámaras de una localidad o sector puede ser tan significativo como los anteriores.

Finalmente, la eventual conexión de aguas lluvias desde los techos de las viviendas al alcantarillado varía entre 4 y 22 L/s, según la localidad, considerando lluvias de 1 hora con T= 2 años y sólo un 1 % de viviendas con conexión ilegal.

Tabla 15.3. Caudales de aguas lluvias probables de ingresar al alcantarillado según su origen

Origen	Caudales mínimos probables de ingreso de agua lluvia (L/s)				Observaciones
	Los Muermos	Pangui-pulli	Puerto Varas	Todas las localidades	
Techumbres	4,3	13,0	22,2		Lluvia de 1 hora, T = 2 años, conexión de 1 % de los techos
Tapa de C.I. abierta				15,0	1 tapa, H = 2,5 cm
Tapa de C.I. cerrada				0,5	1 tapa, H = 2,5 cm
Sumidero/rejilla de A.LL.				7,8	1 Sumidero S3 o S4 y h = 2,5 cm

La superposición de todos estos ingresos posibles de lluvia puede ser muy significativo. Por ejemplo, en Los Muermos podría ingresar al menos 28 L/s, en Panguipulli 36 L/s y en Puerto Varas 45 L/s.

La ubicación de los puntos de ingreso es simple en el caso de las tapas de cámaras, ya que sólo interesan los sectores bajos que se inundan.

La conexión de aguas lluvias desde techos es más compleja, ya que, además de ubicarlos y eliminarlos, se debe verificar que se mantengan desconectados en el tiempo. La tecnología DTS probada en el presente estudio es una alternativa técnicamente factible para este fin. Su costo debería reducirse si se le utiliza en gran escala y no a nivel piloto como en el presente estudio.

15.2. Recomendaciones

Es **altamente recomendable**, sino indispensable, contar con una metodología probada y eficiente de evaluación de la condición actual (CA) del sistema. Esta se debe iniciar con la recopilación de información, cuantificada en forma precisa y completa sobre el estado de la red sanitaria y de sus puntos críticos, por los cuales pueda incorporarse infiltración y/o ingreso de aguas lluvias.

El monitoreo continuo de una red de piezómetros es fundamental para identificar la posición de la napa, su distribución geográfica y la variabilidad estacional.

En la Tabla 14.1 del presente informe se muestran las diferentes tecnologías para la evaluación de los colectores, sus rendimientos, costos, confiabilidad y requerimientos de personal experto. En la literatura generada por reconocidas organizaciones como Water Environment Federation (WEF), Environmental Protection Agency de USA (USEPA) y otras, se describen dichas tecnologías, con ejemplos de aplicación reales.

Lo anterior, debe conducir a una lista **priorizada** de elementos y/o acciones a desarrollar. Si bien una buena evaluación y priorización, será más costosa, en tiempo y recursos, la(s) solución(es) que minimice(n) el I&I será más eficaz y eficiente. La solución debe ser **integral**, atacando varios frentes simultáneamente (colectores, cámaras de inspección, desconexión de sumideros de aguas lluvias y techos). Dentro de la integralidad, la inspección regular (p.e. inspección televisiva, FELL, GPR (radar), perfilador laser u otras tecnologías) y el mantenimiento preventivo (p.e. limpieza, rehabilitación del tipo “sin zanja”) de la red es esencial.

El problema de la infiltración e ingreso de aguas lluvias tiene la desventaja que al solucionar un problema en un sector (p.e. reduciendo la infiltración,) se transfiere

el problema a otro donde antes esto no se producía sector (p.e. porque sube el nivel de la napa). Esto es similar a lo ocurre en la reducción de pérdidas en la red de agua potable, donde, al reducir las fugas se produce un alza en la presión, lo que genera mayores pérdidas en lugares donde anteriormente eran menores o inexistentes.

No siempre es posible determinar a priori si el problema radica en los colectores y cámaras públicos, o en la UD y red sanitarias particulares. Resolver este dilema hace necesario medir, seleccionando muestras representativas y homogéneas de colectores, cámaras, UD's y redes domiciliarias, en cada localidad, para así discriminar y priorizar las soluciones. No se debe menospreciar el problema de las UD y redes interiores de las viviendas, ya que puede resultar similar o mayor que el de la red pública.

No se puede esperar que con una campaña bien hecha el problema de la I&I va a quedar resuelto. La experiencia internacional demuestra que esto debe transformarse en una **acción permanente**. Kesik (2015), NRC (2003) y otros proponen manuales de buenas prácticas para este fin.

Dado que la solución del problema de I&I es de “retornos decrecientes”, es necesario que, en la empresa real, exista una definición clara de cuál es el “nivel óptimo de I&I”, ya que llegar a un nivel nulo es técnicamente imposible y un nivel muy bajo puede resultar no rentable. En la literatura¹⁵ se citan proyectos donde el tiempo de recuperación del capital (payback period) es del orden de 4-6 años.

Para una correcta evaluación económica de un proyecto de reducción de I&I debe incluirse el beneficio de postergar o evitar inversiones en ampliaciones de PEAS, Conducciones y PTAS. También se debe incluir los costos indirectos y sociales, especialmente los que afectan a las comunidades.

La normativa nacional (NCh 1105 Of. 99, sección 6.6.1.3) establece que en la determinación del caudal de diseño de un colector debe incluirse un porcentaje por concepto de infiltración, no así de aguas lluvias, por tratarse de sistemas separados. Por lo tanto, y dada la imposibilidad legal de que la concesionaria intervenga en las instalaciones domiciliarias, excepto la UD, **se recomienda incorporar un porcentaje de agua de infiltración** para el dimensionamiento de la red de recolección. Dicho porcentaje debe ser justificado técnicamente por la concesionaria, caso a caso, con información de respaldo (profundidad y estado de la instalación, tipo de suelo, nivel de napa, etc.). Sin embargo, esto no debe confundirse con la incorporación de aguas lluvias desde los techos o patios de las viviendas, lo que la concesionaria debe fiscalizar y sancionar, de acuerdo con la legislación vigente.

¹⁵ Simicevic y Sterling (2006)

Se recomienda también revisar algunos aspectos de la norma NCh 1105, como mínimo, y especialmente en zonas de alta infiltración y lluvia:

- Diseño de la conexión de UD's a colectores (flexibilidad, impermeabilización)
- Diseño de la conexión de colectores a cámaras (flexibilidad, estanqueidad)
- Diseño de cámaras de inspección más impermeables (materialidad, aditivos impermeabilizantes, prefabricación)
- Diseño de vertederos de emergencia en las redes
- Uniones entre tubos que garanticen impermeabilidad
- Ubicación de las cámaras de inspección (evitar calzadas y puntos bajos)
- Diseño y especificación de tapas de cámaras de inspección
- Red de piezómetros que permita conocer el nivel de la napa
- Limpieza e inspección periódica de la red de colectores (CCTV u otra tecnología), asociada a una calificación técnica del estado de la misma.
- Pruebas periódicas que permitan cuantificar tanto la infiltración como la exfiltración en la red de alcantarillado, ya que esta última puede distorsionar los balances de masa y de caudales. Además, conocer en detalle la exfiltración permitiría adoptar las medidas para asegurar que los colectores son impermeables y así reducir su impacto ambiental (contaminación del subsuelo y/o napa)

También podría mejorarse la normativa¹⁶ relativa al drenaje de las aguas lluvias al interior de las propiedades particulares. Por ejemplo, en las nuevas viviendas debiera exigirse verificar y/o incluir obras (áreas permeables, zanjas o pozos) de infiltración de aguas lluvias al subsuelo.

Kesik (2015), dentro de las buenas prácticas de gestión del ingreso de aguas lluvias e infiltración (I&I) a la red señala:

“Las causas del I&I son casi completamente atribuibles a factores humanos, relativos al diseño, construcción, aseguramiento de calidad, inspección, monitoreo y mantenimiento. Los problemas de desempeño de la red también pueden estar exacerbados por factores ambientales, tales como las condiciones del suelo, de la napa subterránea y también por la calidad de los materiales. No es la falta de materiales, métodos o tecnologías la razón por la que los problemas de I&I siguen ocurriendo en los sistemas de alcantarillado sanitario, más bien son una consecuencia de no tomar en cuenta todos los factores que afectan su desempeño y, luego, no enfrentarlos de manera efectiva”

¹⁶ RIDDA, Art. 100

16. Bibliografía

Aguas y Saneamiento Consultores (2008), “Diagnóstico recolección de aguas servidas”, para la SISS, 2008.

Aguas y Saneamiento Consultores (2015), “Determinación de niveles de infiltración, coeficiente de Harmon y factor de recuperación, para la concesión de disposición de la ciudad de Antofagasta”, para ECONSSA.

Amphos 21 Consulting Chile Ltda. (2012), “Estudio cuencas principales Región de Los Ríos”, para la DGA, diciembre 2012

APUSS (2004), “Deliverable 11.3. Summarisation of “Economic valuation”, Informe de T. Frehmann, Diciembre 2004

Aquadrado Consultores (2018), “Informe de mecánica de suelos. Zonificación geotécnica suelo de fundación de la ciudad de Valdivia”, para Aguas Décima, marzo 2018.

Arrau Ingenieros Consultores (en curso), “Plan maestro de aguas lluvias de Panguipulli”.

ASCE-EPA (2004), “Sanitary sewer overflow solutions. Guidance manual”, elaborado por Black&Veatch Co, EPA cooperative agreement #CP-828955-01-0.

Ayala y Cabrera Ingenieros Consultores/ AC Ingenieros consultores (2017), “Plan maestro de aguas lluvias de Puerto Varas”,

Behesti M., Saegrov S. y Ugarelli R. (2015), “Infiltration/inflow assessment and detection in urban sewer system”, VANNI, 01, pp. 24-34.

Beheshti M. y Saegrov S. (2018), “Quantification assessment of extraneous wáter infiltration and inflow by analysis of the thermal behavior of the sewer network”, Water, 2018, 10, doi:10.3390/w10081070.

Behesti M. y Saegrov S. (2019), “Detection of extraneous water ingress into sewer system using tandem methods – a case study in Trondheim city”, Water Science and Technology, 79.2, 2019, pp. 231-239.

Belhadj N. (1994), “Variations par temps de pluie des débits dans les réseaux d’eaux usées de type séparatif: identification des composantes et modélisation des infiltrations”, Ph. Thesis, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Francia.

Bertrand-Krajewski J.-L. et al. (2005), “Assessing infiltration and exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems”, Final Report, March 2005.

Briere F.G. (2014) "Drinking water distribution, sewage and rainfall collection", Presses Internationales Polytechnique, Montreal, Canada.

Cade-Idepe (2004), Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del río Valdivia

Chow V.T, Maidment D.R. y Mays L.W. (1981), "Applied hydrology", McGraw-Hill, ISBN 0-07-100174-3.

Dawood T.H. y Nicholson M. (2012), "Less leaks, more capacity. City of Manassas targets infiltration and inflow", Journal Water Environment and Technology, WEF, noviembre 2012, pp. 37-39.

De Benedittis J. (2004), "Mesurage de l' infiltration et de l' exfiltration dans les réseaux d' assainissement", Ph. D. Thesis, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA), Francia.

De Benedittis J. y Bertrand-Krajewski J.-L. (2005), "Infiltration in sewer systems: comparison of measurement methods", Water Science and Technology, 32, pp. 161-168.

Dent S. et al (2004), "How effective is collection system rehabilitation?", Collection Systems 2004, Innovative approaches to collection systems management, WEF

DOH (2013), "Manual de drenaje urbano: Guía para el diseño, construcción, operación y conservación de obras de drenaje urbano", Ministerio de Obras Públicas, octubre de 2013.

EPA (2012), "SSOAP Toolbox enhancements and case studies", by Vallabhaneni S., Chan. C. y Campbell S., EPA/600/R-12/690, October 2012

Ertl Th., Spatzierer G. y Wildt St. (2008), "Estimating groundwater infiltration into sewerages by using the moving minimum method – a survey in Austria", 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, 2008, pp. 1-7

Espíldora B., Brown E., Cabrera G. e Isensee P. (1975), "Elementos de hidrología", Departamento de Obras Civiles, Universidad de Chile.

Forbes J. (2001), "Infiltration/Inflow. Regular checkups and an effective healthcare plan can help control the spread of this common wastewater collection "disease"", Water Environment and Technology, WEF, Abril 2001, pp. 31-36.

Franz T. (2007), "Spatial classification methods for efficient infiltration measurements and transfer of measuring results", Ph. D. Thesis, Universidad Técnica de Dresden, Alemania.

Hernández A. y Hernández A. (2004), "Manual de Saneamiento Uralita", Thomson-Paraninfo, España

IPLA Ingenieros Consultores (1986), "Estudio del mapa hidrogeológico nacional", para la DGA, Ministerio de Obras Públicas, febrero 1986

Iyer S., Scheessele E. y McLaughlin S. (2005), "Optical brighteners for illicit discharge surveys", Proceedings of the Water Environment Federation, ISSN 1938-6478.

Kaczor y Bugajski (2012), "The calculation of infiltration and inflow volume within sanitary sewer systems by using the minimum moving method", Infrastructure and ecology of rural areas, Academia Polaca de Ciencias, N° 2/1/2012, pp. 163-170

Karpf C. y Krebs P. (2005), "Assessment of extraneous water inflow in separated sewer networks", 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen, Denmark, 2005.

Kesik T. (2015), "Best practices guide: management of inflow and infiltration in new urban developments", Institute for Catastrophic Loss Reduction, ICLR research paper series, n° 54, Universidad de Toronto, Canada, ISBN 978-1-927929-02-5.

Kracht O. (2007), "Tracer-based hydrograph separation methods for sewer systems", Ph.D. Thesis, Instituto Federal Suizo de Tecnología, Zurich.

Lambert A. y McKenzie R. (2002), "Practical experience in using the Infrastructure Leakage Index", IWA Conference "Leakage Management: a practical approach", Lemesos (Chipre), Noviembre 2002

Lauwo S., Sharvelle S. y Roesner L. (2012), "A review of advanced sewer systems designs and technologies", WERF, INFR4SG09d.

Long M. (2017), "Quantifying and modeling surface inflow and groundwater infiltration into sanitary sewers in Southern Pinellas County, FL", M. Sc. Thesis, University of South Florida, junio 2017, USA.

Mara D., Sleigh A. y Tayler K. (2001), "PC-based simplified sewer design", School of Civil Engineering, Universidad de Leeds, UK.

Metcalf y Eddy (1981), "Wastewater engineering. Collection and pumping of wastewater", McGraw-Hill.

Metcalf y Eddy (1991), "Wastewater engineering. Treatment, disposal, reuse", 3° Edición, McGraw-Hill.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1996), "Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño", DICTUC, por Fernández B. y otros, noviembre 1996

Mitchell P., Stevens P. y Nazaroff A. (2007), "Quantifying base infiltration in sewers. A comparison of methods and a simple empirical solution"; Collection Systems 2007, Conference Proceedings, pp. 1-20.

Municipalidad de Puerto Varas (2018), "Estudio de actualización plan regulador comunal de Puerto Varas.

Municipalidad de Los Muermos (2013), "Plan regulador comunal de Los Muermos, Informe Ambiental,

Municipalidad de Panguipulli (1990), "Plan regulador comunal de Panguipulli"

NCh 1105.Of2009: "Ingeniería sanitaria- Alcantarillado de aguas residuales- Diseño y cálculo de redes"

NRC (2003), "Infiltration/Inflow Control/Reduction for wastewater collection systems. A best practice by the National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure", Federation of Canadian Municipalities y National Research Council, Canada, marzo, 2003.

Pottinger D., Christensen S. y Derrick M. (2011), "Battling infiltration and inflow in side sewers", Water Environment and Technology, julio 2011.

Rieckermann J. (2006), "Quantification of Exfiltration from Sewers with Tracers", Ph. D. Thesis, Instituto Federal Suizo de Tecnología, Zurich, Suiza.

Rieckermann J. et al (2005), "A novel tracer method for estimating sewer exfiltration", Water Resources Research, Vol. 41, WO5013.

Sanz-Donaire J.J. (2012), "Las series anuales de precipitación más largas de Chile: estudio y enseñanzas", Estudios geográficos, Vol. LXXIII, 273, pp. 625-656.

SERVIU Metropolitano (2005), "Guía de diseño y especificaciones de elementos urbanos de infraestructura de aguas lluvias", Ministerio de Vivienda y Urbanismo,

Simicevic J. y Sterling R. (2006), "Cost effective rehabilitation of private sewer laterals", Collection Systems 2006.

Schilperoort R.P.S. y Clemens F.H.L.R. (2009), "Fibre-optic distributed temperature sensing in combined sewer systems", Water Science and Technology, 60.5, 2009, pp. 1127-1134.

Schilperoort R., Hoppe H. y de Haan C. (2013), "Searching for storm water inflows in foul sewers using fibre-optic distributed temperature sensing", Water Science and Technology, 68.8, 2009, pp. 1723-1730.

Schilperoort R.P.S. et al. (2016), "Advances in practical applicability of DTS in sewer systems", 8th International conference on sewer processes and networks, 31 Agosto - 2 Septiembre 2016, Rotterdam, Holanda, pp. 33-37

Sterling R. et al (2006), "Methods for cost-effective rehabilitation of private lateral sewers", WERF, 02-CTS-5.

Simicevic J. y Sterling R (2006), "Cost-effective rehabilitation of private laterals", Collection Systems 2006, Infrastructure stewardship: partnering for sustainable future, WEF.

Vallabhaneni S., Chan. C. y Campbell S. (2012), "SSOAP Toolbox enhancements and case studies", EPA/600/R-12/690, October 2012

V&A (2010), "Sanitary sewer flow monitoring and Inflow/Infiltration study", City of Ukiah, California, USA.

WEF (1994), "Existing sewer evaluation & rehabilitation", Water Environment Federation, Manual of Practice FD-6, USA

WERF (2006), "Methods for cost-effective rehabilitation of private lateral sewers", by Sterling R. y otros, WERF, 02-CTS-5.

WERF (2012), "A review of advanced sewer systems designs and technologies", by Lauwo S., Sharvelle S. y Roesner L., WERF, INFR4SG09d.

WPCF (1982), "Design and construction of sanitary and storm sewers", WPCF Manual of Practice N° 9, Quinta edición, USA.

WPCF (1984), "Diseño de estaciones de bombeo de aguas residuales y aguas pluviales", Water Pollution Control Federation, Manual of Practice n° FD-4, USA