RESUMEN EJECUTIVO

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El crecimiento de los principales centros urbanos, y la generalizada disminución de la cobertura vegetal en las zonas periféricas a las urbes existentes, ha provocado una disminución del porcentaje de la lluvia que se infiltra en forma natural, aumentando por consiguiente los caudales que deben ser absorbidos por las redes de aguas lluvias existentes. Adicionalmente, la baja prioridad que históricamente ha tenido en Chile la construcción de sistemas de evacuación de aguas lluvias y la disminución de la capacidad de porteo de aguas lluvias en las redes unitarias de alcantarillado, debido al aumento de la población, han contribuido a que exista un incremento de los problemas de inundaciones por aguas lluvias en las distintas ciudades del centro y sur del país.

Considerando los aspectos anteriores, el 10 de noviembre de 1997 se promulgó en el Diario Oficial la ley Nº 19.525, que modificó el ámbito de la Dirección de Riego, que pasó a denominarse Dirección de Obras Hidráulicas, agregándole la tuición y responsabilidad sobre la planificación, estudio, proyección, construcción, operación, reparación, conservación y mejoramiento de la red primaria de sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias, hasta su evacuación en cauces naturales.

Para la materialización de las disposiciones anteriores, la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas ha estudiado y puesto en marcha un programa orientado al desarrollo de los respectivos Planes Maestros de Aguas Lluvias, de los que forma parte el estudio “Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Puerto Montt, X Región”.

Según se desprende de lo indicado anteriormente, el objetivo central del estudio realizado fue el de formular el Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de la ciudad de Puerto Montt.

Para el logro de dicho objetivo central, se definieron algunos objetivos específicos. El primero de ellos consistió en describir y caracterizar adecuadamente el actual sistema de aguas lluvias de Puerto Montt, tanto desde el punto de vista de los caudales generados para tormentas de diferente período de retorno, así como del sentido del flujo del escurrimiento, de los cauces y conducciones receptoras, de los problemas de inundaciones y otros tipos generados por dichas tormentas y de las proyecciones de dichos elementos en el tiempo, considerando las zonas de expansión urbana proyectadas como mínimo hasta el año 2020.

El segundo objetivo, a partir de los resultados logrados como cumplimiento del anterior, fue modelar la situación de aguas lluvias en la zona de estudio, considerando en forma separada cada uno de los sectores que por condiciones topográficas drenan sus aguas a través de subcuencas independientes, lo que permitió posteriormente simular el efecto de distintas configuraciones de sistemas de evacuación de aguas lluvias.

El tercer objetivo específico, y principal del estudio, consistió en analizar y seleccionar las alternativas de solución para cada uno de los casos, considerando los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales relevantes, generando así el Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de la ciudad de Puerto Montt.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de influencia del estudio, comprendió la actual área urbana y el área de expansión al año 2020 de la ciudad de Puerto Montt, cuya ubicación geográfica corresponde aproximadamente a 41º35' de longitud Sur y 72º55' de latitud Oeste.

Específicamente, el área de estudio comprendió una superficie aproximada de 45 km^2, que abarca toda la zona actualmente urbanizada de Puerto Montt, así como las áreas de expansión determinadas en el Plan Regulador de la ciudad, proyectada al año 2020.

Además, para efectos del estudio se incluyó como parte de las áreas a estudiar aquellas que aportan escorrentía hacia el área urbana actual y proyectada.

En la Figura 1 se presenta un plano de ubicación general de Puerto Montt en el contexto regional.

3. ANTECEDENTES GENERALES

La ciudad de Puerto Montt se ubica en el extremo norte del seno de Reloncaví, a 1.020 km al sur de Santiago y a 109 km al sur de Osorno. Por la Ruta 5 y el Canal de Chacao, se conecta además con la localidad de Ancud ubicada a 90 km al sur, y con toda la isla de Chiloé.

La comuna limita al poniente con las comunas de Calbuco y Maullín, al norte con la Comuna de Puerto Varas, al oriente con la comuna de Cochamó y al sur con el Seno de Reloncaví. Administrativamente, la comuna pertenece a la provincia de Llanquihue, la cual es a su vez una de las cinco provincias que forman la Décima Región o Región de Los Lagos. Puerto Montt es la ciudad capital provincial y regional.

El clima de la ciudad es de tipo marítimo lluvioso, con lluvias que se prolongan a lo largo del año. Las lluvias son abundantes en la mayor parte del año, con un promedio de precipitaciones anuales del orden de los 2.000 mm.

Respecto de las temperaturas, ellas descienden paulatinamente hacia el sur. En efecto, el promedio térmico anual es de 11,9º en Valdivia, 11,1º en Puerto Montt, 10,7º en Castro y 9,6º en Isla Guafo.

El rasgo más relevante del paisaje local está representado por las islas y canales ubicados frente a la ciudad, en el sector norte del Seno de Reloncaví. En cuanto al sector de la ciudad, éste aparece rodeada periféricamente por planicies y pequeños lomajes ondulados, que componen la hoya hidrográfica del río Maullín, con ancho variable desde el sector oriente a la zona costera.

En cuanto a antecedentes demográficos, de acuerdo con los datos del último censo de 1992, la población urbana de la comuna de Puerto Montt era de 108.000 habitantes.

FIGURA 1

4. RESEÑA HISTÓRICA DEL MANEJO DE LAS AGUAS LLUVIAS

Hasta el año 1953, las obras de ingeniería sanitaria en el país dependían de dos organismos del Estado, el Departamento de Hidráulica del Ministerio de Obras Públicas y la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado del Ministerio del Interior. En ese año, se refundió dichos organismos en uno solo, la Dirección de Obras Sanitarias (D.O.S.), que tenía como funciones estudiar, proyectar, construir, reparar, conservar, explotar, mejorar y administrar los servicios de agua potable, alcantarillado y desagües que se ejecutasen con fondos del estado o aportes.

Hasta mediados de 1977, el sector estuvo entregado también a la responsabilidad de otras instituciones. Esta multiplicidad de organismos con funciones semejantes, no permitía la formulación de soluciones para problemas cuya persistencia estaba deteriorando el sector sanitario, por lo que en ese año se creó el Servicio Nacional de Obras Sanitarias (SENDOS) que integró institucionalmente a todas las entidades que operaban en el sector. Se encontraba formada por una Dirección Nacional y once Direcciones Regionales, una en cada región administrativa del país.

Posteriormente, se transformó a SENDOS en sociedades anónimas, con participación del Fisco y de CORFO en porcentajes iniciales de 1% y 99% respectivamente para cada empresa regional. Es así como en la Región de Los Lagos se creó la Empresa de Servicios Sanitarios de Los Lagos ESSAL, responsable del tema de agua potable y alcantarillado de la región, sin obligación en el trato y manejo de las aguas lluvias.

Durante 1999 se licitó parte de las acciones de la empresa ESSAL, de manera de traspasar su control a manos privadas y capitalizarla, permitiendo así el financiamiento de los planes de desarrollo de la misma sin necesidad de nuevos recursos del Estado.

Como ya se dijo anteriormente, según la Ley Nº19.525 de noviembre de 1997, a nivel de redes primarias la encargada del tema de aguas lluvias es la Dirección de Obras Hidráulicas, perteneciente al Ministerio de Obras Públicas, mientras que las redes secundarias son de responsabilidad del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

5. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

Como primera actividad del estudio se recopiló y analizó la información disponible en diferentes instituciones tanto estatales como privadas, entre las cuales se encuentran el SERVIU, ESSAL, la Ilustre Municipalidad de Puerto Montt, la Dirección General de Aguas y otras. La información recopilada fue separada en proyectos de evacuación de aguas lluvia, antecedentes hidrológicos, antecedentes de uso del suelo y urbanísticos, cartografía del estudio y otros antecedentes.

6. CARTOGRAFÍA DEL ESTUDIO

Para generar la cartografía del estudio, se utilizó las fotografías aéreas de un vuelo existente, escala 1:20.000, realizado por el SAF en el año 1995. El trabajo de restitución aerofotogramétrica fue desarrollado por la empresa Geoingeniería Ltda. A

partir de las fotografías, se realizó el Apoyo y Control Terrestre, cuyos trabajos se realizaron en la última semana de diciembre de 1998.

Con el objeto de mejorar la calidad de la cartografía del proyecto, se utilizó diferente información existente con el objeto de trazar curvas de nivel cada un metro en los sectores cubiertos por la red de alcantarillado. Principalmente se utilizó la información topográfica de las cotas de terreno de las cámaras de alcantarillado, proporcionadas por ESSAL S.A. y niveladas como parte del estudio.

Adicionalmente, y considerando que la cartografía generada se basa en un vuelo aéreo realizado en 1995, se realizó una actualización de la superficie urbanizada, de modo de representar de mejor forma la situación actual de la ciudad de Puerto Montt. Para ello, se utilizó una fotografía aérea del S.A.F., escala 1:70.000, proveniente de un vuelo realizado en 1997. Dicha fotografía se amplificó en 4 veces, obteniéndose una fotografía de trabajo escala 1:17.500, con la que se agregó las edificaciones nuevas existentes en el perímetro urbano actual.

Como resultado del trabajo realizado, se obtuvo una cartografía escala 1:5.000 con curvas cada 5 m de la zona urbana y cada 1 m en los sectores con información de cotas de cámaras. En la zona rural, formada por las cuencas aportantes, la cartografía obtenida fue a escala 1:20.000 con curvas cada 25 m.

7. HIDROLOGÍA

El estudio hidrológico realizado, tuvo como principal objetivo la generación de las tormentas de diseño que fueron utilizadas para el diagnóstico y el diseño de las soluciones de la red de aguas lluvias.

Adicionalmente, el estudio incluyó una caracterización general tanto pluviométrica como fluviométrica del área de estudio, que respaldan el análisis de eventos máximos realizados. Como estadística base para los análisis realizados, se consideró la de cuatro estaciones pluviométricas (La Ensenada, Puerto Varas, Puerto Montt y Tepual), y tres estaciones fluviométricas (Río Blanco en Junta Chamiza, Río Coihueco antes Junta Pichicope y Río Negro en Las Lomas), ubicadas en el área de estudio o cercana a ésta, comprendiendo la información disponible del período 1950/51 - 1998/99.

7.1 Pluviometría

En cuanto al análisis pluviométrico realizado, debe indicarse que luego de rellenar y corregir las estadísticas de acuerdo a los procedimientos habituales, se decidió utilizar como estadística base la de la estación Puerto Montt.

En primer lugar, un análisis de recurrencia de las lluvias diarias permitió conocer el número de días con precipitaciones en diferentes rangos, que se presenta resumido en el Cuadro 7-1. De dicha información destaca el hecho de que en promedio hay precipitaciones durante 208 días al año.

Cuadro 7-1. Recurrencia Anual de Lluvias Diarias

Rango (mm)	Nº de días promedio
0	157
0 – 10	143
10 – 20	41
20 – 40	20
40 – 60	4
60 – 80	0,23
80 – 100	0,14
> 100	0,05

Respecto de las lluvias de diseño, ellas corresponden a aquella tormenta de una duración tal que permita que la escorrentía generada en toda la cuenca alcance el punto de salida de la misma, de una intensidad media asociada al período de retorno considerado y de una cierta distribución durante la tormenta.

Tanto las obras existentes como las obras de mejoramiento o nuevas obras, en el área urbanizada o en el área de expansión urbana, fueron calculadas para el caso en que ocurrieran dichas lluvias, de manera de asegurar un adecuado drenaje frente a precipitaciones de iguales características o menores.

Para el análisis de frecuencia, se ajustó diferentes distribuciones, seleccionándose la Log-Normal como representativa del área de estudio. En el Cuadro 7-2 se presentan los valores de precipitación diarias asociados a diferentes períodos de retorno obtenidos del análisis de frecuencia efectuado.

Cuadro 7-2. Precipitaciones Diarias para
Por Período de Retorno

Período de Retorno (años)	Precipitación (mm)
2	54,6
5	67,9
10	76,0
25	85,8
50	92,7
100	99,5

A partir de los valores anteriores, se determinó las curvas intensidad – duración – frecuencia, utilizando los coeficientes de frecuencia obtenidos a partir del análisis de frecuencia de lluvias máximas diarias anuales y los coeficientes de duración obtenidos de un estudio realizado previamente por el Minvu[1]. En las Figuras 2 a y 2 b se presentan las curvas I-D-F, para duraciones entre 0,2 y 24 horas, y períodos de retorno entre 2 y 100 años.

[1] Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas lluvias en Sectores Urbanos. Guía de Diseño. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1996.

Figura 2 a
Curvas I-D-F Estación Pto Montt

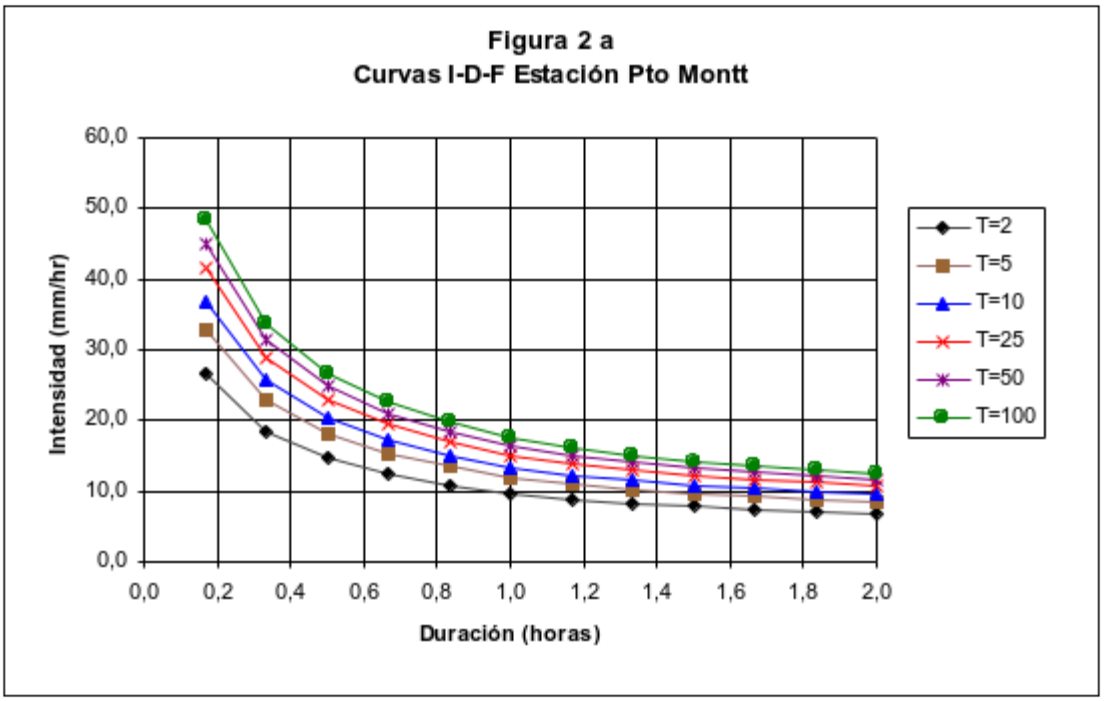
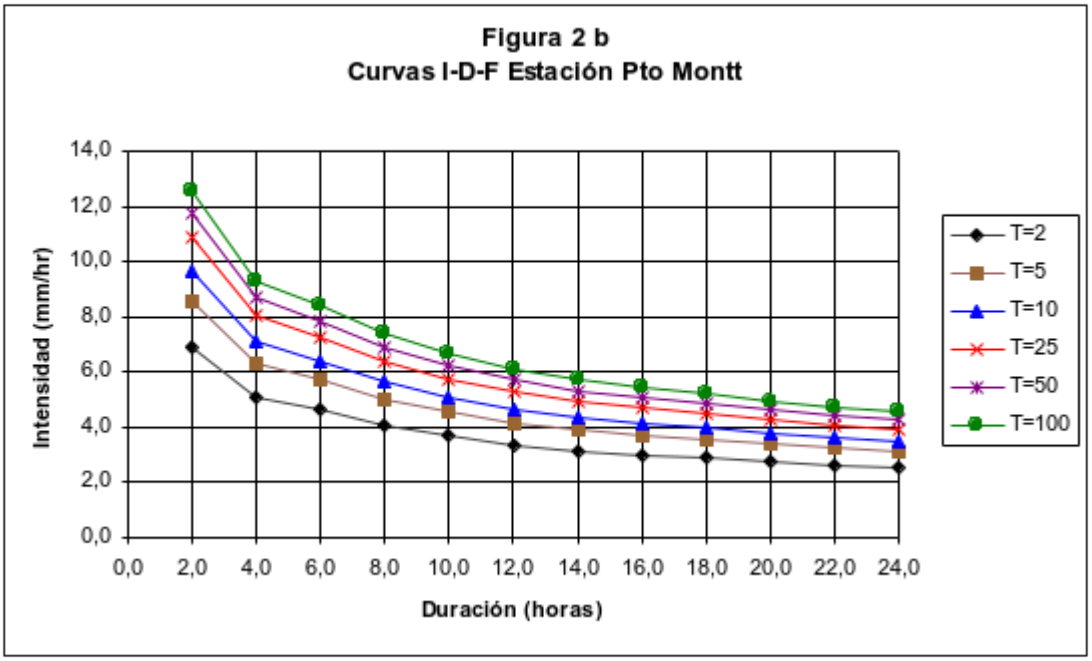


Figura 2 b
Curvas I-D-F Estación Pto Montt



Finalmente, las lluvias de diseño adoptadas, consideraron la intensidad media dada por las curvas I-D-F para el período de retorno y la duración de interés, utilizando una distribución triangular, con una intensidad máxima en un tiempo igual a dos tercios de la duración de la tormenta.

7.2 Fluviometría

Como parte del estudio fluviométrico, se realizó una caracterización hidrológica de los cauces del área de estudio, a nivel mensual y anual, de modo de generar estadísticas confiables de caudales medios mensuales con las correspondientes curvas de variación estacional.

Dentro de dicha caracterización, se desarrolló un estudio de crecidas en la cuenca de Río Negro, que es cercana a Puerto Montt y tiene control fluviométrico, en el que se compararon diferentes métodos tradicionales de generación de caudales máximos instantáneos. Los resultados entregados por cada método, fueron a la vez comparados con los resultados del análisis de frecuencia de la estadística ampliada de caudales máximos instantáneos en Río Negro, lo que permitió validar una metodología de obtención de caudales de crecida asociados a diferentes períodos de retorno en las diferentes cuencas sin control fluviométrico.

Los métodos analíticos comparados fueron el de la fórmula racional, la relación de Verni-King y el método de la Curva Número, concluyéndose que el método de la fórmula racional se ajusta mejor a las crecidas observadas.

Similar conclusión se obtuvo al aplicar a la misma cuenca los diferentes métodos de generación de escorrentía contemplados en el software Visual Hydro utilizado para la modelación.

7.3 Estudio de Mareas

En el área de estudio, existen algunos colectores unitarios y de aguas lluvias que descargan al mar, mientras que otros descargan a cauces receptores cuyas aguas llegan al mar dentro del área de estudio, como es el caso del estero Pichipelluco.

Si el nivel de descarga de una vía de drenaje coincide con el nivel del mar, el flujo hacia aguas arriba es condicionado por el efecto de las mareas. Para esos casos fue necesario cuantificar la variación del nivel del mar, ya que constituyó una condición de borde para el flujo que fue incorporada en el modelo de simulación. Para definir esa condición de borde, se realizaron mediciones de mareas y se elaboró un estudio específico.

El estudio consistió en calcular por una parte las correcciones de altura de la marea para un día específico, calculando con ellas las alturas de predicción de mareas correspondientes. Por otro lado, se midió las cotas del mar durante 8 horas el mismo día, comparándolas con las alturas predichas. De dicha comparación se obtuvo una diferencia de 6,16 m entre la referencia topográfica y el nivel de reducción de sonda.

Restando esa diferencia a los niveles de marea determinados, se obtuvo los niveles asociados a las máximas amplitudes de cada mes de 1999, expresadas en cotas.

8. SUELOS

Las características de los suelos del área de estudio, en cuanto a la forma en que la precipitación se transforma en escorrentía superficial, son de importancia para la determinación de las escorrentías asociadas a los distintos eventos de lluvia.

Por lo anterior, los suelos fueron clasificados en cuanto a su capacidad de retención, infiltración y potencial de generación de escorrentía. En las áreas no urbanizadas, la capacidad de retención depende básicamente de la cobertura vegetal del área, y del tipo de vegetación existente, mientras que la capacidad de infiltración depende principalmente de la composición del suelo, además de otros aspectos tales como la pendiente y la presencia de napa freática a poca profundidad.

Para la determinación de los coeficientes de escorrentía, en los sectores fuera del área de expansión urbana ellos se estimaron en base a la información de suelos relevante, mientras que dentro del área urbana los coeficientes de escorrentía de cada uno de los sectores definidos se determinaron, midiendo las superficies destinadas a los diferentes usos en áreas representativas, de modo de tener una composición porcentual de la cobertura urbana. Con dichos porcentajes, además de los respectivos coeficientes de escorrentía asignados a cada uno de los tipos de cobertura, se obtuvo finalmente un coeficiente de escorrentía representativo para cada sector o subsector de estudio, igual al promedio ponderado de los coeficientes asignados.

Para la situación futura, que cubre hasta el año 2020, se consideraron los límites urbanos proyectados, así como la proyección de los diferentes porcentajes de cobertura del suelo de acuerdo a lo establecido en el Plan Regulador de Puerto Montt, atendiendo a elementos como porcentaje estimado de calles pavimentadas, grados de urbanización de las mismas, tipo de viviendas permitidas, subdivisión mínima de la superficie, densidades de población y otros.

8.1 Uso Actual del Suelo

La zonificación del uso actual del suelo se realizó a partir del análisis de fotografías aéreas, con las que se caracterizó la superficie urbana identificando sectores homogéneos en cuanto a la densidad habitacional, estructura urbana, cobertura vegetal y otras, obteniéndose un total de 17 zonas diferentes. De dichas zonas, 11 corresponden a sectores residenciales con diferentes características, mientras los 6 restantes corresponden a áreas no urbanizadas, con distinto tipo de cubierta del suelo.

En los sectores definidos se realizó una estimación de los distintos tipos de cobertura existentes, vale decir techo, calle, pasto y árboles, definiendo en las fotografías aéreas un área muestral para cada uno de los sectores, midiéndose en dicha área la superficie total, y las superficies de cada tipo de cobertura. Calculando la razón entre la superficie de cada tipo y la superficie total, se obtuvo los porcentajes de cada tipo de cobertura.

8.2 Uso Futuro del Suelo

Para la proyección del uso futuro del suelo hasta el año 2020, fecha horizonte del estudio, se utilizó los antecedentes contenidos en el Plan Regulador de Puerto Montt, además de la zonificación adoptada para la situación actual. La información del Plan Regulador se consideró especialmente para las áreas de expansión y sectores del área urbana actual que no se encuentran urbanizados, mientras que para las áreas ya urbanizadas se consideró en conjunto la situación actual y lo establecido en el plan Regulador indicado.

La estimación del uso futuro se basó en estimaciones a partir del Plan Regulador, por lo que los sectores definidos tienden a ser de mayor homogeneidad y extensión. Además, en la zonificación del uso futuro del suelo se consideraron específicamente las áreas de prohibición especiales definidas por el Plan Regulador, independientemente de su situación actual.

8.3 Coeficientes de Escorrentía

Los coeficientes de escorrentía de cada subcuenca, se calcularon considerando el promedio ponderado por las áreas de los coeficientes de subsectores ubicados dentro de cada subcuenca. A su vez, los diferentes coeficientes de escorrentía corresponden a distintas combinaciones de los tipos de zonas homogéneas, pendientes y ubicación del nivel freático. Dicha estimación, basada en la observación de terreno, la experiencia del Consultor y valores recomendados en la literatura técnica, correspondió a la mejor estimación posible, la que posteriormente fue calibrada a partir de mediciones de terreno. En los Cuadros 8-1 y 8-2 se presentan los rangos de los coeficientes de escorrentía utilizados, para la situación actual y futura de usos de suelo.

Cuadro 8-1. Rangos de Coeficientes de Escorrentía por Sector. Uso Actual del Suelo

Nº Sector	Sector Homogéneo	Rango de Coeficientes de Escorrentía
1	Centro	0.76 – 0.93
2	Industrial	0.48 – 0.72
3	Habitacional Alta Densidad	0.59 – 0.79
4	Habitacional Baja Densidad	0.37 – 0.64
5	Habitacional Nuevo	0.46 – 0.72
6	Habitacional (tipo a)	0.41 – 0.68
7	Habitacional (tipo b)	0.60 – 0.82
8	Terreno sin cubierta vegetal	0.34 – 0.56
9	Terreno con vegetación arbórea	0.25 – 0.52
10	Terreno con cubierta vegetal	0.15 – 0.48
11	Habitacional con Alta Vegetación	0.49 – 0.70
12	Plantación de Árboles en Parque Residencial	0.41 – 0.67
13	Viviendas en Sector de Flora Natural	0.41 – 0.65
14	Desarrollo Habitacional Denso en torno a Arteria	0.55 – 0.78
15	Desarrollo Habitacional Débil en torno a una Arteria	0.24 – 0.54
16	Zona no urbanizada, sin vegetación	0.34 – 0.56

Cuadro 8-2. Rangos de Coeficientes de Escorrentía por Sector. Uso Futuro del Suelo

Nº Sector	Sector Homogéneo	Rango de Coeficientes de Escorrentía
1	Centro	0.78 – 0.95
2	Industrial Alta Densidad	0.50 – 0.76
3	Industrial Baja Densidad	0.38 – 0.57
4	Habitacional Alta Densidad	0.62 – 0.83
5	Habitacional Media Densidad	0.41 – 0.71
6	Terreno sin cubierta vegetal	0.34 – 0.56
7	Habitacional Densidad Baja	0.47 – 0.66
8	De Expansión. Muy Baja Densidad	0.25 – 0.40
9	De Expansión. Baja Densidad	0.26 – 0.42
10	De Expansión. Media Densidad	0.28 – 0.46
11	De Expansión. Alta Densidad	0.40 – 0.64
12	Cubierta Vegetal	0.15 – 0.48
13	Cubierta con Vegetación Arbórea	0.25 – 0.52

9. INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

Como parte del estudio se recopiló y catastró la infraestructura existente en el área de estudio, destinada a recibir y conducir las aguas lluvias. Asimismo se calculó su capacidad de porteo de aguas lluvias.

Dicha infraestructura está formada por conducciones artificiales y naturales, interconectadas, que en su conjunto determinan la capacidad del sistema para evacuar las aguas lluvias generadas en el área de estudio.

Las conducciones artificiales, están conformadas principalmente por el sistema de alcantarillado de aguas lluvias, que en algunos sectores es de tipo separado, conduciendo sólo aguas lluvias, y en otros sectores son unitarios, es decir conducen conjuntamente aguas servidas y aguas lluvias.

Adicionalmente, forman parte de la red de drenaje superficial las principales calles y avenidas de la ciudad, ya sea actuando como superficies recolectoras que concentran las aguas hacia los sumideros de aguas lluvias, o directamente como verdaderos “cauces artificiales” que conducen las aguas lluvias hasta sectores de menor cota.

El sistema artificial de drenaje de aguas lluvias está formado por una serie de ductos abiertos o cerrados, en general de corta longitud, que recolectan aguas típicamente desde laderas de zonas no urbanizadas, o transportan las aguas desde puntos de acumulación a sectores más alejados. La excepción a lo anterior corresponde a la situación de la Población Modelo, donde existe una extensa red de canaletas de pequeñas dimensiones y muy antiguas, que drenan las aguas lluvias en forma superficial.

Por su parte, el sistema de drenaje natural, se encuentra formado por varios esteros de pequeñas dimensiones, cuyas áreas aportantes se encuentra en gran medida dentro del área urbana. En algunos de dichos cauces, específicamente los

esteros Lobos y Pichipelluco, los mismos han sido incorporados activamente a la red de drenaje de aguas lluvias, recibiendo directamente numerosas descargas desde la red de colectores existente.

En cuanto a su estado de mantención, debe señalarse que en general la red de evacuación de aguas lluvias denota que no ha sido sujeta a mantenciones de ningún tipo a lo menos en los últimos 10 a 15 años, más allá de limpieza exterior de las rejillas de los sumideros. En el mismo sentido destaca el alto grado de deterioro y de obstrucción que presentan gran parte de los sumideros de aguas lluvias de la ciudad, siendo éste último aspecto una limitante importante a la capacidad de evacuación de los sistemas.

Sin embargo, el principal aspecto deficitario que presenta la red de evacuación de aguas lluvias, lo constituye el muy alto grado de embanque que presenta el sistema de colectores, especialmente en el sector bajo de la ciudad, producido por el arrastre de sedimentos desde el sector alto y las bajas pendientes de los colectores del sector bajo. El grado de embanque observado llega a niveles que incluso alcanzan el 50 % de la altura total de algunos colectores.

En cuanto a la red de colectores existente, la de colectores separados de aguas lluvias tiene una extensión total de casi 45.000 m, con diámetros variables entre 150 y 1.550 mm. De dicha longitud, el 55% de la red se ubica en el sector alto de la ciudad, en las cuencas que descargan hacia el estero Lobos. Por su parte, la red de colectores unitarios tiene una extensión total algo superior a los 15.000 m, con diámetros de colectores que varían entre 180 y 1.000 mm. Toda dicha red está comprendida en el sector bajo de la ciudad que drena hacia el mar, especialmente en el sector céntrico.

Respecto de los canales urbanos, en la ciudad de Puerto Montt existen solo pequeñas obras de dicho tipo, ninguno de los cuales tiene otra finalidad que la evacuación de aguas lluvias. Ello se debe principalmente a la topografía de la ciudad, que desciende abruptamente hacia el mar, sin que existan sectores de riego en el área.

Por su parte, en el área de estudio existen varios cauces naturales, los que a continuación se describen brevemente, de oriente a poniente.

El estero Pelluco se ubica al extremo oriente del área urbana de Puerto Montt, descargando sus aguas al mar en el sector en que se ubica el balneario del mismo nombre. Su orientación general es Nororiente – Surponiente y nace en el sector denominado Pelluco Alto, aproximadamente a la cota 120 m.s.n.m.

El estero Pichipelluco nace en el mismo punto que el estero Pelluco, pero a diferencia del anterior, drena hacia el poniente y luego aproximadamente hacia el sur, hasta descargar al mar. La cuenca de este estero es menor a la del estero Pelluco.

El estero Lobos es el principal cauce natural de la ciudad. Nace en el sector alto al oriente de la ciudad, en el sector de La Paloma, prácticamente dentro del área urbana, lo que explica la ausencia de flujos superficiales cuando no se producen precipitaciones. El estero escurre de este a oeste desde el sector La Paloma, continuando su curso a través de una serie de conjuntos habitacionales y cruza la Ruta 5, para continuar entubado en un tramo posterior a lo largo de la tercera terraza de la ciudad, y luego nuevamente como cauce abierto.

A lo largo de su trayectoria, el cauce presenta actualmente una muy importante cantidad de basuras y desperdicios, lo que incluso provoca zonas de aguas estancadas, lo que agrava las condiciones higiénicas de un sector de poblaciones de nivel socio económico bajo a medio bajo, ubicadas a lo largo de su ribera. En su paso por las poblaciones recibe clandestinamente aguas servidas y desperdicios, lo que lo ha transformado en curso de agua muy embancado. La situación anterior se ve agravada en períodos de lluvias intensas, que provocan el desborde del cauce y las consiguientes inundaciones de las áreas vecinas.

Al poniente de la Ruta 5 Sur, algo al sur del estero Lobos, se encuentra el estero Los Pelúes, que escurre paralelo a la calle Pelúes, y posteriormente abandona el área urbana, para descargar sus aguas al estero Lobos.

El estero Chinquihue no forma parte del área urbana, excepto en un sector de pocos metros en que el cauce cruza el camino a Chinquihue, y descarga al mar. Dentro de la cuenca del estero, por tanto, no hay urbanizaciones y se ha considerado como parte del área de estudio porque debido a razones de continuidad, una franja en torno al camino a Chinquihue forma parte del área urbana de la ciudad.

Completan los cauces urbanos un conjunto de quebradas que descargan directamente al mar.

Para todas las obras indicadas, se determinó su capacidad máxima de conducción.

10. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS DE INUNDACIÓN

Como parte de las actividades de diagnóstico de la situación existente, se identificó los sectores del área de estudio con problemas de inundación. Para ello se consideró antecedentes tanto de fuentes documentales como información obtenida directamente en terreno durante el desarrollo del estudio, lo que se efectuó mediante encuestas a representantes de las juntas de vecinos y a personas directamente afectadas por inundaciones en los diferentes sectores que presentan este tipo de problemas. Además, se realizó visitas a terreno durante los días de lluvia.

En la Figura 3 se muestra un plano general de los problemas de inundación en Puerto Montt.

FIGURA 3

11. PATRÓN DE DRENAJE

Para la descripción del patrón de drenaje, se utilizó en forma conjunta la información recopilada en el estudio, especialmente en lo relativo al catastro y a las actividades de reconocimiento desarrolladas en terreno durante los días de lluvia.

Para la descripción, el área de análisis se dividió en subsectores homogéneos desde el punto de vista de las direcciones del escurrimiento de aguas lluvias. Esos antecedentes se consideraron como antecedentes básicos para la definición de la sectorización de la red de la ciudad en sub-redes, durante la modelación.

En total, se dividió el área de estudio en 29 zonas, cada una de las cuales se caracterizó por un único lugar de salida de las aguas lluvias, ya sea que escurriera superficialmente o a través de la red de colectores de aguas lluvias.

12. DIAGNÓSTICO

El diagnóstico de los sistemas de evacuación y drenaje para la condiciones de uso actual y futuro del suelo se realizó mediante la representación del sistema de evacuación y drenaje del área de estudio con modelos de simulación. El sistema modelado está constituido por la red de drenaje natural, conformada por ríos, esteros, quebradas y cauces naturales, y una red artificial, compuesta de colectores de aguas lluvias, colectores unitarios, canales y calles. En éste último caso, las calles simuladas fueron aquellas que a priori se había identificado como vías de flujo, más aquellas que resultaron con flujos superficiales como resultado de la operación de los modelos.

Una vez elaborada la representación del sistema de drenaje, se evaluó su comportamiento frente a tormentas asociadas a distintos períodos de retorno. La evaluación de la respuesta del sistema consistió en establecer qué zonas se inundan a causa de las aguas lluvias que origina la tormenta impuesta.

De acuerdo a los alcances requeridos para el diagnóstico, se simuló para la condición de uso actual de uso del suelo para dos situaciones: considerando el nivel de mantenimiento de los colectores observado en terreno, y considerando que dicha red se encuentre en buen estado de operación, es decir sin embanques ni obstrucciones de importancia. Adicionalmente, se simuló para la condición de uso futuro del suelo, considerando que la infraestructura existente estuviera en buenas condiciones de mantención. Todos los casos anteriores se simularon para las tormentas asociadas a períodos de retorno de 2, 5 y 10 años.

El sistema de drenaje del área de estudio fue representado a través de modelos de simulación construidos con el software Visual Hydro, dividiendo la zona de estudio en cuatro sectores, en función de la red de drenaje artificial y natural y la conexión entre los elementos de ésta, confeccionándose un modelo independiente para cada uno de ellos.

El primer modelo, correspondió a la cuenca del estero Pichipelluco, que posee un drenaje independiente del resto de las cuencas.

El segundo modelo, denominado centro, abarcó toda la red de drenaje artificial cuyo escurrimiento llega al mar, dividiéndose en un submodelo del sector oriente

y un modelo del sector poniente, con el objeto de disminuir los errores de continuidad que se originaban debido a la complejidad de la red representada. Incluyó el centro de Puerto Montt, y comprendió una malla que incluyó las interrelaciones entre los colectores unitarios y de aguas lluvias que conforman la red de drenaje artificial.

El tercer modelo, del estero Lobos, incluyó todos los sectores cuya red de drenaje llega a dicho cauce, incluido el estero Los Pelúes. Todo el flujo que se origina en esta zona escurre hacia el Norte y Norponiente.

El cuarto sector agrupó a todo el resto del área de estudio. El modelo asociado a esta zona no correspondió a una malla propiamente tal, sino un conjunto de nodos ubicados en los puntos de salida de las cuencas rurales. El objeto de este modelo fue el calcular para cada cuenca el caudal de escorrentía generado, utilizando las rutinas de hidrología incluidas en el software.

Los modelos se confeccionaron a través de mallas de nodos unidos por tramos conectores (links). La mayor parte de los nodos coinciden con cámaras de la red de drenaje artificial o con puntos de descarga de la red natural. A su vez, los tramos de conexión corresponden a ductos de la red de drenaje artificial, tramos de cauces o a un grupo de ductos o cauces, representados a través de un tramo de conexión único equivalente.

12.1 Calibración de los Modelos

La calibración de los modelos se realizó comparando los valores simulados por el modelo Pichipelluco con los valores de caudal medidos en dos puntos de control ubicados en dicha cuenca. La información pluviométrica se obtuvo de un pluviógrafo instalado para estos efectos.

Seleccionando 10 tormentas representativas, con períodos de retorno entre menos de uno y 20 años, se simuló mediante el modelo construido, calibrando los valores de los coeficientes de permeabilidad supuestos inicialmente.

Como resultado de dicha calibración, se utilizó un factor de corrección de 0,55 para cuencas rurales, y 0,9 para cuencas urbanas.

12.2 Conclusiones del Diagnóstico

Los resultados del diagnóstico, presentados con todo detalle en el informe final del estudio, permitieron identificar las áreas con problemas de inundación.

En el sector de Pichipelluco se identificó en total 17 calles que evacuan las aguas excedidas de los colectores respectivos y por lo tanto producen problemas de inundaciones. En general existe concordancia entre las áreas que se identificaron con problemas de inundación y los resultados que se obtienen de la simulación. Los mayores problemas se producen en la Avenida Presidente Ibáñez entre las calles Lautaro y Vinca.

Adicionalmente, existen numerosos colectores que se desbordan en al menos uno caso de los simulados, en la Población Pichipelluco.

En el sector del estero Lobos, el principal problema de inundación se debe a los desbordes de dicho cauce. Analizando los resultados obtenidos se obtiene que los desbordes se producen entre la calle García y la Ruta 5 para la situación actual, y se extenderían hacia la mayoría de los sectores ubicados en la cercanía del estero Lobos para la condición de uso futuro del suelo.

El trazado del estero Lobos aguas abajo de su entubación presenta también desbordes, principalmente en el sector en que se une al estero Los Pelues.

Por su parte, en el estero Los Pelues las inundaciones se ubican aproximadamente desde su inicio, hasta la cercanía de la Ruta 5.

Analizando el escurrimiento por las calles se observa que 77 de ellas son utilizadas como vía de evacuación cuando la capacidad de los colectores se excede. Al comparar los resultados obtenidos en la simulación con lo observado en terreno se aprecia que los sectores que poseen problemas de inundación coinciden con las calles que transportan un mayor caudal.

Uno de los mayores problemas que posee el sistema de drenaje del estero Lobos es la escasez de sumideros que existen en algunos sectores, o la escasa mantención que estos poseen.

En el sector del centro, la conclusión obtenida es que uno de los principales problemas de drenaje de esta área son los colectores con embanque. Destaca el caso de la calle Guillermo Gallardo, en que el colector principal tiene una sección rectangular de 1 m de alto y 1,8 m de ancho y presenta un embanque de hasta 35 cm en algunos tramos.

El área del centro de Puerto Montt, que habitualmente tiene problemas de inundación, se ve afectada por la escorrentía generada al norponiente de este sector y que fluye de norte a sur por la calle Guillermo Gallardo. Los caudales que provienen del oriente de esta zona afectan de manera menos significativa a la acumulación producida. En el sector se definió un área de acumulación cuyos límites se trazaron en planta para cada caso.

En la Población Modelo, el principal efecto de las inundaciones se detecta en la calle Blanco Encalada.

12.3 Selección de Áreas a Sanear

A partir de la información obtenida, especialmente la identificación de los puntos de inundación y su caracterización en cuanto a importancia o prioridad, efecto y causas, se definió las principales áreas a sanear dentro del área actualmente urbanizada.

El análisis realizado permitió definir 21 áreas principales que requieren de alguna forma de saneamiento desde el punto de vista de las aguas lluvias, ya sea mediante medidas estructurales o no estructurales. Dichas áreas no corresponden a las únicas áreas a sanear en el sector urbano, sino que a las de prioridad principal.

Aunque las áreas indicadas correspondieron a las de mayor relevancia para las condiciones actuales, debe tenerse en consideración que como resultado del Plan Maestro, toda el área quedó cubierta dentro del conjunto de soluciones, sirviendo la sectorización indicada para focalizar las soluciones, así como para priorizar las mismas, dando preferencia a las asociadas a los problemas más graves, desde el punto de vista de su extensión y de los daños originados.

13. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Para toda el área de estudio, y a partir del trazado de la red existente, se simuló el efecto de tormentas de período de retorno 2, 5 y 10 años.

Para el diseño de las soluciones se contempló en primer lugar aquellas definidas en estudios previos con las dimensiones indicadas en dichos proyectos. En segundo término, se incorporó aquellos colectores propuestos por el Consultor en base a la situación y disposición de la red existente y a la ubicación de los principales problemas actuales de la red, con dimensiones y geometría estimada.

En el caso de las áreas actualmente no urbanizadas, se utilizó como elemento principal el trazado de las vías estructurantes que contempla el Plan Regulador vigente.

A partir de dicha situación, se operó la red de drenaje para un período de retorno dado, verificando que se solucionaran los problemas de inundaciones y verificando el cumplimiento de las condiciones de diseño.

En caso de no cumplirse dicha condición, se modificó la geometría de los colectores propuestos, en cuanto a dimensiones transversales o pendiente, y de ser necesario se incorporó colectores adicionales en sectores con problemas de inundación. En los casos en que se requirió, se modificó igualmente las características de los proyectos existentes.

En el caso de los cauces naturales, se estudió las soluciones para los períodos de retorno de 25, 50 y 100 años, utilizando una metodología similar a la indicada.

En la definición de las soluciones para los problemas de aguas lluvias, se consideró que la red de colectores unitarios existente se mantiene en operación, pero se incorporó la restricción de que nuevos colectores no pueden descargar sus aguas a la red unitaria en ningún punto de su trazado.

La alternativa de instalar una nueva red separada de aguas lluvias, que reemplace a la red unitaria existente, fue evaluada considerando dos posibles escenarios. En un caso, se estimó el costo de reemplazar totalmente la red unitaria, construyendo una red separada con colectores de las mismas dimensiones de los colectores unitarios existentes. Dicha alternativa tiene un costo estimado de 181.000 U.F., incluyendo los costos de las conexiones domiciliarias.

El otro caso, consistió en separar las redes de aguas servidas y de aguas lluvias, manteniendo la red existente para aguas lluvias, y construyendo una nueva red

para aguas servidas. La estimación de costos para dicha alternativa es de 138.000 U.F., es decir un 32% menor al caso anterior

Para estimar el costo total de ambas alternativas, a los valores anteriores se les agregó la suma de 54.000 UF, estimada como el costo de reposición de las uniones domiciliarias que deberían ser reinstaladas como parte de los trabajos anteriores.

Debido a lo elevado de los costos anteriores, y a que la decisión de separar las redes y elegir una u otra alternativa depende de consideraciones de orden político y legales, en el estudio no se incluyeron dichos costos, considerándose que no forman parte de los proyectos del Plan Maestro.

Una vez dimensionados los proyectos para todos los períodos de retorno seleccionados, se realizó una evaluación económica de los diseños asociados a cada una de dichas seguridades. La metodología de evaluación consistió en cuantificar los beneficios de la obra como los daños evitados esperados, método que es usualmente utilizado en este tipo de proyectos.

Como los eventos hidrológicos tienen una cierta probabilidad de ocurrencia, la evaluación corresponde a una esperanza de daño. La estimación de los beneficios futuros corresponde a la esperanza matemática de los daños, que se obtiene al multiplicar, a partir de la relación daño-probabilidad de excedencia, cada incremento de probabilidad asociado a cada nivel de inundación por el monto de daños correspondientes. La suma de estos productos corresponde al monto de daños anuales esperados sin proyectos.

Los beneficios netos asociados al evento corresponden a la diferencia entre el daño producido sin proyecto y el daño producido con proyecto.

Los costos del proyecto corresponden a las inversiones necesarias para la materialización del proyecto y también las destinadas a la mantención y operación de las obras durante el período de vida útil considerado.

Para el cálculo del daño evitado se estimó el efecto del sobreconsumo de combustible de los vehículos por efecto de las vías inundadas, las pérdidas de tiempo de trabajo, los costos municipales de limpieza de los sistemas luego de las tormentas, el costo de reposición de los servicios afectados por las tormentas, los costos por ausentismo laboral y escolar y los daños a inmuebles por efecto de las inundaciones.

Otras externalidades identificadas pero no evaluadas por ser de tipo más bien subjetivas, corresponden a la interrupción de servicios, la disminución de las ventas del comercio, las enfermedades causadas por las inundaciones, eventuales accidentes del tránsito originados por vías inundadas y el aumento del costo de mantención de vehículos por la misma causa.

La metodología indicada se aplicó a 12 colectores proyectados en el sector del estero Pichipelluco. Los resultados obtenidos muestran que mientras los costos de construcción aumentan en forma importante al diseñar las obras para un período de retorno mayor, los beneficios aumentan en mucho menor proporción, obteniéndose mayores rentabilidades para las obras diseñadas para un período de retorno de 2 años. En el Cuadro 13-1 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la evaluación.

De acuerdo a los resultados anteriores, y de acuerdo con la Inspección Fiscal, se seleccionó como proyectos de colectores aquellos dimensionados para un período de retorno de 2 años. Para los cauces naturales, y con el criterio de considerar los períodos de diseño utilizado en proyectos anteriores, y darle una adecuada seguridad a los sistemas, se utilizó un período de retorno de 25 años.

Cuadro 13-1. Resumen de Resultados de la Evaluación Económica

	T= 2 años	T= 5 años	T= 10 años
Costo Total de Construcción (U.F.)	69.700	94.500	102.400
Daño sin Proyecto (por cada evento) U.F.	1.800	4.400	9.000
Daño anual asociado a lluvias de menor intensidad: 6.110 U.F.			
Daño anual efectivo sin proyecto: 9.300 U.F.			
Daño anual con proyecto (U.F.)	192	11	0
Beneficio Anual Esperado (U.F.)	10.660	11.330	11.500
VAN (U.F.)	7.300	(13.400)	(20.350)
TIR (%)	13,7	9,7	8,7

14. DESCRIPCIÓN DE LAS SOLUCIONES

A partir de las definiciones anteriores, se seleccionó los proyectos en cada uno de los sectores del área de estudio, incluyendo las áreas de expansión.

En el Cuadro 14-1 se presenta un resumen de la información de dichos proyectos, indicando su nombre, el código asignado, el tipo de solución (colector, canal, etc.), el período de retorno de diseño, la longitud de la obra, el caudal de diseño y el costo estimado.

De acuerdo a los valores indicados en dicho Cuadro, el costo total de las obras proyectadas, considerando todos los proyectos propuestos en el área de estudio, es de $ 29.304.609.000. Si se considera separadamente los montos correspondientes a las zonas actualmente urbanizadas y las áreas previstas como de expansión, resulta que el costo de los proyectos en las zonas urbanizadas es de $ 18.925.961.000, es decir un 60,5% del costo total indicado, mientras que el costo de los proyectos en las zonas de expansión es de $ 10.378.648.000, equivalente al 39,5% del costo total de los proyectos.

Cuadro 14-1. Resumen de Proyectos Seleccionados (Continuación)

Nombre	Código	Tipo	T (años)	Longitud (m)	Q diseño (*) (m^3/seg)	Costo ($) (**)
Regimiento	1-A	Colector	2	330	0,200	78.125.000
Egaña	1-B	Colector	2	530	0,300	119.558.000
Pob. 18 de Septiembre	1-C	Colector	2	222	0,270	51.581.000
Pob. Pichipelluco Sur	1-D	Colector	2	732	0,300	159.987.000
Pob. Pichipelluco – Lago Llanquihue	1-E	Colector	2	349	0,770	93.289.000
Pob. Pichipelluco – Río Yeli	1-F	Colector	2	272	0,240	61.158.000
Pob. Pichipelluco – Lago Puyehue	1-G	Colector refuerzo red existente	2	401	0,390	96.618.000
Población Alerce	1-H	Colector refuerzo red existente	2	271	0,230	58.788.000
Pob. Pichipelluco – Sector Rural	1-J	Colector	2	660	0,160	164.110.000
Cruces Estero Pichipelluco	1-M	Cruces bajo calles	25	11 cruces	9,110	157.126.000
Sistema Estero Lobos	2A-1	Cauce revestido	25	746	1,180	237.114.000
Sistema Estero Lobos	2A-2	Cauce revestido	25	4.832	12,950	4.896.860.000
Canal Paloma	2-AL	Canal revestido	25	315	3,670	60.226.000
Canal Ibáñez	2-AM	Colector rectangular	25	895	5,760	2.054.714.000
La Paloma – Puerto Montt	2-B	Colector	2	1.765	0,940	535.377.000
Barrio Industrial	2-C	Colector	2	924	0,500	211.129.000
Volcán Puntiagudo	2-D	Colector	2	460	1,200	111.733.000
Maullín	2-E	Colector	2	300	0,200	66.140.000
Población Cardonal	2-F	Colector	2	547	0,250	129.031.000
Villa Olímpica	2-G	Colector	2	793	0,450	196.835.000
Teniente	2-H	Colector	2	446	0,630	120.852.000
Población Rotonda	2-I	Colector	2	450	0,120	70.577.000
Conexión Los Laureles – E. Lobos	2-J	Colector	2	180	0,750	56.067.000
Paipote	2-K	Colector	2	277	0,190	58.300.000
Sur de Chin Chin Chico	2-L	Colector	2	1.351	0,760	373.138.000
Villa Artesanía	2-M	Colector	2	589	0,500	123.871.000
Ruta 5 con Cardonal	2-N	Colector	2	570	0,580	137.703.000
Tepual –Volcán Puntiagudo	2-O	Colector	2	115	0,240	25.661.000
Dalcahue	2-P	Colector de refuerzo	2	712	0,250	153.460.000
Detico	2-Q	Colector de refuerzo	2	162	0,140	33.794.000
7º de Línea	2-R	Colector de refuerzo	2	255	0,150	58.547.000

Cuadro 14-1. Resumen de Proyectos Seleccionados (Continuación)

Nombre	Código	Tipo	T (años)	Longitud (m)	Q diseño (*) (m^3/seg)	Costo ($) (**)
San Luis	2-S	Colector de refuerzo	2	333	0,220	63.290.000
Villa Artesanía	2-T	Colector de refuerzo	2	191	1,080	43.080.000
Castro	2-U	Colector de refuerzo	2	280	0,340	59.780.000
Villa Puerta del Sol	2-V	Colector de refuerzo	2	386	0,760	103.760.000
Mejoramiento Canal Lord Cochrane	2-W	Canal revestido – entubado	2	930	0,780	68.000.000
Mejoramiento Estero Los Pelues	2-X	Cauce revestido	25	1.115	9,620	203.750.000
Canal Antihual Poniente	2-Y	Canal, desrripiador	2	648	0,560	37.540.000
Canal Antihual Oriente	2-Z	Canal revestido	2	1.468	1,050	155.650.000
Mejoramiento Estero Lobos Rural	2-AB	Cauce revestido	25	1.546	14,400	422.690.000
Tacora	2-AC	Colector	2	249	1,020	50.450.000
Ibáñez	2-AF	Colector	2	1.178	0,260	312.040.000
Avenida Ejército	3-A	Colector	2	812	1,660	270.600.000
Guillermo Gallardo	3-B	Colector	2	850	1,720	775.640.000
Santa María Poniente	3-C	Colector	2	911	2,070	143.850.000
Urriola	3-D	Colector	2	274	0,800	101.650.000
Vicente Pérez Rosales	3-E	Colector	2	283	0,410	83.730.000
Crucero	3-F	Colector	2	196	0,320	45.210.000
Población Modelo I	3-G	Canal Revestido	2	473	0,200	41.450.000
Población Modelo II	3-H	Canal y Colector	2	639/ 193	0,630/ 0,710	133.280.000
Calle Talca	3-I	Colector	2	600	0,480	177.650.000
Bernardo O'Higgins	3-J	Colector	2	916	0,880	284.840.000
Regimiento Poniente	3-K	Colector	2	330	0,140	74.150.000
Egaña	3-L	Colector	2	964	1,710	426.500.000
Copiapó	3-M	Colector	2	280	3,610	134.820.000
Diego Portales	3-N	Colector	2	1.249	0,940	479.390.000
F. Oelcker	3-O	Colector	2	707	2,530	390.840.000
Ñuble	3-P	Colector	2	90	0,210	21.520.000
Angelmó	3-Q	Colector	2	376	0,500	109.100.000
Benavente	3-R	Colector	2	768	0,650	217.150.000
Antonio Varas	3-S	Colector	2	702	0,780	239.110.000
La Serena	3-T	Colector	2	383	0,300	89.890.000
Regimiento Oriente	3-U	Colector	2	587	0,600	183.450.000
Buin	3-V	Colector	2	504	0,550	170.000.000
Av. Gallardo	4-A	Colector	2	910	0,570	152.360.000
Pelluco Sur	4-B	Colector	2	580	0,240	67.910.000
Pelluco Suroriente	4-C	Colector	2	640	0,250	142.230.000

Cuadro 14-1. Resumen de Proyectos Seleccionados (Continuación)

Nombre	Código	Tipo	T (años)	Longitud (m)	Q diseño (*) (m^3/seg)	Costo ($) (**)
Pelluco Oriente	4-D	Colector	2	390	0,150	46.360.000
Pelluco Nororiente	4-E	Colector	2	557	0,260	97.390.000
Pelluco Norte	4-F	Colector	2	665	0,300	99.200.000
Pelluco Norponiente	4-G	Colector	2	1.455	0,230	143.870.000
Quebrada Pelluco Norte	4-H	Colector	2	842	0,110	134.870.000
Pelluco Poniente	4-I	Colector	2	1.777	0,471	216.100.000
Quebrada Pelluco Centro	4-J	Colector	2	330	0,200	24.570.000
Pelluco Centro	4-K	Colector	2	1.499	1,230	354.750.000
Pelluco Surponiente	4-L	Colector	2	292	0,190	61.560.000
Ruta V-65, tramo 1	4-M	Colector	2	1.005	0,150	63.680.000
Ruta V-65, tramo 2	4-N	Canal revestido	2	420	0,090	22.490.000
Ruta V-65, tramo 3	4-O	Canal revestido	2	595	0,070	47.030.000
Valle Los Volcanes	5-A	Colector	2	5.245	4,370	1.005.600.000
Volcán Corcovado	5-B	Colector	2	2.845	2,540	797.550.000
La Paloma Alto	5-C	Colector	2	1.100	1,020	151.660.000
Proyección Sargento Silva	5-D	Colector	2	1.500	1,460	220.800.000
Chin Chin Chico	5-E	Colector	2	3.890	3,420	912.120.000
Chin Chin Grande	5-F	Mej. Canal y colector	2	1.210/ 1.720	3,490	544.800.000
Quebrada Alessandri	6-A2	Colector	2	278	0,300	69.100.000
Villa Volcanes	6-A3	Colector	2	1.135	0,710	227.960.000
Presidente Ibáñez	6-A4	Colector	2	2.206	1,430	478.760.000
Loteo Serviu	6-A5	Refuerzo Colector	2	363	0,250	82.940.000
Pobl. Padre Hurtado	6-A6	Refuerzo Colector	2	594	0,920	110.584.000
Maximiliano Uribe	6-A7	Colector	2	390	0,200	63.400.000
Villa Olímpica – Los Notros	6-A8	Colector	2	1.860	1,550	482.000.000
Vicuña Mackenna	6-A9	Colector	2	2.150	6,000	1.144.230.000
Diego de Almagro Norte	6-A10	Colector	2	1.565	1,420	284.190.000
Jardín del Mar	6-B1	Refuerzo Colector	2	25	0,150	4.620.000
Diego de Almagro Suroriente	6-B2	Colector	2	355	0,340	81.310.000
Diego de Almagro Nororiente	6-B3	Colector	2	460	0,390	48.670.000
Canal Socovesa	6-B4	Mejoramiento cruce	2	14	0,840	5.820.000
Norte Ruta 5 Sur	6-B5	Colector	2	1.777	1,780	458.550.000
Sector Surponiente	6-C	Colector	2	2.600	1,280	425.910.000
Sector Poniente	6-D	Colector	2	943	0,850	252.490.000
Sector Nororiente	6-E1	Colector	2	689	0,440	67.140.000

Cuadro 14-1. Resumen de Proyectos Seleccionados (Continuación)

Nombre	Código	Tipo	T (años)	Longitud (m)	Q diseño (*) (m^3/seg)	Costo ($) (**)
Las Quemas Nororiente	6-E2	Colector	2	3.265	4,140	986.660.000
Las quemas Norponiente	6-F	Colector	2	1.665	1,050	356.530.000
Canal Las Camelias	6-G	Mejoramiento canal	2	1.010	7,540	62.390.000
Villa Marina	7-A	Canal	2	498	0,540	58.120.000
El Progreso	7-B	Canal	2	585	0,320	46.750.000
Chincui	7-C	Canal/ Colector	2	1.293/ 605	0,760	212.210.000
Estero Chinquihue	7-D	Canal/ Colector	2	1.112/ 1.391	1,160	330.420.000
Chinquihue Costero	7-E	Canal /Colector	2	1.015/ 247	0,300	108.440.000
Caullahuapi Norte	7-F	Colector	2	1.325	0,480	193.530.000
Caullahuapi Oriente	7-G	Canal/ Colector	2	611/ 77	0,490	75.410.000
Caullahuapi Sur	7-H	Canal/ Colector	2	616/ 441	0,350	164.380.000
Trapén Oriente	7-I	Colector/ Canal	2	775/ 790	1,330	163.670.000
Trapen Poniente	7-J	Mejoramiento Cauce	2	3.648	2,320	83.220.000

(*): Caudal de diseño del tramo con mayor caudal
(**): Pesos de mayo de 2000

15. ANÁLISIS AMBIENTAL

Como parte del estudio, se efectuó un análisis preliminar sobre los aspectos ambientales relacionados con los proyectos de drenaje de las aguas lluvias. Dicho análisis se refirió en primer lugar a la definición de si el proyecto completo o parte de él le correspondería un “Estudio de Impacto Ambiental” o bien una “Declaración de Impacto Ambiental”, de acuerdo a lo indicado en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), vigente actualmente en el país.

La Ley establece que los proyectos de inversión públicos y privados y las actividades que potencialmente alteren de manera significativa el medio ambiente deben incorporarse a este proceso de certificación previa. Ellos sólo podrán ejecutarse o modificarse previa evaluación del impacto ambiental, y el conjunto de permisos de carácter ambiental que de acuerdo a la legislación debe otorgar el Estado, que se emiten una vez obtenida la certificación ambiental.

De acuerdo a la Ley de Bases del Medio Ambiente, el SEIA se aplica a todas las actividades o proyectos de inversión de carácter público o privado que están allí señalados o en su respectivo reglamento. Según dicha ley, entre los proyectos y actividades más importantes destacan: acueductos, embalses, tranques y sifones que

deban someterse a la autorización establecida en el artículo 294 del Código de Aguas; presas, drenajes, desecación, dragado, defensa o alteración de cuerpos o cursos naturales de agua.

A su vez, el artículo 294 del Código de Aguas menciona, entre otras obras, a los acueductos que conduzcan más de 2 m^3/s y los acueductos (en contorno cerrado o abierto) que conduzcan más 0,5 m^3/s que se proyecten próximos a zonas urbanas y cuya distancia al extremo más cercano del límite urbano sea inferior a un kilómetro.

Como todos los proyectos considerados se encuentran, en su punto más cercano, a menos de un kilómetro de la zona urbana, la definición de si entran o no al SEIA, está determinada por el caudal. De acuerdo con lo anterior, 62 de los proyectos definidos debieran someterse al SEIA .

Para determinar la pertinencia de una declaración (DIA) o un estudio (EIA), la Ley establece seis criterios que pretenden estimar el grado de riesgo ambiental implícito en ellos. Si el proyecto o actividad genera o presenta a lo menos uno de los efectos indicados, deberá elaborar un estudio; en caso contrario, deberá presentar una declaración. Dichos criterios son los de Riesgo Para la Salud de la Población, de Efectos Adversos Sobre los Recursos Naturales Renovables, el de Reasentamiento de Comunidades Humanas, el de Localización Próxima a Población, el de Alteración Paisajística y el de Alteración de Monumentos.

A partir del análisis de cada uno de los criterios de evaluación existentes, se concluyó que cada uno de los proyectos indicados deberá someterse al SEIA y presentar sólo Declaraciones de Impacto Ambiental, de acuerdo con el procedimiento establecido en el reglamento respectivo, y por lo tanto ninguno de ellos requiere de la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental específico.

16. EROSIÓN Y DEFORESTACIÓN

En el área de estudio, las zonas vegetacionales de mayor importancia corresponden a la cuenca del estero Pelluco y a la parte alta del estero Pichipelluco, donde las cubiertas corresponden básicamente a matorrales. En el sector de Chinquihue, la cubierta vegetacional también corresponde a matorrales y pequeños bosques que se localizan en terrenos de fuertes pendientes. Esto último dificulta la explotación de estos árboles y si se considera además el hecho de que corresponden a pequeñas superficies, se puede sostener que no habrían explotaciones que impliquen una gran influencia del efecto de la deforestación en la zona del estudio que se desarrolla.

Desde el punto de vista de la variación de la escorrentía asociada al efecto de deforestación, los diseños contemplan el caso más desfavorable, es decir, la urbanización completa del área urbana hasta su actual límite de expansión, por lo que se encuentra incorporado el impacto de la modificación de la cubierta vegetal sobre los caudales de aguas lluvias de diseño.

Respecto del problema de arrastre de sólidos, en varios de los proyectos definidos, especialmente canales, se contempló obras tipo trampa de piedras, de modo de interceptar los sedimentos granulares e impedir su entrada al sistema de colectores. Adicionalmente, se recomendó considerar algunos aspectos que no forman parte del Plan

Maestro pero que lo complementan, dentro de los que se encuentra la conveniencia de pavimentar algunas calles o pasajes que generan importantes flujos de sedimentos que descargan o al mar o hacia los sectores bajos de la ciudad.

En el caso del estero Lobos se propuso que parte de su trazado sea revestido dentro de la zona urbanizada, lo que debería disminuir los problemas de embancamiento en el cauce.

Como actividad complementaria relacionada con la protección de los taludes del sector alto de la población Modelo, se propuso estudiar medidas legales de protección basadas en el riesgo de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa que dicho lugar presenta.

17. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y PRIORIZACIÓN

Para la evaluación económica de las obras proyectadas, los proyectos previamente definidos fueron agrupados en un número menor para facilitar su manejo.

El agrupamiento se realizó considerando diversos aspectos tales como la cercanía geográfica de los proyectos, la cercanía de las áreas a sanear, aspectos constructivos y la complementariedad de los proyectos. En algunos casos, el agrupamiento se debió a que los beneficios identificados estaban asociados a un conjunto de proyectos y no era posible distribuir en forma objetiva los beneficios a cada proyecto individual, especialmente en los proyectos del sector céntrico. El número de grupos con proyectos ubicados dentro del sector actualmente urbanizado, que corresponden a los evaluados, fue de 18 en total. En el Cuadro 17-1 se indica cada uno de dichos grupos y los proyectos ubicados en sectores urbanizados que contiene.

Utilizando la misma metodología definida en la Sección 13, se evaluó los grupos de proyectos indicados, considerando los costos de inversión de los mismos a precios sociales. En el Cuadro 17-1 se indica el VAN y el TIR calculado para cada grupo de proyectos.

Luego de evaluados los grupos de proyectos, ellos fueron priorizados, considerando aspectos tales como los índices de rentabilidad obtenidos, la importancia de las obras respecto de la solución general del drenaje del área de estudio, la prioridad asignada a las áreas a sanear, el grado de urbanización del área beneficiada y otros. La priorización se realizó considerando los grupos de proyectos definidos.

Cuadro 17-1. Grupos de Proyectos y Evaluación Económica

Código	Proyectos Incluidos	VAN (U.F.)	TIR (%)
P-1	1-D, 1-E, 1-F, 1-G, 1-J	-19.600	< 0
P-2	1-B, 1-C, 1-M	8.400	12,9
P-3	1-A, 1-H	5.760	23,8
P-4	2-A-1, 2-A-2, 2-AL, 2-AM	122.460	16,7
P-5	2-B, 2-D, 2-O, 2-AC	38.460	26,8
P-6	2-V, 2-Y, 2-Z	107.490	109
P-7	2-P, 2-Q, 2-R, 2-U	11.520	22,6
P-8	2-E, 2-I, 2-K, 2-M, 2-T, 2-S	12.760	20,4
P-9	2-F, 2-G, 2-H, 2-W, 2-X, 2-AF	46.320	23,3
P-10	2-C, 2-J	5.400	14,4
P-11	3-D, 3-E, 3-F, 3-N, 3-O, 3-P	-27.714	2,1
P-12	3-I, 3-R, 3-S	34.385	27,7
P-13	3-Q	3.580	22,4
P-14	3-B, 3-C, 3-G, 3-H	41.700	38,8
P-15	3-A, 3-J, 3-K, 3-U, 3-L, 3-M, 3-T, 3-V	209.480	46,4
P-17	4-M, 4-N, 4-O	-3.650	2,1
P-22	6-A2	8.170	44,1
P-23	6-A3, 6-A4, 6-A5, 6-A6, 6-A7	32.674	16,6

La priorización consideró los rangos Alto, Medio y Bajo. A su vez, dentro de cada rango los proyectos fueron ordenados por su prioridad dentro de la categoría. En el Cuadro 17-2 se presentan dichas prioridades en forma resumida.

Cuadro 17-2. Resumen de Prioridades por Grupo de Proyectos

Prioridad	Grupos de Proyectos
Alta	P-15, P-14, P-4, P-6, P-9, P-12, P-5
Media	P-8, P-7, P-13, P-2, P-3, P-23, P-22
Baja	P-1, P-10, P-11, P-17

El grupo de proyectos P-15 drena una extensa zona ubicada en el centro oriente de la ciudad, donde se ubican las poblaciones Esmeralda, Egaña, Carmela Carvajal y Las Encinas de Seminario entre otras, además del Hospital Regional, edificios de servicios públicos, etc. Además soluciona numerosos otros problemas especialmente en calles Ejército y Egaña, y complementa la red en áreas sin colectores. Fue seleccionado en primera prioridad debido a su elevada rentabilidad y a la importancia urbana del área beneficiada.

El grupo de proyectos P-14 es uno de los principales, tanto por los positivos indicadores de rentabilidad como por la recurrencia de los problemas identificados, que afectan tanto a la Población Modelo como un sector del centro de la ciudad.

El grupo de proyectos P-4 resuelve los problemas de aguas lluvias de los sectores de la Villas Antihual, y las poblaciones Libertad, Estero Lobos, Teniente Merino, Manuel Rodríguez y Caleta Tortel. Además, comprende parcialmente el área donde se emplaza las poblaciones Bombero Kemp, René Schneider y J. Soler Manfredini. En su conjunto, estos proyectos corresponden a la alternativa seleccionada para el saneamiento del estero Lobos.

El grupo de proyectos P-6 soluciona los problemas de evacuación de aguas lluvias de un sector ubicado al norte del estero Lobos, donde se emplazan las Villa Yolanda, Villa Antillanca, Villa Puerta del Sol y Villa Antihual.

El grupo de proyectos P-9 soluciona los problemas de drenaje asociados a las poblaciones Cooperativa Techo Para Todos, Futuro de Chile, Villa Olímpica, Parque Cadonal, Población San Luis y Población Presidente Ibáñez.

El grupo de proyectos P-12 comprenden gran parte de la zona céntrica. Se trata de un proyecto de alta rentabilidad por su impacto sobre la principal zona urbana de la ciudad.

Finalmente, el grupo de proyectos P-5 soluciona los problemas de drenaje de un sector ubicado al noreste de la ciudad, al norte del estero Lobos, en que se ubican las poblaciones La Paloma, Sol de Oriente y Villa Rayén.

18. DEFINICIÓN DE RED PRIMARIA

Para definir la red primaria se consideraron aspectos de diferente tipo. Por una parte, se definió que todos los elementos principales, que actúan como ejes del sistema de evacuación de aguas lluvias deben formar parte de la red primaria. En esa categoría quedaron todos los cauces naturales y las descargas del sistema de aguas lluvias. Adicionalmente, se examinó los porcentajes de la extensión total de la red que quedarían incorporados en la red primaria al definir ésta desde un cierto diámetro hacia arriba, teniendo en cuenta el criterio de que la red complementaria debe por definición tener mayor extensión que la red primaria.

Luego de examinar la información de diámetros de la red, se definió como regla general, que en el caso de colectores la red primaria estuviera formada por aquellos tramos de diámetros iguales o superiores a 600 mm.

Por otro lado, se definió también que la red unitaria existente debía tener el mismo tratamiento que la red separada, en cuanto a su definición como primaria o secundaria, considerando que la situación de dichos colectores fue "congelada" al momento de su traspaso a las empresas sanitarias, y por tanto en el futuro seguirán siendo parte del sistema de evacuación y descarga de aguas lluvias, de acuerdo a lo indicado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios.

Como resultado de la separación propuesta, en el área actualmente urbanizada se obtuvo una extensión de la red primaria de 46.456 m, dividida en 22.880 m proyectados y 23.576 m existentes. Por su parte, en las áreas de expansión, en que las redes proyectadas corresponden casi exclusivamente a redes primarias, se obtuvo una longitud de la red primaria de 28.438 m. Para toda el área de estudio, la longitud total de la red de colectores primarios es de 74.894 m, de los cuales 51.318 son proyectados.

Además de la red de colectores existente y de los proyectos definidos, forman parte de la red un conjunto de cauces naturales y artificiales. En algunos de dichos casos, incluidos dentro de los proyectos seleccionados, los cauces fueron modificados o mejorados de manera de permitir la evacuación de aguas lluvias, mientras que en otros casos se mantuvo su condición natural.

Del total de proyectos del Plan Maestro, algunos fueron incorporados a la red primaria, parcial o totalmente. El costo total de los proyectos que forman parte de la red primaria de evacuación y drenaje de aguas lluvias es de $ 24.059.430.000. Dicha suma puede desglosarse considerando que el costo de inversión de los proyectos de la red primaria definidos en el área urbana es de $ 15.863.112.000, mientras que el costo de inversión de los proyectos de la red primaria en la zona de expansión es de $ 8.196.317.000.[2]

En cuanto a los costos de operación y mantenimiento de la red primaria, se estimó un costo inicial de limpieza de los colectores existentes de $ 25.000.000 y un costo anual de mantención y operación de $ 32.500.000.

Para el caso de la red primaria proyectada, se estimó un costo anual de operación y mantención de $ 120.000.000, estimando dicho valor como el 0,5% de los costos de inversión.

En las Figuras 4 a y 4 b se muestra el trazado de la red primaria definida.

[2] Pesos de Diciembre de 2000

FIGURA 4 a

FIGURA 4 b

19. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

Las medidas no estructurales se refieren a reglas o normas que regulan el tema de las aguas lluvias y del uso del suelo que sustituyen y/o complementan las medidas estructurales. Estas medidas pueden implementarse rápidamente y requieren una baja inversión de capital, siendo fundamental el comportamiento de la población y la buena voluntad para desarrollarlas.

Las medidas propuestas en el Plan Maestro abarcaron los aspectos de Información y Educación, Mantención Preventiva de los Sistemas, Control de Depósitos y Descargas Ilícitas, Reglamentación y Control de Uso de Suelo y Alerta y Respuesta Ante Inundaciones.

20. RECOMENDACIONES

La principal recomendación efectuada en el estudio se refiere a la necesidad de realizar un estudio del sistema mayor de evacuación de aguas lluvias.

Adicionalmente, se entregaron otras recomendaciones en cuanto a definir áreas de prohibición absoluta de uso del suelo dentro de los cauces naturales incorporados a la red primaria, lo que debería realizarse en futuras revisiones del Plan Regulador de Puerto Montt.

Otra recomendación incluida es la conveniencia de que las soluciones indicadas en el Plan Maestro sean de carácter normativo, es decir, que sean obligatoriamente consideradas al proyectar soluciones locales.

Finalmente, se incluyó recomendaciones referidas a la conveniencia de efectuar futuras revisiones al estudio, en cuanto a la actualización de los datos hidrológicos y mejorar los antecedentes para la calibración de los coeficientes de escorrentía.