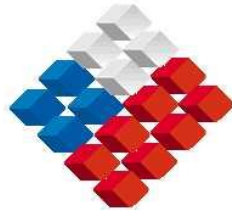


**GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS**



**CONSULTORIA PM-02  
PLAN MAESTRO PARA LA EVACUACION Y DRENAJE  
DE LAS AGUAS LLUVIAS EN  
LA CIUDAD DE PUNTA ARENAS**

**RESUMEN EJECUTIVO**

OCTUBRE - 2002

**AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS LTDA.  
INGENIEROS CONSULTORES**

## 1. INTRODUCCION

En el marco que le confiere la Ley N°19.525, la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas ha desarrollado actividades en el ámbito de la planificación y ejecución de estudios tendientes a resolver los problemas asociados al drenaje de las aguas lluvias en diversas ciudades del país. Dentro del contexto de la ley señalada, esta repartición ha identificado como una necesidad prioritaria el desarrollo del presente estudio denominado “Plan Maestro para la Evacuación y Drenaje de las Aguas Lluvias en la ciudad de Punta Arenas”.

A través del estudio se realizó una revisión completa de los antecedentes disponibles acerca de los problemas y soluciones ya establecidas o planteadas en el tema del drenaje y evacuación de las aguas lluvias de la ciudad de Punta Arenas, y al mismo tiempo dichos antecedentes fueron complementados con otros adicionales generados como parte de esta consultoría.

A partir de lo anterior se desarrolló un análisis técnico económico de las alternativas de solución factibles, todo lo cual conduce finalmente a la formulación de un Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias para la ciudad de Punta Arenas. Dicho plan constituye un instrumento de planificación que permite identificar y priorizar inversiones en redes de aguas lluvias, especificando las obras necesarias que debe comprender o constituir la red primaria de colectores, así como las obras de mejoramiento y/o modificación de cauces naturales, que den solución integral a los problemas de inundaciones que afectan a la ciudad.

En la Fig. 1 se muestra el área de estudio la cual incluye la ciudad de Punta Arenas y las áreas aportantes que drenan a través de los 5 cauces naturales que atraviesan la ciudad, a saber: el estero de La Mano, el río de Las Minas, y los esteros Pitet o D’Agostini, Llau-Llau y Bitsch.

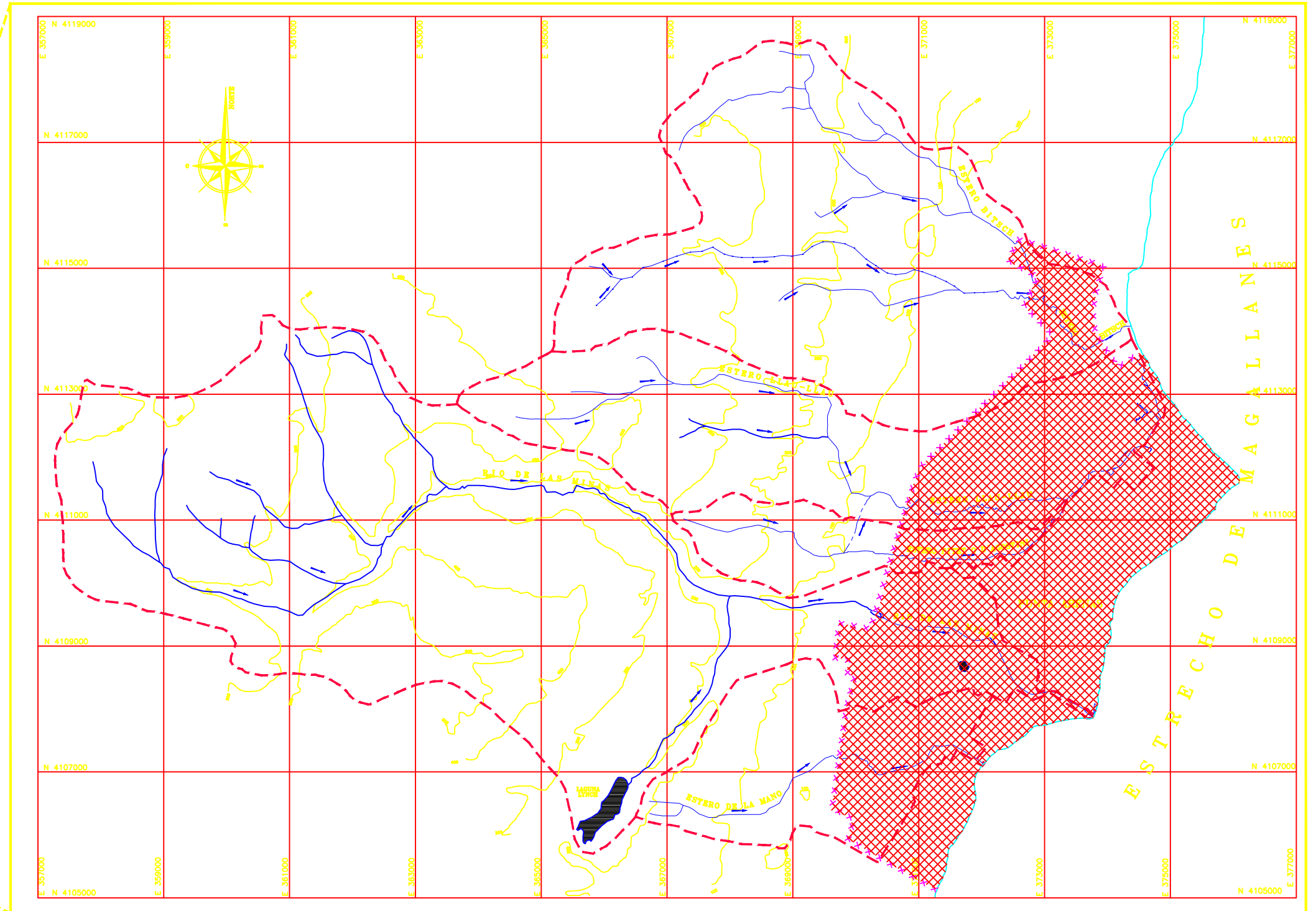
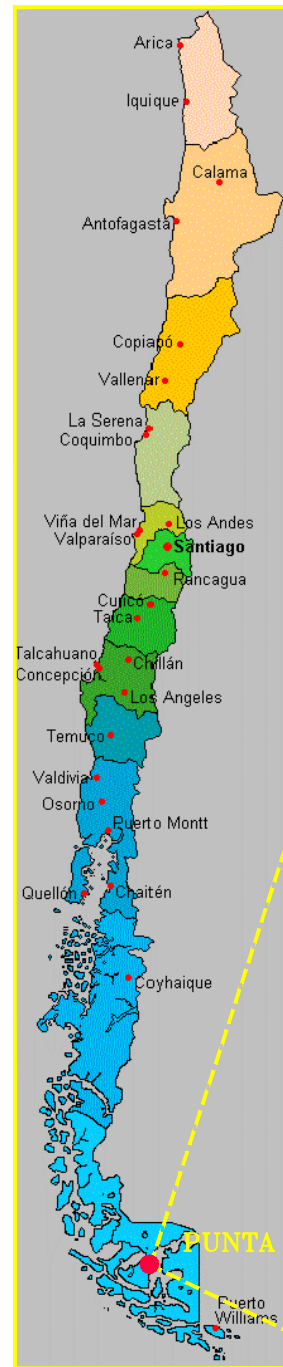
## 2. RECOPIACION DE ANTECEDENTES Y DIAGNOSTICO DE LA SITUACION ACTUAL

Se efectuó una descripción del área de estudio y una síntesis de los principales antecedentes disponibles considerando información proveniente de estudios anteriores y aquella generada como parte de este mismo estudio. La recopilación de información incluyó antecedentes cartográficos y aerofotogramétricos, hidrológicos, hidráulicos y mecánico fluviales de cauces naturales, de redes de colectores de aguas lluvias y de aguas servidas,

antecedentes históricos sobre temporales e inundaciones, en particular de daños experimentados por inundaciones ocurridas en Punta Arenas.

Con el fin de identificar las zonas y lugares en que se producen los mayores problemas de inundaciones debido a la acumulación de aguas lluvias y definir soluciones independientes o interconectadas, se realizó un reconocimiento general de la zona y un catastro de las redes y de los cauces existentes, y de las zonas de inundación, en toda el área comprendida dentro de los límites urbanos de la ciudad.

Fig. 1



**SIMBOLOGIA**

	CURVA DE NIVEL		LIMITE URBANO
	CAUCE EXISTENTE		LIMITE COSTERO
	CANAL DE TRASFASE EXISTENTE		AREA URBANA DE PUNTA ARENAS
	LIMITE DE CUENCA		LAGUNA

**AC INGENIEROS CONSULTORES LTDA.**  
 PLANO: PLANO DE UBICACION GENERAL DEL PROYECTO

PROYECTO: PLAN MAESTRO DE EVACUACION Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS DE PUNTA ARENAS XII REGION  
 FECHA: JULIO-1999    ESCALA: 1:70.000aprox.    FIGURA N°: 1

Asimismo, con el propósito de obtener información actualizada, se sostuvieron reuniones con autoridades y representantes de diversos organismos locales, tales como: las Direcciones Regionales de Obras Hidráulicas, de Aguas y de Vialidad del MOP; la Dirección de Obras Municipales de la I. Municipalidad de Punta Arenas; la División de Desarrollo Urbano y el SERVIU del MINVU; la ONEMI y ESMAG S. A.

Se efectuó un completo catastro de las zonas críticas de la ciudad identificando tanto los puntos de desborde de cauces naturales como las zonas de acumulación de aguas lluvias. En la Fig. 2 se presentan los puntos críticos identificados.

#### a) Red de colectores existentes

Se efectuó el catastro de las redes de aguas lluvias existentes en la ciudad, basándose en el realizado por ESMAG S. A. en 1991 y en actualizaciones posteriores, de las cuales la más reciente es la efectuada en el estudio de R & Q (1998). Para cada colector identificado se obtuvieron antecedentes relativos al de tipo de colector (unitario o separado), a su diámetro, longitud y material con el cual está construido.

La infraestructura disponible para la evacuación y el drenaje de las aguas lluvias en la ciudad de Punta Arenas es escasa y se encuentra destinada principalmente a dar solución a zonas muy específicas. Del total de 1.342 ha que comprende el área urbana de la ciudad, sólo 663 ha cuentan con red de aguas lluvias, lo que equivale a una cobertura del 49%. Para aliviar en parte dicho déficit se han conectado sumideros a la red de aguas servidas, lo cual ha derivado en problemas durante precipitaciones de alguna importancia por la entrada en presión de los colectores y por el afloramiento de las aguas en los puntos bajos y de menor pendiente del terreno.

La red existente de alcantarillado de aguas lluvias y los sectores señalados, son los mostrados en la Fig. 2. Dichas zonas cuentan en su mayor parte con colectores separados los cuales permiten evacuar las aguas hacia los cursos receptores naturales de la ciudad.

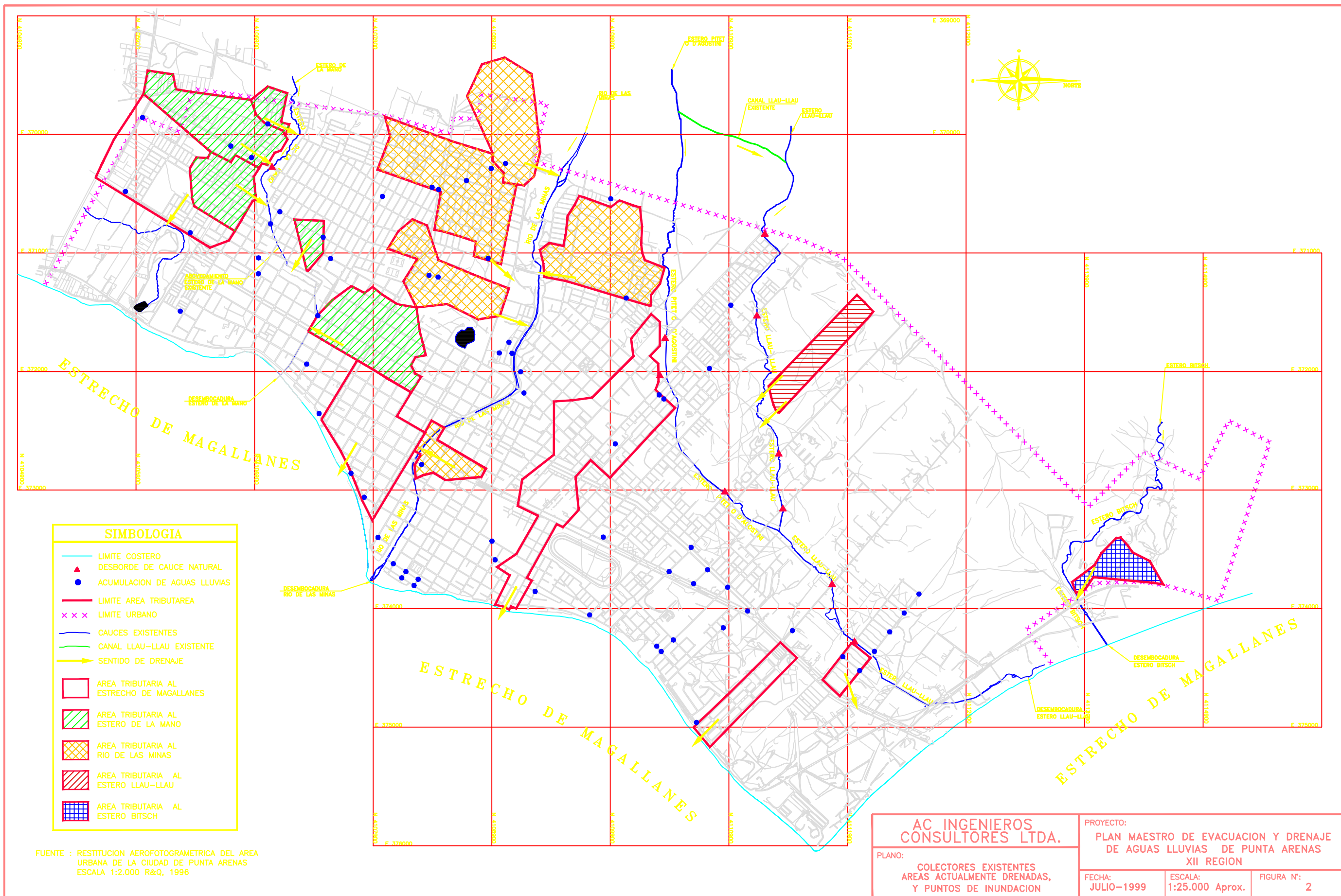
#### b) Cauces Naturales

La ciudad de Punta Arenas es cruzada en sentido poniente-orientado, por cinco cauces naturales: estero de La Mano, río de Las Minas, estero Pitet o D'Agostini, estero Llau-Llau y estero Bitsch. Estos cursos receptores constituyen

el medio natural que recoge los aportes por escurrimiento superficial de las aguas lluvias y drenan las cuencas hasta su desembocadura en el Estrecho de Magallanes.

Se determinó la capacidad de conducción que presentan estos cauces, estableciéndose que los esteros Llau-Llau y Pitet o D'Agostini, presentan frecuentes inundaciones por desborde, debido a que en la zona urbana dicha capacidad es insuficiente frente a los caudales de aguas lluvias que deben evacuarse (zona media-baja, con secciones de escurrimiento pequeñas y pendientes muy bajas). También en el estero de La Mano se producen algunos desbordes en la zona de entrada al tramo abovedado, debido principalmente a las inadecuadas características que ella presenta.

Fig. 2



SIMBOLOGIA	
	LIMITE COSTERO
	DESBORDE DE CAUCE NATURAL
	ACUMULACION DE AGUAS LLUVIAS
	LIMITE AREA TRIBUTAREA
	LIMITE URBANO
	CAUCES EXISTENTES
	CANAL LLAU-LLAU EXISTENTE
	SENTIDO DE DRENAJE
	AREA TRIBUTARIA AL ESTRECHO DE MAGALLANES
	AREA TRIBUTARIA AL ESTERO DE LA MANO
	AREA TRIBUTARIA AL RIO DE LAS MINAS
	AREA TRIBUTARIA AL ESTERO LLAU-LLAU
	AREA TRIBUTARIA AL ESTERO BITSCH

FUENTE : RESTITUCION AEROFOTOGRAFICA DEL AREA URBANA DE LA CIUDAD DE PUNTA ARENAS  
 ESCALA 1:2.000 R&Q, 1996

<b>AC INGENIEROS CONSULTORES LTDA.</b>		PROYECTO: PLAN MAESTRO DE EVACUACION Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS DE PUNTA ARENAS XII REGION	
PLANO: COLECTORES EXISTENTES AREAS ACTUALMENTE DRENADAS, Y PUNTOS DE INUNDACION		FECHA: JULIO-1999	ESCALA: 1:25.000 Aprox.
		FIGURA N°: 2	

A excepción del tramo final del río de La Minas (que cuenta con una canalización parcial de gaviones en un tramo y tablestacas en el siguiente hasta su desembocadura en el mar), como asimismo los esteros Bitsch (tramo final), de La Mano (sector abovedado) y Llau-Llau (sectores localizados), el resto de los cauces carecen de secciones de escurrimiento bien definidas. Este último hecho se ve agravado por la falta general de limpieza y de mantención periódica de los cauces.

### 3. ESTUDIO HIDROLOGICO

El estudio hidrológico tuvo como objetivo determinar los caudales de crecida asociados a las áreas aportantes a los colectores de aguas lluvias y a los cauces receptores que conformarán el sistema global de drenaje y evacuación de dichas aguas, sistema destinado a evitar o minimizar los problemas de inundación o anegamiento de la ciudad de Punta Arenas.

Para este fin se efectuaron análisis de precipitaciones a partir de estadísticas diarias y máximas anuales en 24 horas, registradas en las estaciones Punta Arenas y Laguna Lynch. A su vez se realizó el análisis de la variación espacial de las tormentas, estableciéndose que existen gradientes de precipitación con la altura los cuales, al ser cuantificados, permiten estimar en forma más realista y precisa los caudales de aguas lluvias en las distintas zonas de la ciudad. Estos gradientes resultan ser función del período de retorno de la tormenta.

En la Tabla 1 se detallan las precipitaciones máximas en 24 horas obtenidas en el presente estudio para períodos de retorno de 2, 5 y 10 años en las estaciones antes mencionadas.

**Tabla 1 Precipitaciones Máximas en 24 horas y Gradientes**

Estación	Altitud m.s.n.m.	T = 2 años		T = 5 años		T = 10 años	
		PP <sub>24</sub> (mm)	Gradient e (mm/m)	PP <sub>24</sub> (mm)	Gradient e (mm/m)	PP <sub>24</sub> (mm)	Gradient e (mm/m)
Punta Arenas	10	28,0	0,1225	40,0	0,0750	50,0	0,0375
Laguna Lynch	210	52,5		55,0		57,5	

Además de lo anterior se determinaron los caudales de crecida en los cinco cauces naturales que atraviesan el área urbana de la ciudad de Punta Arenas



para 5, 10, 25, 50 y 100 años de período de retorno, tanto en el límite urbano como en su desembocadura. Los caudales fueron calculados con el Método Racional y los resultados obtenidos fueron comparados con los diversos estudios existentes. Los valores adoptados en los cauces naturales a la entrada del área urbana (límite urbano) y en la desembocadura se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2 Caudales de Crecida en Cauces en el Límite Urbano y en Desembocadura.**

Cuenca	Caudal (m <sup>3</sup> /s)									
	T = 5 años		T = 10 años		T = 25 años		T = 50 años		T = 100 años	
	L. U.	D.	L. U.	D.	L. U.	D.	L. U.	D.	L. U.	D.
Estero de La Mano	5	7	6	9	8	12	10	14	12	17
Río de Las Minas	53	60	63	71	81	89	94	103	114	124
Estero Pitet o D'Agostini	2	3	3	4	4	6	5	7	6	9
Estero Llau-Llau	6	12	7	15	10	21	12	25	15	31
Estero Bitsch	19	21	23	25	30	32	35	38	43	46

Nota: L. U.= Límite Urbano

D. = Desembocadura

#### **4. PLANTEAMIENTO Y ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION**

El planteamiento de soluciones para el sistema de drenaje y evacuación de aguas lluvias de la ciudad de Punta Arenas tuvo como objetivo fundamental definir un sistema integral de drenaje, de manera que permitiera minimizar el monto de las inversiones requeridas mediante el máximo aprovechamiento de la infraestructura existente de colectores y cauces naturales.

Como elemento básico para el planteamiento de soluciones se efectuó la diferenciación entre los dos componentes que forman parte del sistema de drenaje de la ciudad: sistema mayor y sistema menor. Se define como sistema mayor a aquellas vías colectoras y de evacuación cuyas obras por la importancia que revisten, se diseñan para un período de retorno igual o superior a 25 años. Esta componente está asociada a los cauces naturales que constituyen los elementos

receptores de las redes de drenaje destinados a conducir las aguas lluvias fuera del área de generación de las mismas, descargándolas al mar.

La segunda componente del sistema de drenaje se definió como sistema menor. Ella comprende los sistemas colectores y de evacuación que se diseñan para un período de retorno inferior a 25 años y que están asociados principalmente a las redes que recogen las aguas lluvias en las propias áreas dónde éstas se generan o aquellas que las concentran para conducir las hacia un cauce receptor. Este sistema menor a su vez se encuentra constituido por una red básica y una red complementaria, siendo el dimensionamiento de la primera el objetivo central del estudio desarrollado.

La red básica corresponde a aquellos colectores que constituyen el sistema esencial que asegura que las aguas sean conducidas fuera del área que las genera, descargándolas al sistema mayor. Estos colectores de la red básica se han definido para el estudio, como aquellos cuyos diámetros son iguales o mayores a 500 mm si están construidos en cemento comprimido o bien si son de PVC o corresponden a cajones cuya capacidad de porteo es superior o igual a la del tubo de cemento comprimido de 500 mm. La red complementaria, en tanto, corresponde a todos los colectores de diámetro y/o capacidades menores a los anteriormente especificados.

En el presente estudio se determinaron para la red básica antes definida los trazados, las alternativas constructivas, el dimensionamiento y los costos de los colectores como así también las obras requeridas en los cauces naturales. La red complementaria fue definida sólo a nivel de un costeo estimativo tomando en cuenta las dimensiones y características generales de las áreas aportantes a la red básica.

#### 4.1 RED DE COLECTORES

Para el dimensionamiento de la red básica de colectores se desarrollaron consecutivamente las siguientes etapas: identificación y definición de áreas a sanear, planteamiento de criterios de diseño, definición de trazados, análisis de alternativas constructivas y finalmente, selección y dimensionamiento de las alternativas más recomendables.

Con el propósito de determinar las áreas aportantes a cada colector existente y a proyectar de la red básica, se efectuó primeramente una sectorización de la ciudad de Punta Arenas. La envolvente externa de estas áreas corresponde a la divisoria de aguas asociada al límite urbano establecido en el Plan Regulador vigente. Dicha sectorización consideró como elementos centrales en su definición, la topografía, la red vial del área urbana, los antecedentes complementarios

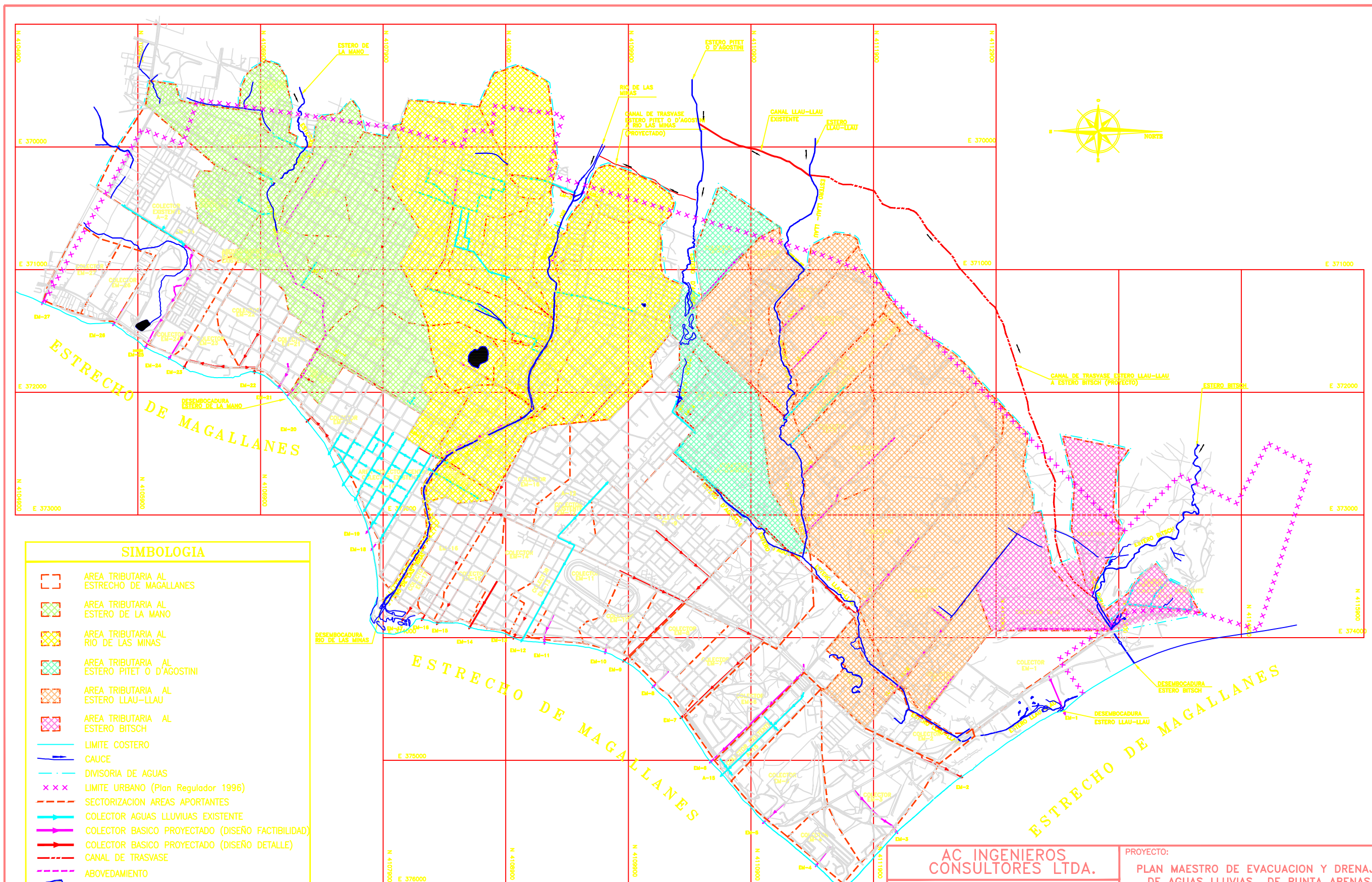
obtenidos del reconocimiento del terreno efectuado y la actualización de información realizada a partir de entrevistas con autoridades de la zona.

Con respecto al período de retorno de diseño de los colectores, de acuerdo al análisis realizado en el estudio R & Q (1998), la red de colectores presenta su sección óptima para 5 años. En atención a este antecedente, en el presente estudio se adoptó este período de retorno para el diseño

En relación al trazado de los colectores, éste surgió como resultado del análisis de varios trazados alternativos los cuales consideraron como criterios de definición entre otros los siguientes: mínima longitud, minimización de interferencias y de rotura de pavimentos, ajuste a la topografía, compatibilidad con la vialidad urbana, etc. Del análisis realizado se concluyó que en general no existe una diferencia significativa en la longitud de colectores con trazados alternativos, dado que éstos son más bien cortos y drenan directamente a distintos cauces.

En la Fig. 3 se muestran los trazados de los colectores propuestos de la red básica y las áreas aportantes respectivas.

Con el propósito de minimizar la inversión requerida para la construcción de los colectores proyectados se analizaron 3 alternativas constructivas distintas. Como primera alternativa se analizó una solución que consistió en el uso exclusivo de colectores de cemento comprimido; y alternativamente como segunda, se evaluó el uso de soluciones mixtas, considerando tubos de PVC hasta un diámetro de 500 mm, tubos de cemento comprimido hasta un diámetro de 1.000 mm, y cajones de hormigón armado para dimensiones mayores. Como tercera alternativa se evaluó la combinación de tubos de PVC hasta un diámetro de 500 mm, tubos de cemento comprimido hasta 600 mm de diámetro y cajones de hormigón para reemplazar tubos de diámetros mayores a este último. El uso de cajones hechos in situ se justificó debido al alto costo de adquisición y transporte desde la zona central a Punta Arenas de tuberías de gran diámetro de igual capacidad hidráulica. Esto último en razón de la mala experiencia que ha tenido ESMAG S.A., debido a la inadecuada calidad de los tubos de cemento comprimido fabricados localmente.



**SIMBOLOGIA**

- AREA TRIBUTARIA AL ESTRECHO DE MAGALLANES
- AREA TRIBUTARIA AL ESTERO DE LA MANO
- AREA TRIBUTARIA AL RIO DE LAS MINAS
- AREA TRIBUTARIA AL ESTERO PITET O D'AGOSTINI
- AREA TRIBUTARIA AL ESTERO LLAU-LLAU
- AREA TRIBUTARIA AL ESTERO BITSCH
- LIMITE COSTERO
- CAUCE
- DIVISORIA DE AGUAS
- LIMITE URBANO (Plan Regulador 1996)
- SECTORIZACION AREAS APORTANTES
- COLECTOR AGUAS LLUVIAS EXISTENTE
- COLECTOR BASICO PROYECTADO (DISEÑO FACTIBILIDAD)
- COLECTOR BASICO PROYECTADO (DISEÑO DETALLE)
- CANAL DE TRASVASE
- ABOVEDAMIENTO
- LAGUNA

**AC INGENIEROS CONSULTORES LTDA.**

PLANO:  
**AREAS TRIBUTARIAS Y RED BASICA**

PROYECTO:  
**PLAN MAESTRO DE EVACUACION Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS DE PUNTA ARENAS XII REGION**

FECHA: JULIO-1999	ESCALA: 1:25.000aprox.	FIGURA N°: 3
----------------------	---------------------------	-----------------

Del análisis efectuado se concluyó que la tercera combinación de elementos constructivos resulta ser la más conveniente desde el punto de vista económico, ya que su costo es alrededor de un 35% más bajo respecto de la alternativa más económica que le sigue.

## 4.2 CAUCES NATURALES

Se analizaron los aspectos relativos a planificación y manejo de las aguas provenientes de las zonas altas (fuera del área urbana) y medias asociadas a los cursos superficiales del río Las Minas y los esteros de La Mano, Llau-Llau, Pitet o D' Agostini y Bitsch.

Como parte fundamental del análisis se establecieron los caudales de crecida asociadas a los cauces naturales y se compararon con las capacidades de conducción que presentan los cauces. En la Tabla 3 se resume el diagnóstico de los cauces naturales con respecto a los caudales aportantes para el período de retorno T=5 años.

**Tabla 3 Caudales Aportantes a Cauces Naturales (T = 5 años)**

Cauce	Tramo	Capacidad Mínima (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Aportante T=5 años (m <sup>3</sup> /s)	Observación
Estero de La Mano	30,5 m antes de descarga estrecho	6,0	10,7	Desbordes
Río de Las Minas	Todo el sector urbano	120,0	63,0	
Estero Pitet o D'Agostini	Varios sectores urbanos	0,6	2,5	Desbordes
Estero Llau-Llau	Varios sectores urbanos	1,4	10,7	Desbordes
Estero Bitsch	Todo el sector urbano	40,0	28,6	

La conclusión que se extrae del análisis efectuado es que los cauces que generan mayores problemas de desbordes en la actualidad son los esteros Llau-Llau y Pitet ó D'Agostini. Para resolver estos problemas, se adoptaron las soluciones propuestas en estudios anteriores en donde se han elaborado proyectos que consultan realizar trasvases de las aguas del estero Llau-Llau al estero Bitsch y desde el estero Pitet ó D'Agostini al río de Las Minas. Las obras consultadas en dichos proyectos, harían que los dos esteros reciban a futuro solamente las aguas lluvias generadas en el área urbana de la ciudad de Punta Arenas. Por lo tanto, para

**AC INGENIEROS CONSULTORES LTDA.**

efectos del presente Plan Maestro los cauces del estero Llau-Llau y estero Pitet ó D'Agostini en su tramo urbano se consideran como colectores interceptores de las aguas lluvias.

En resumen, las obras requeridas para el aprovechamiento de la actual capacidad de porteo de los cauces naturales en el sector urbano de Punta Arenas, son:

- Canal de trasvase estero Llau-Llau a estero Bitsch.
- Canal de trasvase estero D'Agostini a río de Las Minas.
- Mejoramiento del estero Llau-Llau.

Las obras requeridas para el estero de La Mano son las definidas en el proyecto de R & Q (1998) para un caudal de 12 m<sup>3</sup>/s (T=100 años) y corresponden a una alcantarilla paralela a la existente, con una capacidad de porteo adicional de 6 m<sup>3</sup>/s. Estas obras no forman parte del presente Plan Maestro toda vez que son necesarias para evacuar los aportes de la parte alta de la cuenca ubicada fuera del límite urbano.

El río de las Minas y el estero Bitsch, no presentan problemas de capacidad hidráulica por lo cual ellos no requieren obras de mejoramiento

## 5. ANALISIS DE COSTOS, EVALUACION ECONOMICA, PRIORIZACION Y DEFINICION DE RED PRIMARIA Y SECUNDARIA

### 5.1 COSTOS DE COLECTORES Y DE OBRAS EN CAUCES NATURALES

#### a) Red de Colectores

Para la evaluación de los costos de la red básica, se tomaron como base los precios unitarios contenidos en el estudio de R & Q (1998), los cuales fueron en su oportunidad revisados y aprobados por ESMAG S.A. En el presente estudio, dichos valores se verificaron y se actualizaron a moneda del 15 de septiembre de 1998.

También se efectuó una estimación de las inversiones que se requeriría destinar a la materialización de la red complementaria de colectores, para lo cual se estimó del costo de construcción por unidad de superficie, obteniéndose un valor de 2,72 millones \$/ha. Identificando el área a drenar por esta red complementaria se

estimó, a su vez, el costo total de inversiones en dicha red.

**b) Cauces Naturales**

Los costos de mejoramiento de los cauces naturales (incluidos los canales de trasvase) fueron obtenidos de los estudios existentes para cada una de las obras requeridas y también actualizados al 15 de septiembre de 1998.

El resumen de costos de la red básica y complementaria de colectores y obras en cauces naturales se detalla en la Tabla 4.

**Tabla 4 Costos de Colectores y de Obras en Cauces Naturales  
(\$ del 15.09.98)**

CUERPO RECEPTOR	RED BASICA		RED COMPLEMENTARIA		CAUCES NATURALES		TOTAL	
	(Mill \$)	(Miles UF)	(Mill \$)	(Miles UF)	(Mill \$)	(Miles UF)	(Mill \$)	(Miles UF)
Estero De La Mano	1.112,8	77,0	701,5	48,5	0,0	0,0	1.814,3	125,5
Río de Las Minas	1.645,3	113,9	1.078,3	74,6	0,0	0,0	2.723,6	188,5
Estero Pitet o D'Agostini	103,2	7,1	120,5	8,3	107,6	7,4	331,4	22,9
Estero Llau-Llau	1.954,1	135,2	1.573,9	108,9	3.582,7	247,9	7.110,8	492,0
Estero Bitsch	207,9	14,4	247,4	17,1	0,0	0,0	455,2	31,5
Estrecho de Magallanes	3.012,2	208,4	2.916,8	201,8	0,0	0,0	5.929,0	410,3
<b>TOTAL</b>	<b>8.035,6</b>	<b>556,0</b>	<b>6.638,4</b>	<b>459,4</b>	<b>3.690,3</b>	<b>255,4</b>	<b>18.364,3</b>	<b>1.270,7</b>

Nota: En el caso de los esteros Pitet o D'Agostini y Llau-Llau los costos que se indican en la columna cauces naturales incluyen las inversiones en los canales de trasvase respectivos.

## 5.2 EVALUACION ECONOMICA

Se realizó la evaluación técnico-económica tanto de la solución propuesta para los colectores básicos y complementarios de la red de evacuación y drenaje de aguas lluvias de Punta Arenas y mejoramiento del Estero Llau-Llau de la ciudad de Punta Arenas, como de los canales de trasvase Llau-Llau y Pitet o D'Agostini, y del proyecto global que incluye todas las obras mencionadas anteriormente.

### a) Beneficios

Se estimaron los daños ocasionados por las inundaciones producto de las aguas lluvias que caen directamente sobre el área urbana de la ciudad, determinándose los beneficios del proyecto como el ahorro de costos por daños, de la situación con proyecto en relación a la situación sin proyecto. Para tal efecto se obtuvo la curva de daños v/s probabilidad de excedencia de donde es posible obtener el daño anual esperado considerando un período de retorno de diseño de las obras de 5 años. Dicho Beneficio Anual Esperado (B.A.E.) asciende a un monto de \$2.134,9 millones en moneda del 15 de septiembre de 1998.

En el caso de los beneficios asociados a las obras de los canales de trasvase del estero Llau-Llau al estero Bistch y del estero Pitet o D'Agostini al río Las Minas, se consideraron específicamente los daños ocasionados por los desbordes del cauce de los esteros Llau-Llau y D'Agostini en el área urbana de la ciudad de Punta Arenas, ya que la evaluación económica está orientada a estos



proyectos de trasvase que impedirán el ingreso de los caudales de la parte alta de las cuencas de los esteros al área urbana de la ciudad.

En forma similar a lo descrito para las inundaciones por aguas lluvias, se obtuvo la curva de daños v/s probabilidad de excedencia, y se determinó el B.A.E. considerando un período de retorno de diseño de las obras de 100 años. Dicho B.A.E asciende a un monto de \$1.245,89 millones en moneda del 15 de septiembre de 1998.

#### b) Inversiones y Costos de Operación y Mantenimiento

Las inversiones y costos de operación y mantenimiento requeridos para la red de colectores básicos y complementarios, que fueron utilizadas para la evaluación económica, se estimaron a precios privados y sociales, según se puede apreciar en la Tabla 5.

En el caso de la red de colectores y mejoramiento del estero Llau-Llau, se estimó el costo de operación y mantenimiento anual como un 2,5% del costo total, en tanto en el caso de los canales de trasvase este costo fue estimado en un 1% del costo total a precios privados y sociales.

**Tabla 5 Resumen de Inversiones Totales de Obras y Costos Anuales de Operación y Mantenimiento en Millones de \$ (\$ del 15.09.98)**

Proyecto	Inversión		Costos Operación y Mantenimiento Anual	
	Privado	Social	Privado	Social
Red de Colectores	14.674,0	13.940,3		
Mejoramiento Estero Llau-Llau	803,7	763,5		
TOTAL	15.477,7	14.703,8	386,9	367,6
Canal de Trasvase Llau-Llau	2.779,0	2.640,1		
Canal de Trasvase Pitet o D'Agostini	107,6	102,2		
TOTAL	2.886,6	2.742,3	28,9	27,4
Global	18.364,3	17.446,1		

#### c) Indicadores Económicos

Con el fin de determinar separada y conjuntamente la rentabilidad económica de los proyectos de la red de colectores y mejoramiento del estero Llau-Llau, y los proyectos de los canales de trasvase, ambos grupos de proyectos se evaluaron en forma independiente y globalmente determinándose sus correspondientes indicadores económicos. La rentabilidad se estimó en base a los indicadores económicos Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y la razón (IVAN).

Se consideró un horizonte de evaluación de 30 años y la tasa de descuento se fijó en un 10% para la evaluación privada y en un 12% para la evaluación social, según lo usado habitualmente por la Dirección de Obras Hidráulicas y lo recomendado por MIDEPLAN para estos casos. En las Tablas 6 y 7 se resumen de los indicadores económicos resultantes para los proyectos tomados por separado y en conjunto. El análisis se sensibilizó considerando períodos de inversión de 3, 5 y 10 años.

**Tabla 6 Indicadores Económicos Evaluación Privada**  
(Tasa de descuento 10% y \$ del 15.09.98)

Proyecto	Monto Inversión (millones \$)	Indicador Económico	Plazo de Inversión		
			3 años	5 años	10 años
Red de Colectores y Mejoramiento Estero Llau-Llau	15.477,7	VAN (mill \$)	348,1	-109,1	-
		TIR (%)	10,3	9,9	9,0
		IVAN	1,3	1,3	1,3
Canales de Trasvase	2.886,6	VAN (mill \$)	6.649,5	5.087,3	2.317,7
		TIR (%)	30,6	24,6	16,7
		IVAN	3,6	3,2	2,3
Global	18.364,3	VAN (mill \$)	6.997,6	4.978,2	1.280,5
		TIR (%)	14,3	13,2	10,9
		IVAN	1,7	1,6	1,5

**Tabla 7 Indicadores Económicos Evaluación Social**  
(Tasa de descuento 12% y \$ del 15.09.98)

Proyecto	Monto Inversión (millones \$)	Indicador Económico	Plazo de Inversión		
			3 años	5 años	10 años
Red de Colectores y Mejoramiento Estero Llau-Llau	14.703,8	VAN (mill \$)	-	-	-
		TIR (%)	1.014,6	1.290,0	1.829,2
		IVAN	11,0	10,6	9,7
Canales de Trasvase	2.742,6	VAN (mill \$)	5.223,0	3.789,0	1.413,8
		TIR (%)	31,9	25,5	17,2
		IVAN	3,2	2,8	2,0
Global	17.446,1	VAN (mill \$)	4.208,4	2.499,0	-415,4
		TIR (%)	15,2	14,0	11,6

		IVAN	1,5	1,4	1,3
--	--	------	-----	-----	-----

### 5.3 PRIORIZACION DE SOLUCIONES

La materialización de las obras que forman parte del sistema de evacuación y drenaje de aguas lluvias de la ciudad de Punta Arenas, propuesto en el presente Plan Maestro, requiere necesariamente de un ordenamiento previo de las mismas, con miras a establecer prioridades que permitan ir haciendo las inversiones en la medida que los recursos económicos estén disponibles. Ello por cuanto, por un lado el conjunto de obras involucra elevados montos que no pueden ser sufragados de inmediato ni en plazos breves, y por otro, la naturaleza y severidad del problema resulta bastante diversa si se atiende a la variedad de situaciones que se presentan en la ciudad.

Con el propósito de ordenar el conjunto de obras definidas como parte de la red de colectores, se definieron los siguientes criterios:

- **Criterio Técnico:** Para que un colector tenga mayor prioridad que otro, se requiere que éste descargue directamente al curso receptor que le corresponde o bien que las obras que aseguren la evacuación de las aguas lluvias que dicho colector descarga se encuentren construidas en forma previa, de forma tal que su materialización no produzca problemas de inundación en otros sectores de la ciudad.
- **Criterio Económico:** Hay que considerar que a los costos asociados directamente a los colectores, en ciertos casos es necesario sumar los costos de las obras que previa y obligatoriamente deben materializarse para permitir el correcto funcionamiento del colector, lo cual podrá restarle prioridad a estos colectores. Además, al comparar soluciones equivalentes, resulta importante establecer algún criterio de eficiencia económica de la solución tal como:
  - **Costo versus superficie del área drenada:** Permite tomar en cuenta la proporción de la ciudad a ser drenada por un colector determinado.
  - **Costo versus número de puntos de inundación:** Toma en cuenta la posibilidad de eliminar las congestiones y las demoras en el tránsito de vehículos y de peatones, toda vez que en el caso de la ciudad de Punta Arenas los puntos de inundación sólo involucran las calles.

Para obras con un orden de prioridad muy similar, se propone tener en cuenta además los siguientes tres criterios adicionales o complementarios que se detallan a continuación, los cuales a su vez requieren de una coordinación entre organismos tales como la DOH, el MINVU y ESMAG S. A.

- **Programa de Pavimentación de Calles:** Al priorizar colectores hay que tomar en cuenta el Plan de Pavimentación de Calles del SERVIU-XII Región, de modo de evitar a futuro roturas de pavimentos, más aún si éstos son de tipo participativo.
- **Nivel Actual de los Proyectos:** Se deberá priorizar aquellos colectores que se encuentran estudiados a nivel de ingeniería de detalle sobre aquellos que se encuentran a nivel de anteproyecto o de idea preliminar.
- **Desconexión entre los Sistemas de Aguas Lluvias y Aguas Servidas:** Puede ser conveniente priorizar aquellos colectores de aguas lluvias que permiten desconectar los sumideros existentes que actualmente descargan a la red de aguas servidas.

#### 5.4 DEFINICION DE OBRAS DE LA RED PRIMARIA Y SECUNDARIA

Como parte integrante de la red primaria se definió al conjunto de obras que componen el sistema mayor (T=100 años) y que deben ser construidas única y exclusivamente para mejorar el sistema de drenaje urbano de la ciudad de Punta Arenas (canales de trasvase) y a las obras del sistema menor (T=5 años) que cumplen los siguientes criterios:

- **Cauces Existentes:** Mejoramientos de cauces existentes dentro del área urbana, como es el caso del estero Llau-Llau.
- **Colectores Existentes:** Colectores existentes que drenan áreas públicas, con un diámetro mayor o igual a 500 mm y longitud mayor o igual a 200 m hasta su descarga en un cauce receptor.
- **Colectores Proyectados:** Colectores proyectados que drenan áreas públicas, con un diámetro mayor o igual a 500 mm, o de sección tipo cajón, y una longitud superior o igual a 200 m.

Las obras definidas como parte de la red primaria de Punta Arenas se identifican en la Tabla 8 en donde se señala para cada colector el código del cauce receptor en el que descarga, su orden de prioridad conforme a los criterios antes identificados, su costo y su longitud. En la Fig.4 aparece graficada esta red primaria.

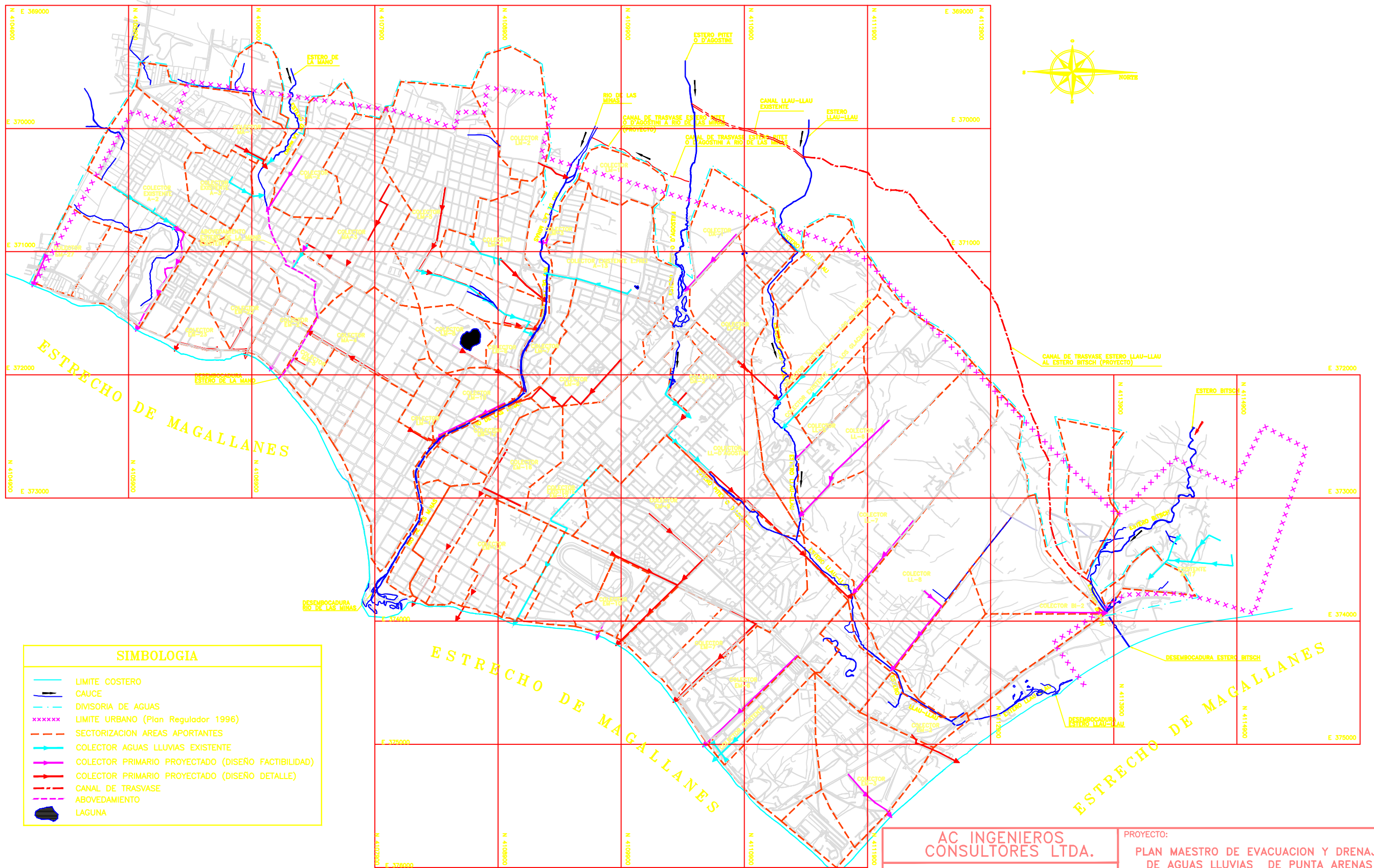
Todos los colectores no definidos como integrantes de la red primaria, se consideran que forman parte de la red secundaria, cuyo diseño, construcción y operación se entiende es responsabilidad del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. En la Tabla 9 se presenta esta última red, indicando además la inversión inicial y el costo anual de mantención, la superficie a drenar, la longitud y el código del cauce receptor en el que descarga cada una de las obras.

## 6. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Se realizó una evaluación de impacto ambiental para el conjunto de colectores de la red primaria, para las obras de mejoramiento en cauces naturales y para los canales de trasvase, que conforman el Plan Maestro, teniendo como base la normativa legal vigente establecida en la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (D.S. 30/97).

De la evaluación realizada para el conjunto de las obras propuestas, se determinó que si bien la mayor parte de los impactos susceptibles de presentarse en la etapa de construcción son negativos, ellos son poco generalizados, limitándose su presencia exclusivamente al período de construcción de las obras y existiendo medidas de mitigación factibles de implementar.

En la etapa de operación del proyecto la mayor parte de los impactos previsibles tienen el carácter de positivos, lo cual implica un mejoramiento del ambiente derivado de una disminución de los problemas de inundación que afectan en forma frecuente a la ciudad de Punta Arenas. El único impacto que podría ser negativo durante esta etapa, está referido al recurso hídrico, ya que durante la operación de la red ,aumentaría el número y los volúmenes de descargas de aguas lluvias y éstos se presentarían concentrados en los cursos de aguas de la ciudad, pudiendo existir arrastres de sustancias por el lavado de calles durante las primeras lluvias con características contaminantes. Sin embargo, las medidas de mitigación correspondientes a estos impactos ya son abordadas por otras autoridades.



SIMBOLOGIA	
	LIMITE COSTERO
	CAUCE
	DIVISORIA DE AGUAS
	LIMITE URBANO (Plan Regulador 1996)
	SECTORIZACION AREAS APORTANTES
	COLECTOR AGUAS LLUVIAS EXISTENTE
	COLECTOR PRIMARIO PROYECTADO (DISEÑO FACTIBILIDAD)
	COLECTOR PRIMARIO PROYECTADO (DISEÑO DETALLE)
	CANAL DE TRASFASE
	ABOVEDAMIENTO
	LAGUNA

AC INGENIEROS CONSULTORES LTDA.		PROYECTO:	
PLANO:		PLAN MAESTRO DE EVACUACION Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS DE PUNTA ARENAS XII REGION	
RED PRIMARIA		FECHA:	FIGURA N°:
		JULIO-1999	4
		ESCALA:	
		1:25.000aprox.	

**Tabla 8 Obras que Componen la Red Primaria de Evacuación de Aguas Lluvias en la Ciudad de Punta Arenas**

Obras	Código Cauce Receptor	Orden de Prioridad #	Inversión Inicial(*) (Mill \$)	Costo Anual Mantenion (*) (Mill \$)	Longitud (m)
Canal de Tras. Est. Llau-Llau a Estero Bitsch	-	1	2.779,0	27,8	5.000
Canal de Tras. Est. D'Agostini a Río Las Minas	-	1	107,6	1,1	900
Mejoramiento Estero Llau-Llau La Milagrosa	-	1	803,7	20,1	6.000
E. Lillo/Allende/Frei	LM-4	1	91,8	2,3	503
Av. Bulnes/Rotonda/Merino Benitez	LM-5	1	666,4	16,7	2.071
Briceño/21 de Mayo	EM-7	1	445,0	11,1	1.246
Pobl. Manuel Bulnes	EM-22	2	79,0	2,0	306
Ñandú	EM-25	2	57,2	1,4	1.065
Martínez de Aldunate-Pedro A. Cerda	LM-2	2	92,8	2,3	250
Chiloé Sur	MA-1	2	86,8	2,2	305
Rómulo Correa/E. Magallanes	LM-11	2	41,9	1,0	219
España/E. de La Mano	EM-14	2	167,6	4,2	570
Mateo de Toro y Zambrano	MA-4	3	242,8	6,1	633
Av. España/Av. Bulnes/E. Abello	MA-2	3	115,0	2,9	516
Maipú	EM-9	3	572,1	14,3	2.253
Enap	EM-16	3	374,0	9,4	1.170
18 de Septiembre	EM-2	3	54,1	1,4	450
Barrio Prat	MA-3	3	564,8	14,1	1.404
Chañarcillo	LM-9	4	358,5	9,0	1.198
República	EM-6	4	193,6	4,8	1.080
V. Torres del Paine/Nuevo Puerto	LM-10	4	94,0	2,4	440
Los Generales	EM-3	4	101,9	2,5	500
Zenteno	LL-8	4	227,8	5,7	785
Frei - Bitsch	LM-8	4	143,9	3,6	616
Abovedamiento Estero Pitet o D'Agostini	BI-2	5	169,9	4,2	619
Los Flamencos/E. Llau-Llau	LL-D'Agostini	5	785,6	19,6	2.651
R. Correa/Frei/C. Guillermo	LL-7	5	219,5	5,5	780
Guillermo Tell	LL-4	5	173,2	4,3	617
Condell	LL-6	5	270,6	6,8	1.045
	DA-1	5	75,2	1,9	335
<b>Total</b>			<b>10.155,2</b>	<b>210,6</b>	<b>35.527</b>

(\*) : \$ del 15 de septiembre de 1998





Se concluyó que tanto los colectores como las obras de mejoramiento de cauces y los canales de trasvase que conforman el Plan Maestro de Aguas Lluvias de la Ciudad de Punta Arenas, una vez que se encuentren en un nivel de proyecto deberán someterse al SEIA, mediante la presentación de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), ya sea para el conjunto de éstos o bien para cada colector. Sin embargo se debe tener presente que las obras desarrolladas en el estudio de R&Q (1998) fueron ya sometidas al SEIA, mediante una DIA, y fueron aprobados por la COREMA el año 1997.

## 7. COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES GENERALES AL PLAN MAESTRO

### 7.1 COMENTARIOS

- El Plan Maestro de evacuación y drenaje de las aguas lluvias de la ciudad de Punta Arenas constituye una herramienta de planificación general, destinada a definir y orientar la programación de inversiones en obras.
- El Plan Maestro debería ser dado a conocer y difundido entre las diversas autoridades locales, planificadores urbanos y loteadores futuros de manera que sus planes sectoriales y locales sean compatibles y consistentes con este Plan Maestro.
- La priorización propuesta en el Plan Maestro debe ser objeto de revisiones periódicas y modificaciones que vayan incorporando las políticas institucionales que correspondan, de modo que en su aplicación exista completo acuerdo entre el MOP y el MINVU.

### 7.2 RECOMENDACIONES

- Dado el distinto nivel de desarrollo que tienen las soluciones planteadas en el Plan Maestro se hace recomendable llevar todas aquellas que se encuentran a nivel de idea, prefactibilidad, factibilidad o anteproyecto, hasta el nivel de ingeniería de detalle. De este modo, la prioridad para la construcción de las soluciones podrá centrarse preferentemente en las necesidades de resolver problemas más urgentes o críticos.
- Una vez decidida la construcción de un colector de la red primaria consultado en el Plan Maestro, debe tenerse presente que será necesario materializar

1 – 24

simultáneamente o en el corto plazo su correspondiente red de colectores secundaria.

- Se recomienda definir, elaborar y aplicar un manual de inspección y mantención para el sistema propuesto.
- Con el fin de mejorar la calidad y representatividad de la información necesaria para el continuo y permanente mejoramiento del Plan Maestro, así como para la gestión y operación de la red de drenaje de aguas lluvias, se recomienda:
  - + Dotar una o más estaciones pluviométricas locales existentes con pluviógrafos.
  - + Desarrollar un plan de monitoreo en la red, conforme lo propuesto en este estudio.
  - + Crear una base de datos hidrometeorológicos más completa y representativa de las zonas urbanas y de expansión de la ciudad, y de datos de calidad de las aguas drenadas y conducidas por la red.
  - + Disponer de modelos de fácil aplicación, que permitan actualizar rápidamente la planificación de las obras de drenaje previstas para adaptarse con agilidad a los cambios urbanísticos futuros.
  - + Implementar un sistema de mediciones en la red apuntando a:
    - Verificar el correcto funcionamiento de la infraestructura mientras se mantiene en servicio.
    - Contar con la información técnica pertinente para futuras decisiones de planeamiento, proyecto, dimensionamiento y diseño.
    - Tener información en tiempo real de situaciones críticas relativas a la capacidad de desagüe de la red, producidas por intensos temporales de lluvias.
    - Hacer posible la implementación de modelos numéricos de simulación del funcionamiento de la red.

- En una perspectiva más amplia, toda la información generada a lo largo del tiempo servirá para optimizar la operación, gestión y control de la red de drenaje en situaciones normales y de crisis.
- En la medida que se disponga de mejor información sobre los eventos hidrometeorológicos, se justifica complementar el Plan Maestro con mapas de riesgo para eventos asociados a períodos de retorno superiores a 100 años, a fin de establecer planes de protección civil para este tipo de eventos excepcionales.