


**MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS**

**PLAN MAESTRO DE EVACUACION Y DRENAJE
DE AGUAS LLUVIAS DE RANCAGUA Y MACHALI
VI REGION**

RESUMEN EJECUTIVO

2	22-10-01	Aprobación	VDAR	GATH		
Versión	Fecha	Emitido para	Preparó	Revisó	D.O.H.	
 IFARLE Ingenieros Civiles Consultores Ltda.		RES-EJEC N° DEL DOCUMENTO			PM - 6 N° DEL PROYECTO	

PLAN MAESTRO DE EVACUACION Y DRENAJE DE AGUAS
LLUVIAS DE RANCAGUA Y MACHALI, VI REGION

RESUMEN EJECUTIVO

INDICE

ITEM	MATERIA	PAGINA
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	GENERALIDADES	2
2.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	2
2.2	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES	4
3.	ESTUDIOS BÁSICOS	5
3.1	ESTUDIO DE PRECIPITACIONES	5
3.2	ESTUDIO DE SUELOS EN LA CUENCA	5
3.3	OCUPACIÓN ACTUAL Y FUTURA DEL SUELO URBANO	5
3.4	CARACTERIZACIÓN DE LA ESCORRENTÍA	6
4.	INFRAESTRUCTURA EXISTENTE	8
4.1	INFRAESTRUCTURA Y CAPACIDAD HIDRÁULICA DE CALLES	8
4.2	INFRAESTRUCTURA Y CAPACIDAD HIDRÁULICA DE COLECTORES	8
4.3	INFRAESTRUCTURA Y CAPACIDAD HIDRÁULICA DE CANALES	9
4.4	CAPACIDAD HIDRÁULICA CAUCES NATURALES	10
5.	PATRÓN DE DRENAJE	10
5.1	IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS DE INUNDACIÓN	10
5.2	IDENTIFICACIÓN DEL PATRÓN DE DRENAJE	12
6.	DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS DE EVACUACIÓN Y DRENAJE Y ÁREAS A SANEAR	13
6.1	DIAGNÓSTICO	13
6.2	ÁREAS A SANEAR	14
7.	SOLUCIONES	16
7.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SOLUCIÓN	16
7.2	ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	16
7.3	DESARROLLO Y VIABILIDAD DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	17
7.4	COSTOS DE INVERSIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	18
8.	ASPECTOS AMBIENTALES	20
8.1	EROSIÓN Y DEFORESTACIÓN DE LA CUENCA	20
8.2	ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL	21

ITEM	MATERIA	PAGINA
9.	PRIORIZACIÓN DE SOLUCIONES.....	21
10.	DEFINICIÓN DE LA RED PRIMARIA	23
11.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26

PLAN MAESTRO DE EVACUACION Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS DE RANCAGUA Y MACHALI, VI REGION

RESUMEN EJECUTIVO

1. INTRODUCCIÓN

La Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas encomendó a esta oficina consultora la elaboración del "**Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Rancagua y Machalí, VI Región**", que abarca las ciudades de Rancagua y Machalí.

La confección de este estudio surgió como consecuencia de la promulgación de la Ley 19.525 de Noviembre de 1997, sobre "Regulación de los Sistemas de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias" en el cual se establece que el Ministerio de Obras Públicas desarrollará los Planes Maestros que definirán las redes primarias y secundarias de evacuación y drenaje de aguas lluvias y para lo cual encarga a la D.O.H. la planificación, estudio, proyección, construcción, operación, reparación, conservación y mejoramiento de las obras de la red primaria hasta su evacuación en cauces naturales.

Además, en el Artículo transitorio N°1 se indica que en las ciudades y los centros poblados con más de 50.000 habitantes, estos Planes Maestros deberán ser aprobados dentro del plazo máximo de 5 años.

Basado en lo anterior y considerando los daños que se han producido por los problemas de aguas lluvias en las ciudades de Rancagua y Machalí es que se resolvió elaborar el Plan Maestro en mención.

El estudio comprende la recopilación de antecedentes básicos y catastro de la infraestructura existente de aguas lluvias, identificación de los problemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias, análisis y sistematización de los mismos, como también, la identificación, desarrollo y selección de soluciones viables correspondientes a cada uno de los problemas.

Los objetivos específicos del Estudio son los siguientes:

- Estudiar el problema de evacuación y drenaje de aguas lluvias del área en estudio y proponer una solución integral.
- Realizar una caracterización y diagnóstico de la situación actual del área en estudio
- Seleccionar las zonas a sanear.
- Proponer, simular, analizar y seleccionar alternativas de solución al problema de evacuación y drenaje para las ciudades en cuestión.

- Definir el período de retorno adecuado para las alternativas de solución a los problemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias de cada zona a sanear.
- Desarrollar y estudiar la viabilidad a nivel de perfil de las alternativas de sistemas de aguas lluvias, necesarios y suficientes, para la evacuación de aguas lluvias generadas en el área aportante de la zona en estudio.
- Obtener una priorización de los proyectos de inversión dentro del Plan Maestro.
- Definir la Red Primaria de los sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias de las ciudades de Rancagua y Machalí.

Lo anterior se realiza en siete etapas ordenadas en forma secuencial, las cuales se mencionan a continuación:

- Etapa I Recopilación de Antecedentes
- Etapa II Estudios Básicos
- Etapa III Identificación de Infraestructura Existente
- Etapa IV Diagnóstico y Proposición de Alternativas
- Etapa V Análisis y Selección de Alternativas
- Etapa VI Desarrollo, Viabilidad y Evaluación de Soluciones
- Etapa VII Informe Final

El presente Resumen Ejecutivo forma parte de la Etapa VII, Informe Final, en el que se incluyen, de manera concisa, los antecedentes, resultados y conclusiones relevantes del desarrollo del estudio durante las seis primeras Etapas.

2. GENERALIDADES

2.1 Descripción General del Área de Estudio

Las localidades y ciudades más importantes ubicadas en la cuenca de nuestro interés son Machalí, Graneros y Rancagua. Las ciudades de Rancagua y Machalí pertenecen al área aportante del estero La Cadena, el que es afluente del río Cachapoal.

La cuenca del estero La Cadena tiene una superficie de 600 Km² y se encuentra situada en la Provincia de Cachapoal. entre las coordenadas 70°30' y 70°50' de longitud oeste y entre los 34°00' y 34°15' de latitud sur. El estero La Cadena se genera entre los cerros Machalí (1.536 m.s.n.m.) y el Monte de León (1.390 m.s.n.m.) constituyendo un típico cauce de precordillera. Bordeando el pie oriental de la Cordillera de la Costa y con un cauce prácticamente paralelo al Cachapoal, desemboca en este último al poniente de la ciudad de Rancagua a una latitud aproximada de 34°15' Sur.

La hoya cordillerana del río Cachapoal es aproximadamente de 2.300 km². Los meses de llena del río son de noviembre a marzo, siendo enero el mes que presenta el mayor gasto. Un rasgo

muy característico del régimen de este río es la brusca caída del caudal en el mes de abril, mientras que junio presenta el caudal mínimo.

En la Figura N°2.1 se muestra el área de estudio y su cuenca aportante, señalándose los límites comunales de Rancagua y Machalí y el límite de toda la cuenca. A continuación se mencionan algunos aspectos relevantes en la descripción general de la zona de estudio:

- a) **Clima:** de acuerdo a la clasificación de Köeppen, el área de estudio está ubicada en una zona con clima templado-cálido, con estación seca prolongada (8 a 7 meses), es decir, del tipo mediterráneo, característico de la zona central del país. Las temperaturas promedio anuales fluctúan entre 12,5°C y 15°C, con una variación de los promedios mensuales bastante contrastada que se explica por las condiciones de continentalidad que la afectan esta región geográfica. Así, las temperaturas del mes más cálido se presentan en enero con un promedio de 22°C mientras que el promedio del mes más frío bordea los 8°C en el mes de junio.

La humedad de la zona es relativamente baja acorde a las características del clima mediterráneo.

En cuanto a la pluviosidad en esta región, entre el 75 y el 80% de las precipitaciones anuales se concentra entre los meses de mayo a agosto.

Los vientos dominantes son los del sur y del sur-oeste, con los cuales se observa buen tiempo. En invierno dominan los vientos del norte y del nor-oeste, causantes de lluvias porque provienen de zonas más cálidas.

- b) **Geomorfología de la cuenca:** Rancagua y Machalí se ubican en la cuenca depresionaria existente entre las Cordilleras de la Costa y la Los Andes, donde ésta tiene una longitud de más o menos 50 Km y amplitud media cercana a los 20 Km; se extiende al sur de los cordones de Angostura hasta macizos montañosos que la estrechan notablemente entre las localidades de Rengo y San Fernando.

La cuenca de Rancagua, perteneciente al grupo de cuencas del llano central de origen tectónico y relleno sedimentario fluvio-glacio-volcánico, ha actuado durante el Cuaternario como el nivel de base local del material arrastrado por la acción fluvial del Cachapoal. Durante este período se ha acumulado en la cuenca, un potente relleno de ripios aluviales, los que se han originado en una sucesión de conos superpuestos que el propio Cachapoal ha construido a su salida de la cordillera.

- c) **Población y características socio-económicas:** en la tabla N°2.1 se resume las proyecciones de población existentes para Rancagua y Machalí. Las proyecciones de población existentes, se puede citar la proyección de población entregada por ESSEL en su Plan de Desarrollo y la proyección de población del INE.

Tabla N° 2.1
Proyecciones de Población (hab.)

AÑO	RANCAGUA		MACHALI	
	ESSEL	INE	ESSEL	INE
2000	218259	204740	18844	19852
2010	269119	239724	21866	22813
2020	324850	275479	24354	

2030 (1)	388211		26308	
----------	--------	--	-------	--

(1) Población correspondiente al año 2030 ha sido extrapolada por IFARLE.

La población proyectada al año 2030 implica una densidad de 89 hab./há para Rancagua y de 13 hab./há para Machalí. Estos valores son bajos, lo que implica que no se justifica ampliar el área de extensión urbana actual antes de dicha fecha.

La población de Rancagua y Machalí está conformada por todos los estratos sociales, detectándose un alto porcentaje de pobres, indigentes y no indigentes. Sin embargo, de acuerdo a la encuesta CASEN de 1998, el porcentaje de pobres disminuyó en el período 96-98; en efecto, en 1998 se tiene un total aproximado de 171.800 habitantes pobres en esta región, incluyendo pobres e indigentes, lo que equivale al 22,5% del total regional.

Los habitantes de las ciudades involucradas en este estudio, cuentan con un completo sistema de hospitales y consultorios, como así también de personal profesional.

El sistema educacional incluye los niveles prebásica, básica y media; sin embargo la tasa de analfabetismo en las localidades de Rancagua y Machalí está cercana al promedio nacional de 4.9%.

2.2 Recopilación de antecedentes.

Se recopilaron todos los antecedentes existentes en diversas instituciones, públicas y privadas, que podían ser de utilidad para el desarrollo del Plan. También se reunieron las estadísticas pluviométricas y fluviométricas existentes en el área de estudio.

Por otra parte, se realizó una exhaustiva recopilación de antecedentes de prensa relacionados con problemas de evacuación e inundación de aguas lluvias ocurridos históricamente en las comunas de Rancagua y Machalí.

Finalmente, se recopilaron los antecedentes existentes acerca de los planes reguladores que reglamentan el uso del suelo y las condiciones de edificación dentro de los límites urbanos existentes en el área de estudio. Estos planos son los siguientes:

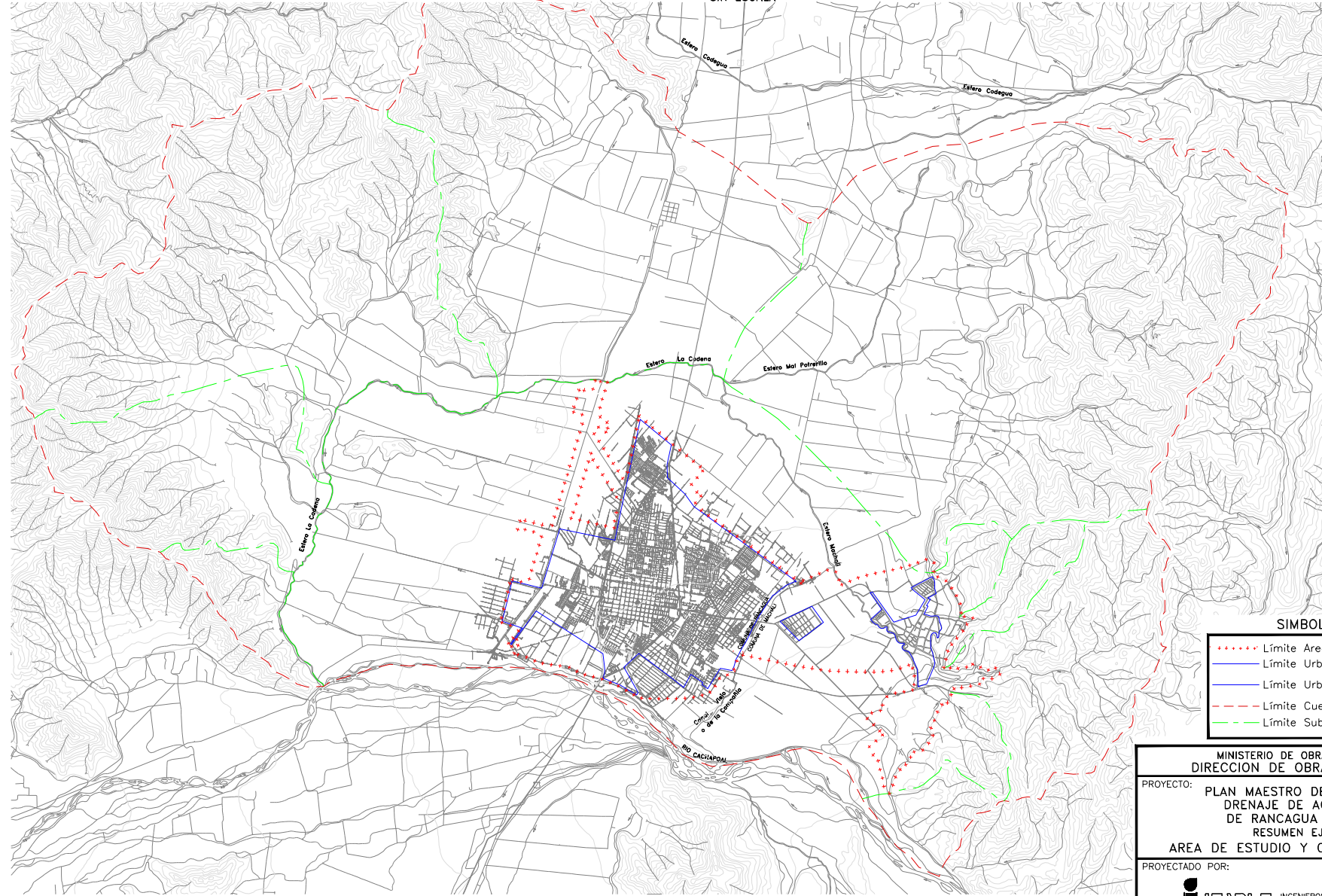
- Plano Regulador Intercomunal de Rancagua
- Plano Regulador Comunal de Rancagua
- Plano Regulador Comunal de Machalí

Además, se estudiaron los planes reguladores actualmente en estudio, para Machalí y Rancagua.

Para la edición de planos se obtuvo una cartografía digitalizada y actualizada, tanto urbana como rural, que permitió dibujar los niveles de información a destacar en cada uno de ellos.


PLANTA

SIN ESCALA



SIMBOLOGIA

- Límite Área de Estudio
- Límite Urbano Rancagua
- Límite Urbano Machalí
- - - Límite Cuenca
- - - Límite Subcuenca

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS	
PROYECTO: PLAN MAESTRO DE EVACUACION Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS DE RANCAGUA Y MACHALI RESUMEN EJECUTIVO AREA DE ESTUDIO Y CUENCA APORTANTE	
PROYECTADO POR:  IPARLE INGENIEROS CIVILES CONSULTORES LTDA.	FIGURA N° 2.1

3. ESTUDIOS BÁSICOS

Se realizaron los estudios básicos que se mencionan a continuación.

3.1 Estudio de Precipitaciones

Con base en la información pluviométrica existente en las estaciones de la zona en estudio y al área de influencia de éstas, la que se aprecia en la Figura N°3.1, se realizó el estudio de precipitaciones con el cual se estimaron las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia que se muestran en la Figura N°3.2 y, a través de ellas, se llegó a determinar las tormentas de diseño para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, las que fueron utilizadas para el diagnóstico de la situación actual y el planteamiento de las soluciones.

En la Tabla N°3.1 se muestra la recurrencia de lluvias de acuerdo a los registros pluviométricos de la Estación Rancagua ENDESA.

Tabla N° 3.1
Análisis de recurrencia anual Estación Rancagua ENDESA.

(Longitud estadística : 18 años Número de días lluvia : 945)

T (años)	PP. Máxima 24 hrs (mm)	% del tiempo con precipitación en que se excede	N° días que se exceden	Promedio de días de lluvia al año que se excede	Promedio de días de lluvia al año en que se evita escurrimiento no controlado (1)
2	48,1	2,80	26,5	1,5	51,03
5	64,4	0,70	6,6	0,4	52,13
10	75,2	0,26	2,5	0,1	52,36
25	88,8	0,17	1,6	0,1	52,41

(1) Días de lluvia en que no se excede $P_{p_{máx} 24}$

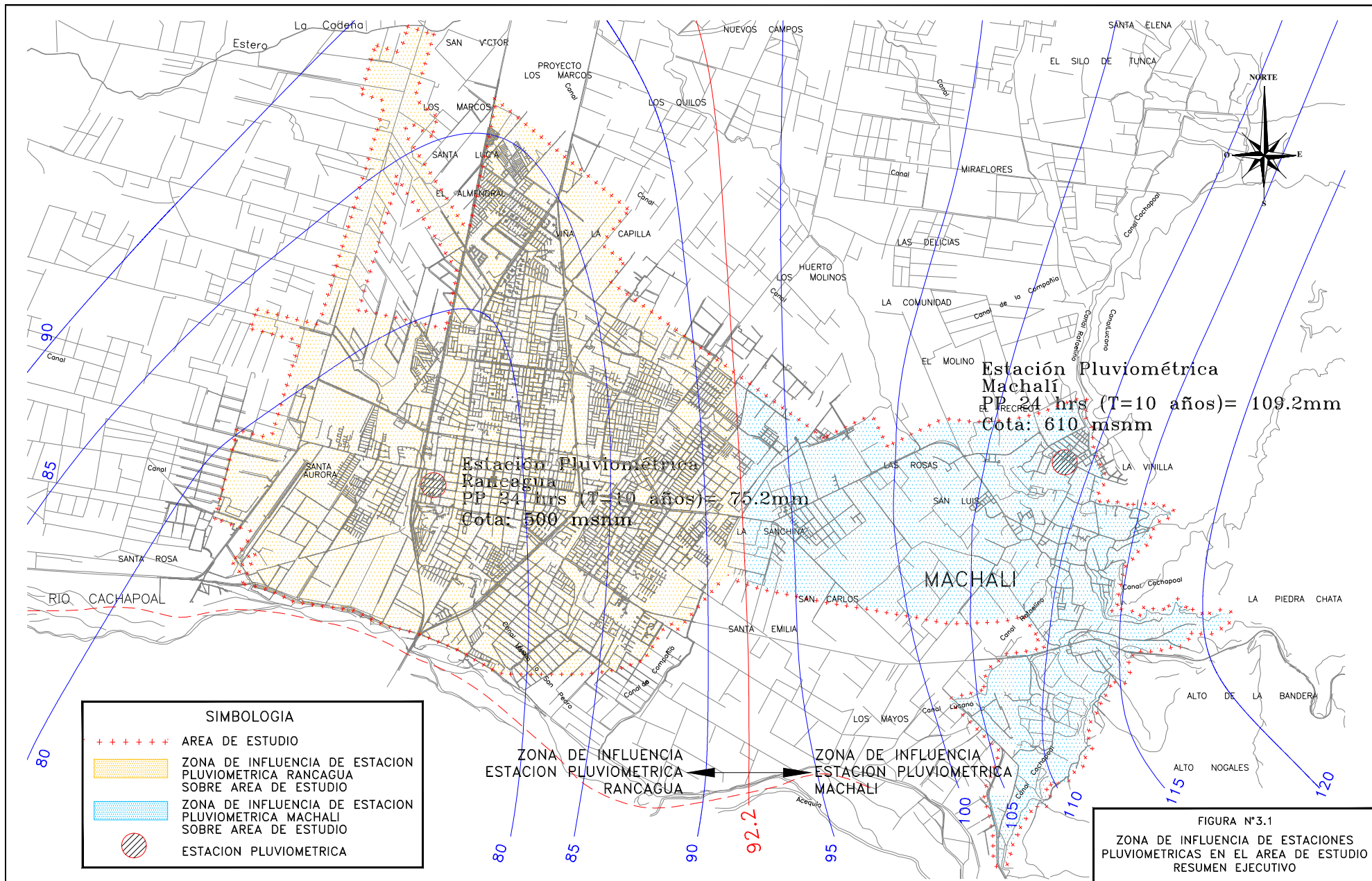
3.2 Estudio de Suelos en la cuenca

El estudio de suelos tuvo como objetivo básico definir una clasificación de los suelos de las cuencas aportantes, desde el punto de vista de su capacidad de retención, infiltración y potencial de generación de escorrentía y, secundariamente, determinar las áreas sensibles a la ocurrencia de fenómenos relevantes de remoción en masa. En la tabla N°3.2 se muestra el uso actual y futuro de los suelos de la cuenca.

Del estudio de suelos en la cuenca aportante se puede concluir que, desde el punto de vista de la escorrentía, fuera de los cambios producto de las modificaciones al interior de las áreas urbanas, en el ámbito de la cuenca aportante se producirán cambios en el valle, al reorientar el actual uso agrícola de cultivos anuales a uso agrícola de plantaciones permanentes.

3.3 Ocupación Actual y Futura del suelo urbano

Apoyado en los planos reguladores y basado en el uso de suelo predominante y en el tamaño de las propiedades, fue posible determinar la evolución y extensión esperable en la ocupación del suelo del área de estudio en los próximos 30 años, y definir una zonificación para la cual se estimaron los coeficientes de escorrentía característicos de esta clasificación. En la Tabla 3-1 se muestra los resultados de este proceso.



SIMBOLOGIA

- +++++ AREA DE ESTUDIO
- ZONA DE INFLUENCIA DE ESTACION PLUVIOMETRICA RANCAGUA SOBRE AREA DE ESTUDIO
- ZONA DE INFLUENCIA DE ESTACION PLUVIOMETRICA MACHALI SOBRE AREA DE ESTUDIO
- ESTACION PLUVIOMETRICA

ZONA DE INFLUENCIA ESTACION PLUVIOMETRICA RANCAGUA

ZONA DE INFLUENCIA ESTACION PLUVIOMETRICA MACHALI

Estación Pluviométrica Machali
 PP 24 hrs (T=10 años)= 109.2mm
 Cota: 610 msnm

Estación Pluviométrica Rancagua
 PP 24 hrs (T=10 años)= 75.2mm
 Cota: 500 msnm

FIGURA N°3.1
 ZONA DE INFLUENCIA DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS EN EL AREA DE ESTUDIO
 RESUMEN EJECUTIVO

Tabla N° 3.2
Superficies por Tipo de Ocupación del Suelo Urbano y Coeficientes de Escorrentía,
Rancagua y Machalí

Tipo de Áreas Urbanas Homogéneas	Rancagua			Machalí		
	Superf. Actual (Há)	Superf. Futura (Há) (1)	C.Escorr. Prop.	Superf. Actual (Há)	Superf. Futura (Há) (1)	C.Escorr. Prop.
Habitacional (predios menos de 250 m ²)	851	1736	0.67	48	381	0.65
Habitacional (predios 250-800 m ²)	405	777	0.60	104	104	0.54
Habitacional (predios 800-1.500 m ²)	141	490	0.48	133	1127	0.42
Habitacional (predios 1.500-5.000 m ²)	-	-	-	264	295	0.36
Parcelas Agrícolas	2053	83	0.51	1358	-	0.23
Conjuntos en Altura	106	106	0.59	-	-	-
Industrial y Equipamiento Urbano	484	849	0.66	3	3	0.53
Militar, Recreación y Areas Verdes	124	124	0.46	23	23	0.40
Comercial y Residencial Zona Centro	213	213	0.75	-	-	--
Laderas de Cerro	-	-	-	96	96	0.55
Total	4377	4377	-	2029	2029	-

(1) Año 2030

3.4 Caracterización de la Escorrentía

Como ya se mencionó anteriormente, los cauces naturales de interés en el presente estudio pertenecen a la hoya hidrográfica del río Cachapoal, en particular el estero La Cadena y su afluente el estero Machalí.

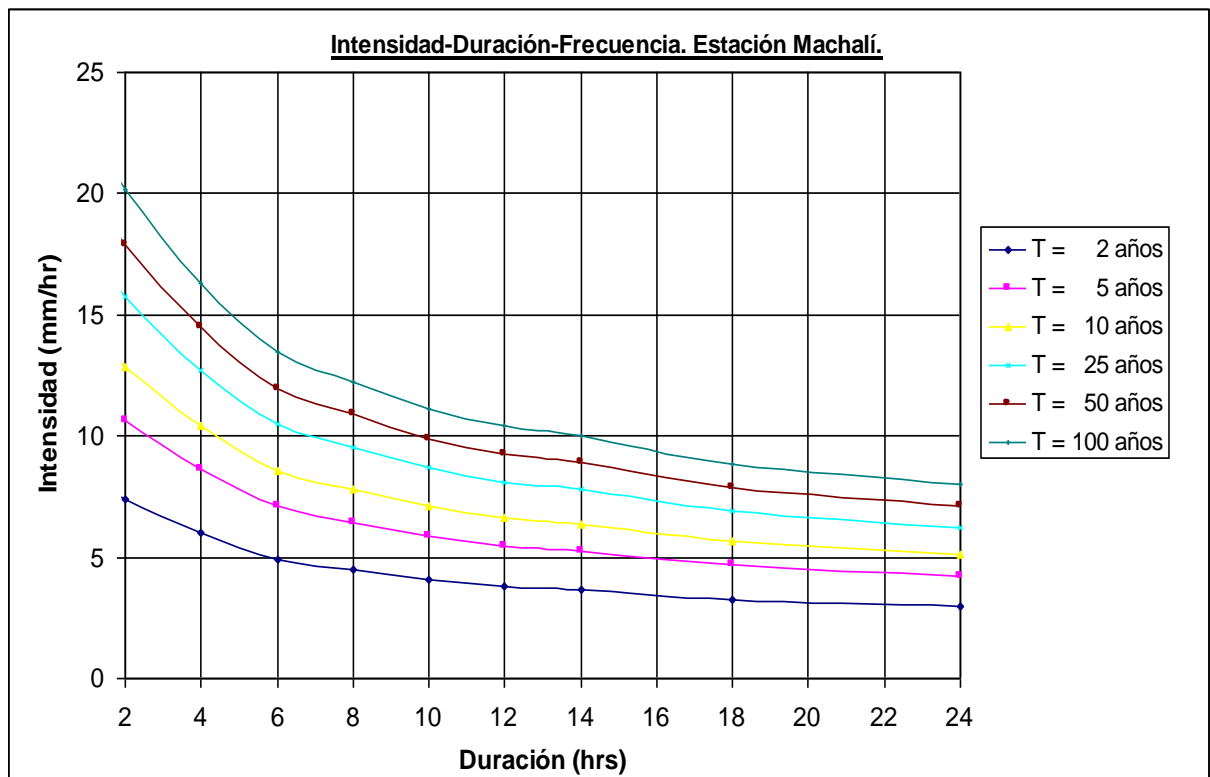
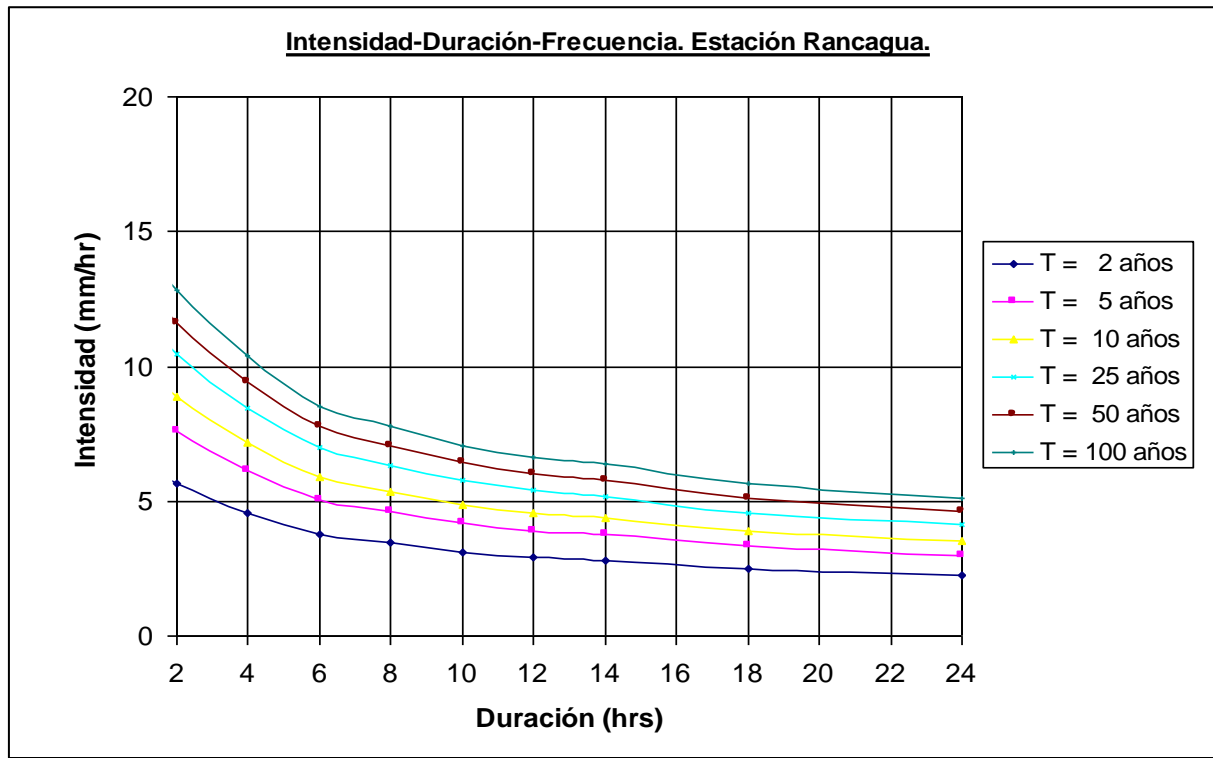
En dichos cauces, en las grandes crecidas se superan ampliamente los caudales normales, es decir. En relación a los desbordes que se producen en sus riberas a medida que avanza la onda de crecida, y que naturalmente implican el anegamiento de zonas agrícolas y, en algunos casos, la inundación de sectores poblados.

Se realizó un análisis de frecuencia de caudales máximos instantáneos de la estadística de caudales máximos instantáneos anuales de la estación fluviométrica Estero La Cadena antes Junta Río Cachapoal y, a partir de esto, se calcularon los caudales máximos instantáneos anuales asociados a períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, los que se muestran en la Tabla N°3.3.

Tabla N° 3.3
Resumen análisis de frecuencia Caudales Máximos Instantáneos Anuales.
Estación Estero La Cadena antes junta Río Cachapoal.

Probabilidad de Excedencia (%)	Período de Retorno (años)	Caudal (m ³ /s)
1	100	672.2
2	50	481.4
4	25	336.0
5	20	297.1
10	10	197.1
20	5	122.6
50	2	52.9

Figura N°3.2: Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia



Con el objeto de definir el potencial de infiltración y de generación de escorrentía de la cuenca, se definió un total de 7 unidades y a cada una de ellas se les asignó un rango de valores de Curva Número. Finalmente, dichos rangos se distribuyeron de acuerdo a los distintos intervalos de pendiente, que fueron definidos en el estudio que al respecto se realizó en la cuenca, ya que a que a medida que aumenta la pendiente también aumenta el escurrimiento superficial, para un uso de suelo dado.

4. INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

Se realizó un catastro de la infraestructura existente con el cual se obtuvo las características físicas y operacionales de los elementos del sistema (vías de escurrimiento, redes de colectores, canales y cauces). Como puede verse en la Figura N°4-1, en general, el escurrimiento de las aguas lluvias tanto en Rancagua como en Machalí es recolectado inicialmente por algunas calles que constituyen las principales vías de escurrimiento y drenaje, en las que se producen inundaciones en puntos bajos sin desagüe natural. Parte de esas aguas alcanza los sumideros de las redes de aguas lluvias existente, separada y unitaria.

Rancagua cuenta con redes de aguas lluvias de tipo separado en aproximadamente un 30% de su superficie habitada, principalmente en las poblaciones ubicadas en los extremos oriente y norte de la ciudad, en urbanizaciones de poca antigüedad. Dicha red, cuyas cañerías son en su totalidad de cemento comprimido, descarga a una red de canales de riego que cruzan el área urbana. Rancagua también cuenta con una red unitaria céntrica, la que descarga al estero La Cadena a través del colector O'Higgins y el Emisario General.

En Machalí las calles conducen el agua hacia canales o cauces naturales, ya que no existe ningún sistema artificial de recolección de aguas lluvias.

4.1 Infraestructura y Capacidad Hidráulica de Calles

La capacidad de conducción de las calles de Rancagua es muy baja debido a la baja pendiente existente en la ciudad; en efecto, sólo la Av. Libertador B. O'Higgins tiene una capacidad un poco mayor a 1 m³/s.

En Machalí, la situación es semejante a Rancagua ya que la capacidad de conducción de las calles principales es baja. La mayor capacidad la tiene la calle Tarapacá y ésta alcanza sólo 0.4 m³/s.

4.2 Infraestructura y Capacidad Hidráulica de Colectores

En Rancagua se catastró un total de 465 y 228 cámaras de las redes separada y unitaria, respectivamente. También se catastraron 231 sumideros de la red separada y 54 de la red unitaria. Lo anterior permitió verificar y completar la información de las características de las redes de colectores de aguas lluvias existentes.

A continuación se presenta un listado con la longitud de la red separada de aguas lluvias existente en Rancagua, para diámetros mayores o iguales a 300 mm.

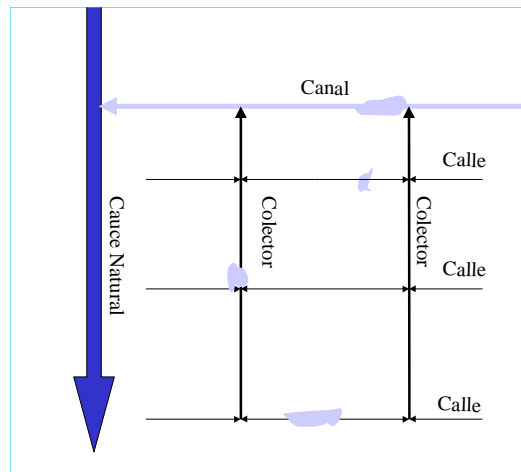
Figura N°4.1: Esquema general de evacuación y drenaje

Tabla N° 4.1
Dimensiones de la red separada de aguas lluvias de Rancagua

D (mm)	L (m)	D (mm)	L (m)
300	6080	700	3820
350	3890	800	1590
400	2934	900	1100
450	2228	1000	295
500	4800	1200	1950
600	3362	1450	700
D _{prom} = 560 (mm)		L _{total} = 32749 (m)	

En cuanto a la capacidad de los colectores, tanto en la red separada como en la unitaria existen algunos tramos en contrapendiente, lo que hace que su capacidad mínima sea cero. Por otro lado, las capacidades máximas en general son pequeñas, fluctuando entre los 0.06 y 3.8 m³/s, con excepción del colector Alameda, cuya capacidad máxima alcanza los 13 m³/s, pero que aún no se encuentra operativo.

Machalí no cuenta con red de colectores de aguas lluvias.

4.3 Infraestructura y Capacidad Hidráulica de Canales

En cuanto a los canales empleados como receptores de las aguas lluvias, los más importantes son: los canales Población, San Pedro, Peterson e Hijuelas, en el caso de Rancagua, y los canales La Compañía, Cachapoal, Lucano, Rafaelino y canal Común de San Joaquín, en el caso de Machalí.

En la Tabla siguiente se resume las capacidades mínimas de los canales más importantes de Rancagua y Machalí. Aquí puede verse que, a excepción del Canal La Compañía, la capacidad de estos canales es relativamente baja.

Tabla N° 4.2
Capacidad mínima de los canales más importantes de Rancagua y Machalí

Rancagua			Machalí		
Canal	Capacidad (m ³ /s)		Canal	Capacidad (m ³ /s)	
	s/mantenimiento	c/mantenimiento		s/mantenimiento	c/mantenimiento
Población	0.5	0.5	La Compañía	15.0	18.0
San Pedro	3.0	4.0	Cachapoal	5.0	6.0
Peterson	4.0	6.0	Lucano	4.6	5.0
Hijuelas	4.0	5.0	Rafaelino	8.0	9.0
			San Joaquín	0.7	1.0

4.4 Capacidad Hidráulica Cauces Naturales

Se realizó la estimación de la capacidad hidráulica de los cauces naturales que puedan ser utilizados como parte del sistema de evacuación y drenaje de aguas lluvias de Rancagua y Machalí. Por lo tanto, se estimó la capacidad hidráulica de los esteros La Cadena y Machalí, descartándose el análisis en el río Cachapoal.

En el caso del Estero La Cadena, la zona analizada corresponde a un tramo de aproximadamente 22 km, comprendidos entre el puente de la Ruta-5 hasta la desembocadura del estero en el río Cachapoal, determinándose que su capacidad varía entre 70 y 400 m³/s según la sección analizada y que, en los tramos más restrictivos, dicha capacidad es menor al caudal correspondiente a un período de retorno de 5 años.

La zona analizada del Estero Machalí corresponde a un tramo de aproximadamente 13 km, comprendidos entre el cruce con el canal Lucano hasta la desembocadura en el estero La Cadena. La capacidad de este estero varía entre 15 y 350 m³/s según la sección analizada y, en los tramos más restrictivos, dicha capacidad es igual al caudal correspondiente a un período de retorno de 5 años.

5. PATRÓN DE DRENAJE

5.1 Identificación de Problemas de Inundación

Sobre la base de los antecedentes recopilados, la inspección en terreno durante los días de lluvia, la información periodística y las encuestas realizadas a los habitantes de Rancagua en las zonas de interés, se identificaron una serie de problemas y situaciones de carácter general que dificultan el buen funcionamiento de los sistemas durante la ocurrencia de fenómenos climáticos extremos, principalmente en el período invernal.

En Rancagua existe una relación entre el comportamiento de los canales y de los colectores existentes ya que las aguas de las inundaciones corresponden a una mezcla de aguas rebasadas desde los canales y de aguas no drenadas provenientes de los sectores altos. El agua no drenada puede provenir tanto de los colectores que no se encuentran funcionando adecuadamente o bien directamente de la precipitación, en aquellas zonas en las que no existe red. De esta manera, las inundaciones se producen directamente por una o más de las siguientes causas:

- Desbordes de los canales que atraviesan Rancagua y Machalí.
- Desbordes del río Cachapoal en su ribera norte, afectando algunas poblaciones de Rancagua
- Desborde del estero Machalí en un extenso tramo hasta el Canal La Compañía y del estero La Vinilla en Machalí.
- Desbordes del estero La Cadena, afectando zonas rurales adyacentes a su cauce.
- Inundaciones en algunos puntos bajos específicos en Rancagua, como el paso bajo nivel de la Alameda con la línea del ferrocarril.
- Insuficiencia de los colectores de aguas lluvias existentes en Rancagua.
- Inundaciones por falta de colectores y sumideros de aguas lluvias.
- Mal manejo de los cauces receptores, cuyos lechos abiertos son utilizados como botaderos de escombros y basuras en Machalí.
- Embancamiento de los cauces por disminución de las fuertes pendientes

Adicionalmente, se debe mencionar que el aumento de las zonas urbanizadas se ha traducido en una variación de los coeficientes de escorrentía de los suelos desde un valor del orden de 0,25 a 0,35 a otro comprendido entre 0,7 y 0,95. Esto ha dado como resultado que los caudales aportados desde las zonas altas de la ciudad hacia la red de drenaje aumenten sin que se haya ajustado la capacidad de porteo de los cauces hacia aguas abajo. En particular no se han construido los colectores de aguas lluvias necesarios para sanear efectivamente las nuevas áreas que se han ido incorporando al casco urbano.

En la tabla siguiente se resume la superficie y la población afectada por inundaciones en mayor grado en Rancagua y Machalí.

Tabla N° 5.1
Superficie inundada y población afectada

Zonas	Superficie Inundada (Hás)	Población Afectada (hab)
Oriente	32	2460
Sur	4	307
Poniente	57	901
CentroNorte	17	1307
Central	17	1307
Norte	8	615
Sur Sur	251	278
TOTAL (1)	378	6559

(1) No incluye inundaciones por red unitaria que entra en presión en zona central.

5.2 Identificación del Patrón de Drenaje

Tomando en cuenta consideraciones de tipo topográfico, trazados de canales y acequias, así como la existencia de redes para la evacuación de aguas lluvias, la ciudad de Rancagua puede dividirse en diversas zonas que descargan sus aguas lluvias a distintos canales o conductos receptores y, de acuerdo a esto, el drenaje de las aguas servidas se realiza a través de cinco sistemas independientes denominados: Canal Población-Canal Ballica, Canal San Pedro-Canal San Rafael, Sistema Unitario, Canal Hijuelas-Canal Peterson y Canal Vicuñano. En la tabla siguiente se detalla qué sistema drena cada zona de la ciudad y cuáles son los cuerpos receptores de las descargas de dichos sistemas.

Tabla N° 5.2
Zonas de Rancagua, cursos receptores y sistemas de drenaje

Zonas	Sistemas	Cursos Receptores
Norponiente	Canal Hijuelas - Canal Peterson	Canal Peterson / Canal Hijuelas
	Canal San Pedro – Canal San Rafael	San Rafael
	Canal Vicuñano	Vicuñano.
	Unitario	Emisario general sistema Unitario
Surponiente	Canal Hijuelas -Canal Peterson	Canal Peterson.
	Canal San Pedro -Canal San Rafael	Canal San Pedro / San Rafael.
	Canal Vicuñano	Canal Vicuñano.
Norte	Canal San Pedro -Canal San Rafael	Canal San Rafael
	Canal Población -Canal Ballica	Canal Ballica
CentroNorte	Canal San Pedro -Canal San Rafael	Canal San Rafael
	Canal Población -Canal Ballica	Canal Población
Central	Unitario	Area unitaria con descarga a emisario general
Sur	Canal San Pedro – Canal San Rafael	Canal San Pedro
Sur Sur		Río Cachapoal
Nororiente	Canal Población - Canal Ballica	Canal Población y Derivados / Canal Ballica
	Canal San Pedro -Canal San Rafael	Canal San Rafael
Suroriente	Canal Población - Canal Ballica	Canal Población y Derivados

Es importante señalar que el límite oriente del área estudiada correspondiente a Rancagua queda definido por el canal La Compañía, que coincide con el límite de las Comunas de Rancagua y Machalí. La gran capacidad de este canal permite considerarlo como una barrera al escurrimiento de aguas lluvias superficiales de sectores ubicados al oriente de él.

La ciudad de Machalí, a excepción de los sectores relativamente planos vecinos al camino Rancagua-Machalí, presenta una topografía abrupta surcada de oriente a poniente por profundas quebradas, que descargan hacia los cauces con fuertes pendientes, por lo que las aguas lluvias escurren raudamente hacia los cauces de drenaje, no produciéndose, salvo las excepciones antes señaladas, inundaciones de áreas con aguas lentas o en reposo. El canal Cachapoal representa un límite o barrera para el escurrimiento de aguas lluvias de la zona al oriente del área urbana de Machalí, constituido por cerros de la precordillera, que coincide con el límite de extensión de la Comuna de Machalí.

Así, Machalí queda dividido en seis sistemas de drenaje independientes denominados: Canal Cachapoal, Canal Lucano, Canal Rafaelino, Canal Común de San Joaquín, Canal de La Compañía y Estero Machalí. En la tabla siguiente se detalla qué sistema drena cada zona de la ciudad y cuáles son los cuerpos receptores de las descargas de dichos sistemas.

Tabla N° 5.3
Zonas de Machalí, cursos receptores y sistemas de drenaje

Zonas	Sistema	CURSOS RECEPTORES
Centro Histórico	Canal Cachapoal. Canal Lucano. Canal Rafaelino Estero Machalí	Canal Cachapoal. Canal Lucano. Canal Rafaelino Estero Machalí
Nogales	Canal Cachapoal. Canal Lucano. Canal Rafaelino	Canal Cachapoal. Canal Lucano. Canal Rafaelino
Santa Teresita	Canal de La Compañía Canal Común de San Joaquín	Canal de La Compañía Canal Común de San Joaquín

6. DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS DE EVACUACIÓN Y DRENAJE Y ÁREAS A SANEAR

6.1 Diagnóstico

Para el diagnóstico de los sistemas de evacuación y drenaje se utilizó el programa de simulación SWMM (Visual Hydro de CAICE), para lo cual, con base en lo determinado en los estudios básicos, se identificó y discretizó los sistemas y subsistemas a modelar, se estableció la caracterización hidrológica e hidráulica de éstos, se seleccionó los parámetros que requiere el modelo y se definió y caracterizó las lluvias de diseño para períodos de retorno T=2, 5, 10 y 25 años. Luego, el modelo fue validado, a objeto de comprobar que los resultados que se obtenían eran coherentes entre sí y correspondían a los razonablemente “esperados”, para luego aplicarlo para los escenarios hidrológicos predeterminados, tanto para la situación actual como para la situación futura del uso de los suelos y del desarrollo urbano.

De esta manera se simularon los sistemas de Rancagua y Machalí definidos en el patrón de drenaje y la cuenca del estero La Cadena, de acuerdo a lo que se muestra en el esquema de la Figura N°6.1.

Según las definiciones y supuestos ya especificados, la aplicación del modelo realizada para los diferentes escenarios de simulación descritos permite apreciar la respuesta de los sistemas existentes, tanto en la situación actual de uso de suelo y desarrollo urbano como en la situación futura, a medida que aumenta el período de retorno de la lluvia en 24 horas utilizada para el diagnóstico. Dicha respuesta se evalúa considerando la cantidad de nodos del modelo a través del cual emerge un volumen dado de agua que no es capaz de conducir el sistema.

Los resultados del modelo muestran el déficit de capacidad de los sistemas de aguas lluvias existentes. En Rancagua, la mayoría de los colectores no tiene la capacidad de conducción necesaria para la evacuación de los caudales generados por las lluvias simuladas, situación que se agudiza a medida que aumenta el período de retorno de éstas. Por otra parte, aún cuando las redes tuvieran la capacidad de conducción suficiente, la mayoría de los colectores descargan las aguas a los canales de riego que atraviesan la ciudad, cuya capacidad es absolutamente insuficiente para estos fines, generándose las inundaciones características en las zonas aledañas a sus cauces. Es importante mencionar el caso del paso bajo nivel de la Alameda Bernardo O'Higgins con la línea férrea, el que se anega en cada lluvia ya que a él

confluyen las aguas lluvias de gran parte de la zona centro de la ciudad; existe un colector recién construido destinado a solucionar los problemas de inundación de la Alameda, sin embargo éste corresponde a un colector ciego que no se encuentra aún en operación.

En Machalí el drenaje de aguas lluvias se realiza a través de la red de canales de riego existente y a través del estero Machalí, cuyas capacidades resultan insuficientes, especialmente considerando la situación futura de uso de suelo.

En cuanto a la cuenca, el modelo indica las habituales inundaciones a lo largo del cauce del Estero La Cadena, especialmente en la zona de descarga del Estero Machalí y en la zona aguas abajo de su cruce con la Ruta 5 Sur.

De acuerdo a los resultados del diagnóstico, se concluye que, en general, éstos se ajustan a los antecedentes históricos anteriormente recopilados. En la figura N°6.3 se muestran las zonas de inundación detectadas en el área de estudio.

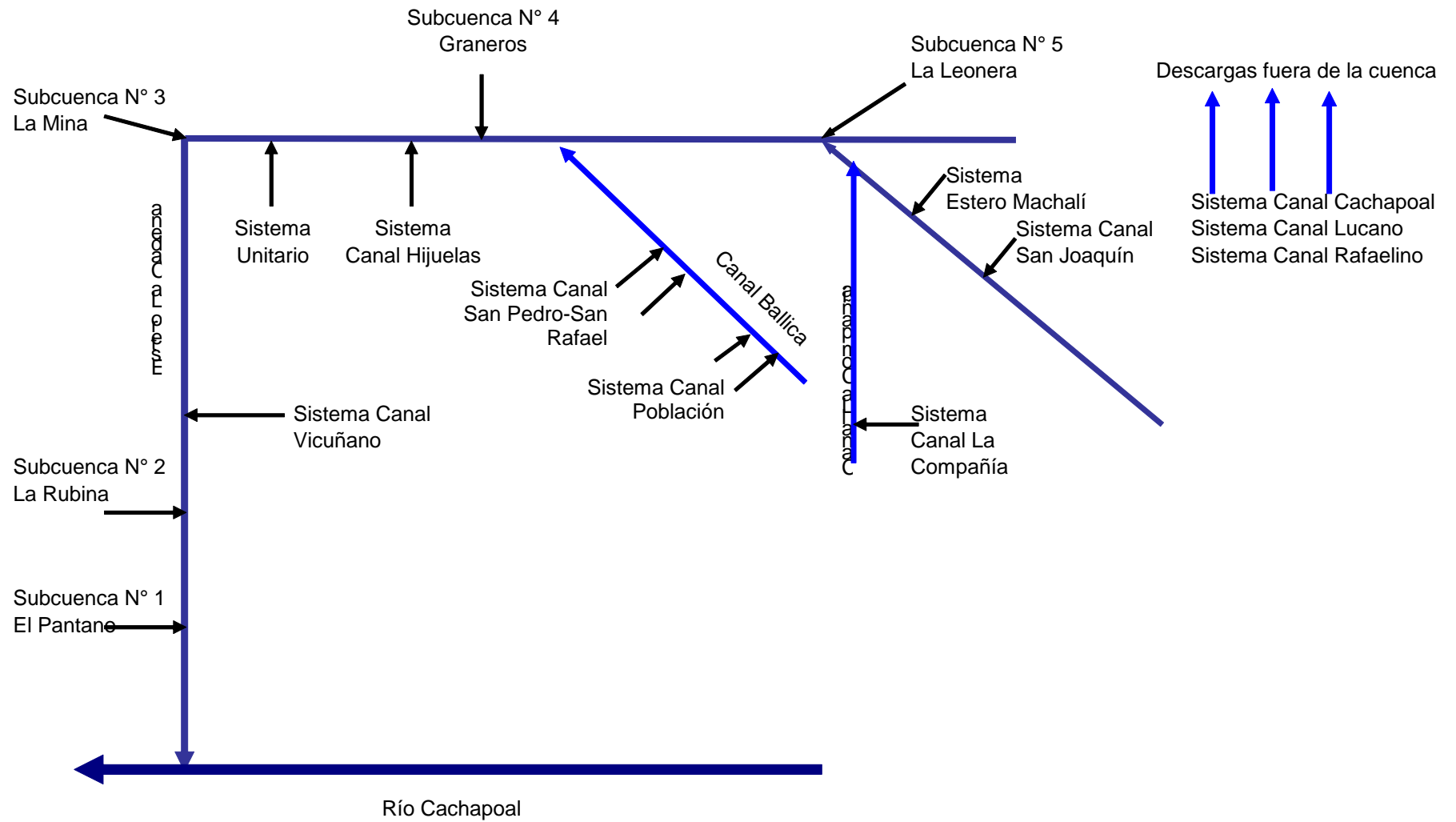
6.2 Áreas a Sanear

Como un paso previo a la proposición de alternativas de solución a la evacuación y drenaje de aguas lluvias de Rancagua y Machalí, en este capítulo se decidió qué áreas deberían ser saneadas y en qué orden de prioridad.

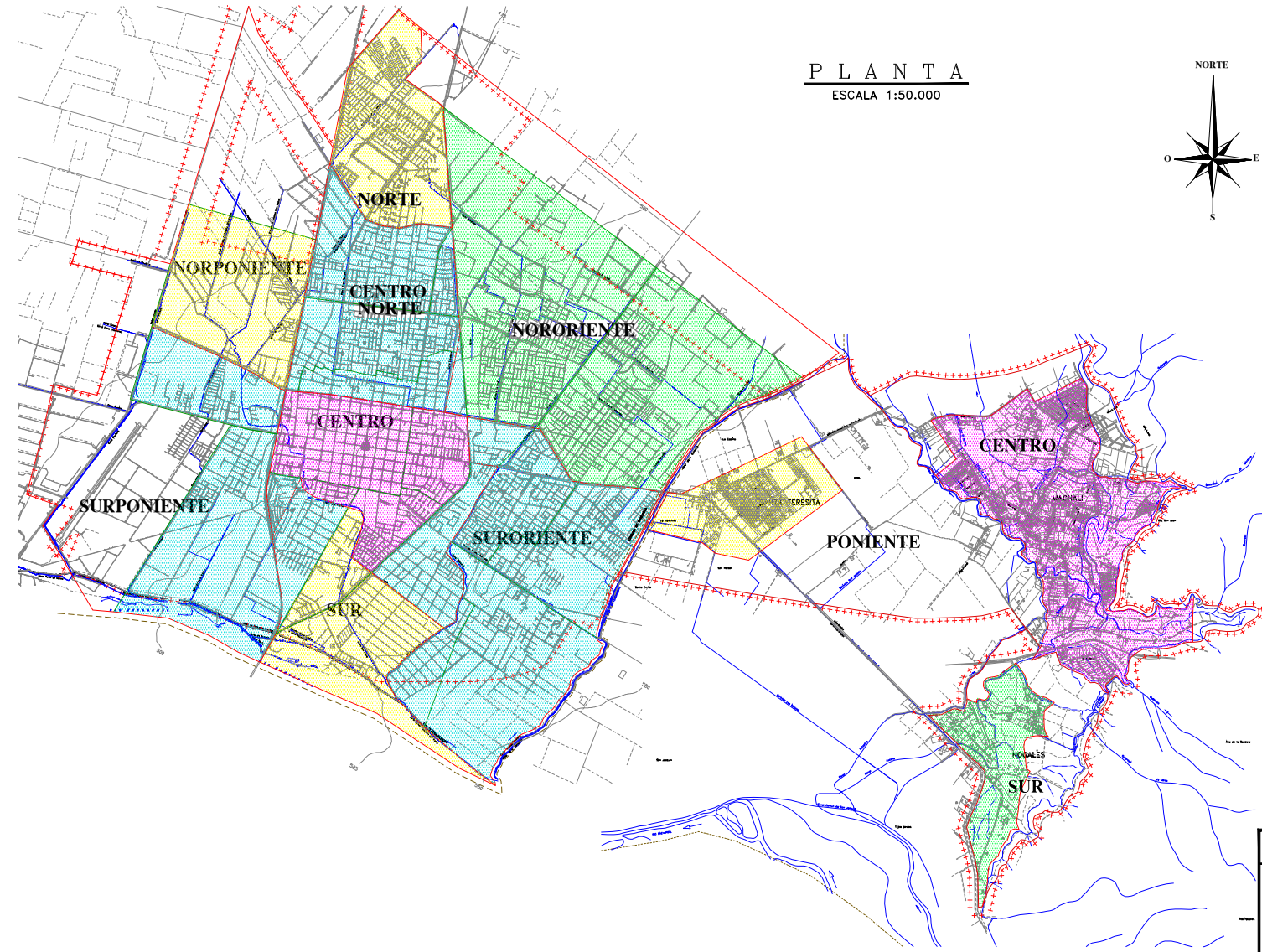
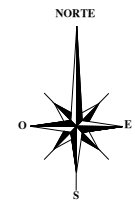
La selección de las áreas a proteger depende de una serie de consideraciones de tipo económico, social y ambiental, que se pueden traducir en la definición de una serie de criterios que las representen de tal manera que éstos reflejen, en conjunto y de la manera más completa posible, la problemática de las aguas lluvias en una zona determinada. La evaluación de estos criterios y variables para cada zona, a través de ciertos indicadores, permitió visualizar con mayor claridad la magnitud y alcances del problema de las inundaciones por aguas lluvias en forma sectorizada. Por otra parte, la definición de las zonas depende de la escala adoptada para realizar la selección de áreas a proteger.

En la Figura N°6.2 se muestra la definición de las zonas en que se dividió el área de estudio, donde fueron evaluados los distintos criterios, con lo cual fue posible visualizar qué áreas debían ser seleccionadas para ser protegidas y cuáles podrían ser atendidas con posterioridad o no ser atendidas. Las conclusiones de este análisis se muestran en la figura mencionada.

Figura N° 6.1 Diagrama unifilar del modelo de diagnóstico



PLANTA
ESCALA 1:50.000



AREAS A PROTEGER EN RANCAGUA


ZONA	ORDEN DE PRIORIDAD
CENTRO	1
CENTRO-NORTE	2
NORORIENTE	3
SUR	4
SURORIENTE	5
SURPONIENTE	6
NORTE	7
NORPONIENTE	8

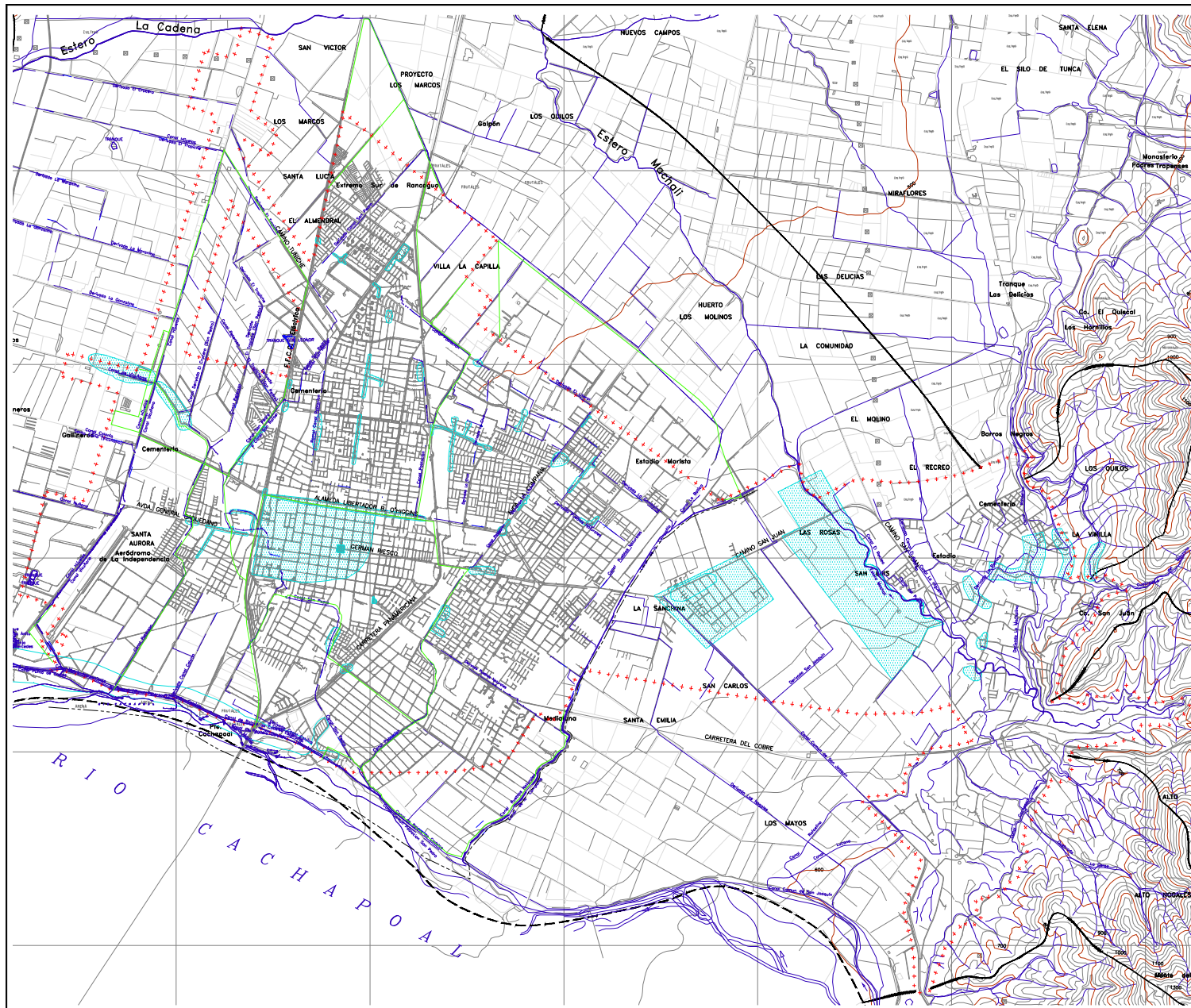
AREAS A PROTEGER EN MACHALI

ZONA	ORDEN DE PRIORIDAD
PONIENTE	1
CENTRO	2
SUR	3

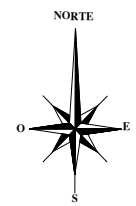
SIMBOLOGIA

- ++++ Limite Extensión Urbana según Plano Regulador Intercomunal Vigente. Actualización año 1995.
- - - Limite Comunal
- Limite de Zona
- Limite de Sub Zona

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS	
PROYECTO: PLAN MAESTRO DE EVACUACION Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS DE RANCAGUA Y MACHALI RESUMEN EJECUTIVO ZONAS Y AREAS A PROTEGER RANCAGUA	
PROYECTADO POR:  INGENIEROS CIVILES CONSULTORES LTDA.	FIGURA N° 6.2



PLANTA
 ESCALA 1:50.000



SIMBOLOGIA

---+---+---+---	Límite Extensión Urbana según Plano Regulador Intercomunal Vigente. Actualización año 1995.
---	Límite de Cuenca
---	Límite de Subcuenca
---	Límite Comunal
---	Límite de Sistema
■	Zona de Inundación

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS	
PROYECTO: PLAN MAESTRO DE EVACUACION Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS DE RANCAGUA Y MACHALI RESUMEN EJECUTIVO ZONAS DE INUNDACIONES	
PROYECTADO POR: IFAPLE INGENIEROS CIVILES CONSULTORES LTDA.	FIGURA N° 6.3

7. SOLUCIONES

7.1 Descripción general de la solución

Con el diagnóstico fue posible detectar las falencias y los requerimientos del sistema de aguas lluvias existente de las ciudades en estudio. Lo anterior obligó a definir diversas alternativas de solución para minimizar las inundaciones generadas por estos caudales.

El área total a sanear en Rancagua se separó en cinco sistemas independientes de drenaje de aguas lluvias: los sistemas denominados Ballica, Chancón y Alameda que descargan al estero La Cadena; el sistema Cachapoal que lo hace al río del mismo nombre y el Sistema Unitario que es evacuado por el emisario de aguas servidas existente que descarga en el estero La Cadena.

La solución al problema de las aguas lluvias de Machalí está estrechamente ligada a los canales que la atraviesan de sur a norte, al Estero Machalí y al canal La Compañía. Como en el caso de Rancagua, los sistemas actuales también se reagruparon en sistemas independientes de drenaje de aguas lluvias: sistema La Compañía que descarga al estero Machalí a través del canal La Compañía; sistema Machalí que descarga al estero Machalí; y los sistemas Rafaelino Norte y Lucano Norte que descargan a los respectivos canales Rafaelino y Lucano.

Cada uno de los sistemas de recolección de aguas lluvias mencionados se divide en una red de colectores y un emisario o interceptor de la red correspondiente, el que conduce y finalmente descarga las aguas lluvias del sistema en un cuerpo receptor determinado.

7.2 Análisis y selección de alternativas

Se realizó un estudio de alternativas con el objetivo de definir, básicamente, el tipo de conducción a adoptar (canal o colector entubado), tanto para las redes de colectores como para los interceptores de cada sistema, y el período de retorno para el cual se diseñan estas obras.

A través de la simulación en SWMM de las alternativas planteadas, se dimensionaron los colectores e interceptores propuestos en cada sistema y se estimó el costo de las inversiones, separadamente para redes de colectores, interceptores y servidumbres.

Las alternativas a seleccionar para cada sistema de Rancagua y Machalí fueron analizadas tanto del punto de vista técnico respecto a su viabilidad constructiva, los impactos ambientales que se generan y los costos de inversión, y desde el punto de vista de la capacidad de las obras proyectadas, expresado por el costo de éstas y el volumen de aguas lluvias evacuado para cada período de retorno considerado.

Realizado este análisis se concluyó que, de acuerdo al criterio de costos de inversión puede establecerse que para todos los sistemas analizados, tanto en Rancagua como Machalí, son claramente recomendables las alternativas que incluyen canales abiertos frente aquellas que consideran colectores subterráneos. Los criterios de viabilidad constructiva por interferencias e impacto ambiental negativo durante la etapa de construcción favorecen también las alternativas con canal. Por otra parte, los criterios de viabilidad constructiva por disponibilidad de espacio, la necesidad de expropiaciones y/o servidumbres e impacto ambiental negativo en la etapa de operación, favorecen a las alternativas que incluyen sólo colectores entubados.

En el caso del sistema Unitario el análisis tanto del criterio de costos de inversión como los impactos ambientales negativos favorece la selección de la alternativa de seguir utilizando parte del sistema Unitario para sanear parte del centro de Rancagua.

Al analizar qué períodos de retorno se recomiendan para el diseño de las obras, se concluye que:

- Para cualquier tipo de alternativa técnica de redes de los sistemas de Rancagua y para los sistemas La Compañía y Machalí, el período de retorno más favorable es T=2 años.
- En el caso de los interceptores, el período de retorno óptimo es variable, dependiendo del tipo de alternativa técnica. Dado lo anterior, al considerar las alternativas de interceptor entubado, es recomendable la alternativa hidrológica para T=5 años, y al considerar la alternativa de canal, es recomendable T=10 años.
- En el caso de los sistemas Rafaelino Norte y Lucano Norte, cuyos costos de inversión corresponden a pago de servidumbres, para ambos sistemas se obtiene que el período de retorno recomendable es T=10 años.

De acuerdo a lo anterior, en la tabla siguiente se presentan las alternativas seleccionadas y los períodos de retorno recomendados para el diseño de las obras.

Tabla N° 7.1
Alternativas seleccionadas

Localidad	Sistema		T (años)
Rancagua	Ballica	Red de colectores entubados	2
		Interceptor canal	10
	Chancón	Red de colectores entubados	2
		Interceptor canal	10
	Alameda	Red de colectores entubados	2
		Interceptor canal	10
Unitario	Red de colectores entubados	2	
Cachapoal	Red de colectores entubados	2	
Machalí	La Compañía	Red de colectores entubados y canal	2
		Interceptor Canal La Compañía	5
	Machalí	Red de colectores entubados y canal	2
		Interceptor Estero Machalí	5
	Rafaelino Norte	Interceptor Canal Rafaelino Norte	10
Lucano Norte	Interceptor Canal Lucano Norte	10	

7.3 Desarrollo y Viabilidad de la Solución Propuesta

Las alternativas de solución seleccionadas para el drenaje y evacuación de aguas lluvias de Rancagua y Machalí, fueron desarrolladas a fin de probar su factibilidad técnica y legal. Para esto se verificó la viabilidad técnica de sus trazados en terreno y la viabilidad legal de aquellos colectores cuyo trazado pasa por propiedades privadas y se volvió a simular los sistemas propuestos para los períodos de retorno de diseño recomendados, realizando las modificaciones pertinentes y verificando su dimensionamiento.

En la Tabla N°7.1 se muestra el área aportante por sistema y se resume las características generales de cada uno de ellos.

7.4 Costos de Inversión de la Solución Propuesta

En la Tabla N°7.3 se muestra un resumen de los costos de inversión en Rancagua y Machalí, incluyéndose el costo del mejoramiento del estero La Cadena que deriva del estudio “Fijación de Deslindes Estero La cadena, Comunas de Rancagua y Graneros, VI Región” (D.O.H., 1999), cuyas obras se realizan para un período de retorno $T=15$ años, y también el costo de la red de aguas lluvias compuesta por colectores de diámetro $D < 500$ mm correspondiente a aquellas redes de diámetro menor a las diseñadas en este estudio, pero necesarias para el funcionamiento integral del sistema de drenaje de aguas lluvias del área de estudio.

Tabla N° 7.2
Características generales de la solución propuesta

Sistema	A (há)	Longitud de las conducciones (m)																					
		Tipo de conducción	Sección circular, D(mm)																Sección trapecial				
			500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	b (m)	h (m)	t	L (m)	
Rancagua																							
Ballica	1697	Red	PE	1160	3785	4275	3985	3735	3630	2640	1570	945	2655	580	1075					2,0	2,5	1/2	660
		Interceptor	CT																	2,2	3,0	1/2	4855
Chancón	821	Red	PE	1170	2295	1840	1055	1259	1207	3142	792												
			CT																	2,6	1,4	0	2372
		Interceptor	PE											1500		500				720			
			CT																	2,0	3,2	1/2	2800
Alameda	1585	Red	PE	4575	3912	4723	3836	3280	1930	2555	1764	285	1587	1652									
		Interceptor	PE																1498	232			
			CT																	3,4	3,2	1/2	7025
Cachapoal	244	Red	PE	790	1931	1247	324		347	2435													
Machalí																							
La Compañía	1920	Red	PE					370	470	440	200							200					
			CT																	1,2	1,3	1/2	2980
			CT																	0,9	0,8	0	790
		Interceptor	CT																	5,8	1,6	1/2	4156
Machalí	4794	Red	PE			640	2012	594	120														
			CT																	0,6	0,7	0	2963

PE: polietileno de alta densidad

CT: canal de tierra

D: diámetro

b: base

h: altura media

t: talud (H/V)

Tabla N° 7-3
Resumen de costos de inversión solución propuesta Rancagua y Machalí

Ciudad	Sistema	Costos de Inversión (miles \$) ¹		
		Red + Interceptor	Servidumbres	Total
Rancagua	Ballica	10.401.624	136.593	10.538.218
	Chancón	5.222.986	101.302	5.324.288
	Alameda	11.696.267	189.661	11.885.927
	Cachapoal	1.670.994	-	1.670.994
	Unitario	-	28.000	28.000
	Red D < 500 mm	7.720.000	-	7.720.000
	Total Rancagua	36.711.871	455.556	37.674.427
Machalí	La Compañía	524.241	82.689	606.930
	Machalí	749.158	-	749.158
	Rafaelino Norte	-	78.456	78.456
	Lucano Norte	-	89.962	89.962
	Red D < 500 mm	360.000	-	360.000
	Total Machalí	1.633.399	251.107	1.884.506
Subtotal (Rancagua + Machalí)		38.345.270	706.663	39.051.933
Mejoramiento Estero La Cadena			1.181.965	
TOTAL			40.233.898	

(1) Costos no incluyen IVA, en pesos de marzo de 2000, IPC Base=103.81.

8. ASPECTOS AMBIENTALES

8.1 Erosión y deforestación de la cuenca

De acuerdo con lo establecido en el Artículo 6° de la Ley N°19.525 sobre Regulación de los Sistemas de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias, se considera que el efecto del Plan sobre la cuenca hidrográfica, respecto al tema de erosión se desarrollaría en el curso medio de los cauces naturales receptores de las aguas lluvias, ya que la implementación de las obras propuestas causaría la incorporación concentrada de caudal a los cauces naturales provocando una erosión progresiva del lecho.

Este impacto negativo será relevante en el tramo donde descargan los emisarios de los sistemas Ballica, Chancón y Alameda. En efecto, el estero La Cadena presenta actualmente problemas de capacidad en dichos tramos por lo que la incorporación de mayor caudal causará erosión en el lecho e inundación de los terrenos aledaños. Este impacto no sería permanente ya que sólo ocurriría en los episodios de grandes lluvias. Los problemas de capacidad se podrían remediar aumentando la sección del estero en los tramos conflictivos y realizando un buen mantenimiento y limpieza de su cauce (Estudio "Fijación de deslindes Estero La Cadena, Comunas de Rancagua y Graneros, VI Región", Dirección de Vialidad, Departamento de Obras Fluviales, MOP, 1999).

Con respecto a la erosión provocada por la lluvia, que generalmente se desarrolla con mayor fuerza en la parte alta de la cuenca por existir mayor pendiente, se considera que el presente Plan Maestro no influirá en el aumento de estos procesos ya que la implementación de las obras se desarrollará en zonas reducidas de la parte baja de la cuenca. Finalmente, se considera que el presente Plan Maestro no afectará la cubierta vegetal de la cuenca y no se

producirá un crecimiento futuro de los caudales de aguas lluvias ya que no existe un programa de reforestación en el que se esté interviniendo.

8.2 Análisis de impacto ambiental

Ya que las obras proyectadas dentro de este Plan Maestro no generarán ninguno de los efectos que podrían ameritar un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), luego se espera que sólo se requerirá la presentación de una DIA, sin embargo deberá analizarse cada proyecto en particular, una vez que éstos se encuentren a nivel de ingeniería de detalle, para concluir si es necesario una EIA o una DIA.

El área de influencia está determinada por el área de estudio (zona delimitada por las áreas urbanas más los cursos naturales receptores de las aguas lluvias, estos son los esteros La Cadena, Machalí además del río Cachapoal ya que, para efectos de este análisis de impacto ambiental, se considera que dicha área es la que recibirá fundamentalmente los impactos positivos y negativos debido a la implementación del Plan.

Existirán efectos ambientales derivados de las actividades propias de las etapas de construcción, operación y abandono de la solución propuesta. Entre los efectos más importantes se visualizan los siguientes:

Tabla N° 8.1
Impactos ambientales más importantes

Etapa	Actividad	Descripción del Impacto
Construcción	Excavaciones y operación de maquinarias y equipos	<u>Efectos negativos:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Compactación y sedimentación del terreno y potenciales riesgos por inestabilidad de taludes • Emisión de polvo • Generación de ruido • Incidencia en el tránsito y aumento del riesgo de accidentes • Generación de residuos sólidos por destrucción de pavimentos y obras existentes, como también por excedentes de las excavaciones • Alteración del paisaje urbano y rural.
Operación	Operación de las obras durante lluvias	<u>Efectos positivos:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor fluidez del tránsito durante las lluvias • .Mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes

9. PRIORIZACIÓN DE SOLUCIONES

Como ya se mencionó, la solución propuesta para el drenaje de las aguas lluvias de Rancagua y Machalí separa el área de estudio en sistemas independientes entre sí (Ballica, Chancón, Alameda, Cachapoal y Sistema Unitario en Rancagua; La Compañía, Machalí, Rafaelino Norte y Lucano Norte en Machalí) que evacuarían las aguas lluvias de las distintas áreas a sanear y que, a su vez, contienen las zonas de inundación detectadas dentro de la zona urbana en estudio.

Corresponde ahora realizar una evaluación económica que permita comparar, a través de la generación de ciertos indicadores, los grupos de proyectos independientes por sistema y área a sanear.

La metodología empleada para la estimación de beneficios correspondió a la del Daño Evitado Esperado, la que ha sido ampliamente utilizada en este tipo de proyectos. La aplicación de esta metodología de cuantificación de beneficios se realizó de manera aproximada, acorde a los alcances del Plan Maestro y a la información disponible. Así, para cada grupo de proyectos se calculó un VAN para una tasa de descuento del 12% y un período de análisis de 30 años.

Cabe destacar que la evaluación se realizó sobre soluciones que se emplazan en áreas urbanas actuales, debido a que no se pueden estimar los daños evitados en áreas de expansión urbana.

El conjunto de obras proyectadas para dar solución a los problemas generados por las aguas lluvias en Rancagua y Machalí deben ser priorizadas en función de los antecedentes evaluados. Dicha priorización se realiza considerando, en primer lugar, los resultados de la evaluación económica para cada sistema y, en segundo lugar, las variables económico-técnico-ambientales que determinaron la prioridad de las áreas a sanear. De esta manera, se tiene la priorización general de obras que se muestra en la tabla siguiente.

Tabla N° 9.1
Resultados de la evaluación económica ¹

Sistema	Beneficio anual esperado (miles \$/año)	Costos (miles \$)		VAN (miles \$)
		Inversión	Operación y mantenimiento	
Ballica	535.480	10.538.218	158.073	- 9.042.838
Chancón	197.393	5.324.288	79.864	- 4.734.837
Alameda + Unitario	2.710.045	11.913.927	178.709	+ 1.307.025
Cachapoal	461	1.670.994	25.065	- 1.734.847
La Compañía	10.814	606.930	9.104	- 544.266
Machalí	33.272	749.157	11.237	- 628.780
Rafaelino Norte	14.363	78.456	1.177	+ 34.081
Lucano Norte	3.749	89.962	1.349	- 63.387

(1) Costos no incluyen IVA, en pesos de marzo de 2000, IPC Base=103.81.

Tabla N° 9.2
Priorización general de sistemas

Nivel de prioridad	Ciudad	Sistema	Costo de Inversión (miles \$)
Alta	Rancagua	Alameda + Unitario	11.913.927
Alta	Rancagua	Chancón	5.324.288
Media	Rancagua	Ballica	10.538.218
Baja	Rancagua	Cachapoal	1.670.994
Alta	Machalí	Rafaelino Norte	78.456
Media	Machalí	Lucano Norte	89.962
Baja	Machalí	La Compañía	606.930
Baja	Machalí	Machalí	749.157

10. DEFINICIÓN DE LA RED PRIMARIA

Basado en lo establecido en la Ley N°19.525 y considerando factores de diseño y construcción, mantenimiento y operación de las redes, como también su efectividad, se propone que red primaria para el Plan Maestro de Aguas Lluvias de Rancagua esté constituida por:

- Los esteros La Cadena y Machalí.
- Todo colector que sea definido como emisario o interceptor de las aguas lluvias de un sistema.
- Todo colector, existente o proyectado, cuyo diámetro sea mayor o igual a 800 mm.
- Todo canal abierto que descargue a un colector entubado de la red primaria
- Colectores del Sistema Unitario que reciban aportes de aguas lluvias; estos son: colectores Libertador Bernardo O'Higgins 1, Libertador Bernardo O'Higgins 2, Astorga, San Martín, Santa María, Viña del Mar y Brasil.

Cualquier colector o canal que no corresponda con la anterior definición formará parte de la red complementaria.

De acuerdo a lo anterior definición en las Tablas N°10.1 y 10.2 se muestra los costos de inversión y de operación de la Red Primaria. Adicionalmente a lo expuesto en las tablas mencionadas, se debe considerar el costo del mejoramiento del Estero La Cadena, el que se asciende aproximadamente a 1.185.965 (miles \$)¹.

¹ Costos no incluye IVA,, en pesos de marzo de 2000, IPC Base=103.81

Tabla N° 10-1
Resumen de costos de inversión y costos de operación Red Primaria de Rancagua

Sistema	Colector / Canal	Costo Inversión (miles \$)¹	Costo operación y mantención (miles \$/año)¹	
Ballica, Chancón y Alameda	Estero La Cadena	1.182.000	17.730	
Ballica	Interceptor Ballica (IB-1-0)	1.197.783	17.968	
	Viña del Mar (IB-1-1)	213.435	3.201	
	Los Fresnos (IB-1-2)	90.402	1.356	
	San Pedro (IB-1-3)	553.591	8.304	
	Recreo-Kennedy (IB-1-4)	388.350	5.825	
	Panamericana (IB-1-5)	1.006.844	15.103	
	Illanes 2 (IB-1-7)	58.716	881	
	Kennedy-Ruta 5 (IB-1-8)	315.059	4.726	
	Los Quilos (IB-1-9)	1.367.214	20.508	
	El Litoral (IB-1-11)	61.753	926	
	Parra (IB-1-12)	2.514.259	37.714	
	Michimalongo (IB-1-13)	167.728	2.516	
	El Sol (IB-1-14)	239.157	3.587	
	Est. Marista (IB-1-15)	209.300	3.140	
	Villalobos (IB-1-17)	28.678	430	
	Población (IB-1-18)	327.449	4.912	
	Servidumbres	136.593	-	
	Total Sistema Ballica	10.058.311	148.825	
	Chancón	Interceptor Chancón (Ich-1-0)	1.931.967	28.980
Circunvalación 1 (Ich-1-1)		573.287	8.599	
Recreo 2 (Ich-1-2)		163.135	2.447	
Kennedy (Ich-1-4)		170.909	2.564	
Los Alpes 2 (Ich-1-5)		33.098	496	
Kennedy 4 (Ich-1-6)		658.298	9.874	
Grecia (Ich-1-7)		132.428	1.986	
Hijuelas 1 (Ich-1-9)		37.852	568	
Deriv. Trapiche (Ich-1-10)		357.259	5.359	
Trapiche 1 (Ich-1-12)		79.765	1.196	
Illanes 1 (RS-15-01)		-	2.138	
Recreo 1 (RS-16-01)		-	2.344	
CP		-	1.793	
Av. España 1 (RS-19-01)		-	690	
Canal Hijuelas		-	1.088	
Servidumbres		101.302	-	
Total Sistema Chancón		4.239.300	70.123	
Alameda		Interceptor Alameda (IA-1-0)	2.402.833	36.042
		Millán 2 (IA-1-1)	2.983.209	44.748
	Los Mayos (IA-1-3)	40.175	603	
	Frei (IA-1-4)	337.284	5.059	
	Almarza (IA-1-6)	474.925	7.124	
	P. Hurtado (IA-1-10)	116.572	1.749	
	Hoffman (IA-1-12)	299.595	4.494	
	Brasil (IA-1-15)	103.253	1.549	
	Alameda (IA-1-16)	280.645	4.210	
	Hijuelas 2 (IA-1-20)	9.496	142	
	Vecinal (IA-1-21)	567.888	8.518	
	Sta. Filomena (IA-1-24)	55.012	825	
	Sta. Silvia (IA-1-25)	55.768	837	
	Trapiche 2 (IA-2-1)	71.767	1.077	

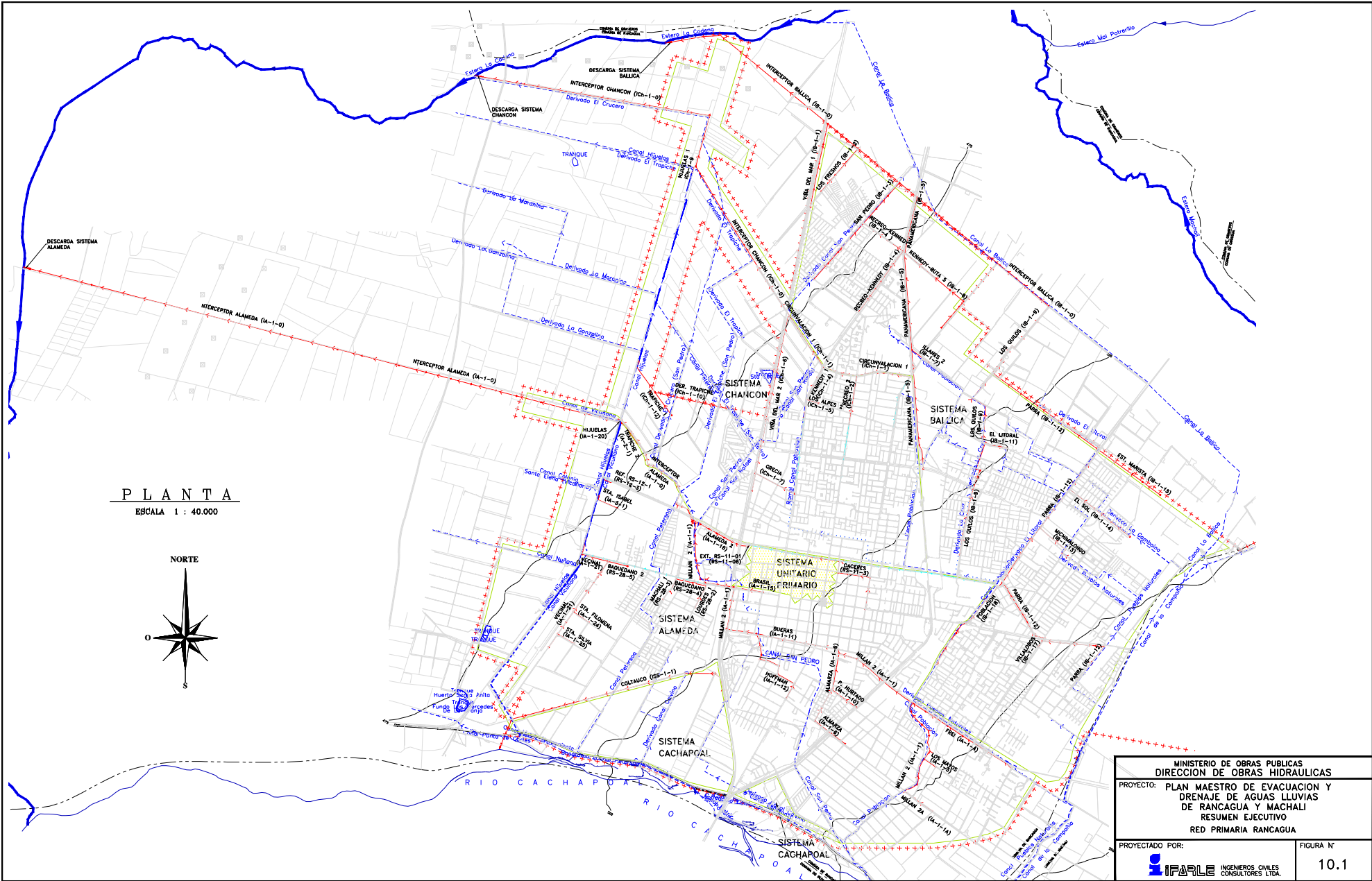
Sistema	Colector / Canal	Costo Inversión (miles \$) ¹	Costo operación y mantención (miles \$/año) ¹
	Sta. Isabel (IA-3-1)	56.460	847
	Cáceres (RS-11-3)	357.185	5.358
	Ext. Alameda Lib. Bdo. O'Higgins (RS-11-6)	146.395	2.196
	Ref. Bdo. O'Higgins (RS-12-3)	33.495	502
	Lourdes 1 (RS-28-2)	75.271	1.129
	Machalí 1 (RS-28-3)	85.666	1.285
	Ref. Baquedano (RS-28-4)	87.754	1.316
	Baquedano 2 (RS-28-5)	58.831	882
	Alameda I (RS-11-01)	-	18.361
	Canal Hijuelas	-	686
	Baquedano 1 (RS-28-01)	-	5.268
	Canal Vicuñano	-	2.941
	Servidumbres	189.661	-
	Total Sistema Alameda	8.889.130	157.748
Cachapoal	Coltauco (ISS-1-1)	896.259	13.444
Unitario	Lib. Bdo. O'Higgins 1 y 2 (RU-01-01 y RU-01-05), Astorga (RU-01-06), San Martín (RU-01-07), Sta. María (RU-01-08) y Viña del Mar (RU-01-09)	-	420
	Servidumbres	28.000	-
	Total Sistema Unitario	28.000	420
TOTAL RED PRIMARIA RANCAGUA		25.293.000	250.542

(1) Costos no incluyen IVA, en pesos de marzo de 2000, IPC Base=103.81.

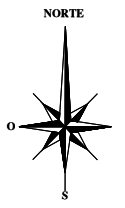
Tabla N° 10-2
Resumen de costos de inversión Red Primaria de Machalí

Sistema	Colector / Canal	Costo Inversión (miles \$) ¹	Costo operación y mantención (miles \$/año) ¹
La Compañía	Mejoram. canal La Compañía (LC-1-0)	44.770	672
	La Sanchina (LC-1-1)	201.338	3.020
	Deriv. San Joaquín (LC-1-2)	67.631	1.014
	Sewell (LC-1-8)	191.846	2.878
	Servidumbres	82.689	-
	Total Sistema La Compañía	588.274	7.584
Machalí	Canal Lucano	-	4.041
	Canal Rafaelino	-	2.359
	Huáscar (MA-1-3)	147.344	2.210
	A. Prat (MA-1-5)	434.831	6.522
	Int. Fundo (MA-1-6)	30.875	463
	Total Sistema Machalí	613.050	15.595
Rafaelino Norte	Canal Rafaelino (RA-1-0)	-	1.177
	Servidumbres	78.456	-
	Total Sistema Rafaelino Norte	78.456	1.177
Lucano Norte	Canal Lucano (LU-1-0)	-	675
	Canal Cachapoal	-	674
	Servidumbres	89.962	-
	Total Sistema Lucano Norte	89.962	1.349
TOTAL RED PRIMARIA MACHALÍ		1.369.742	25.705

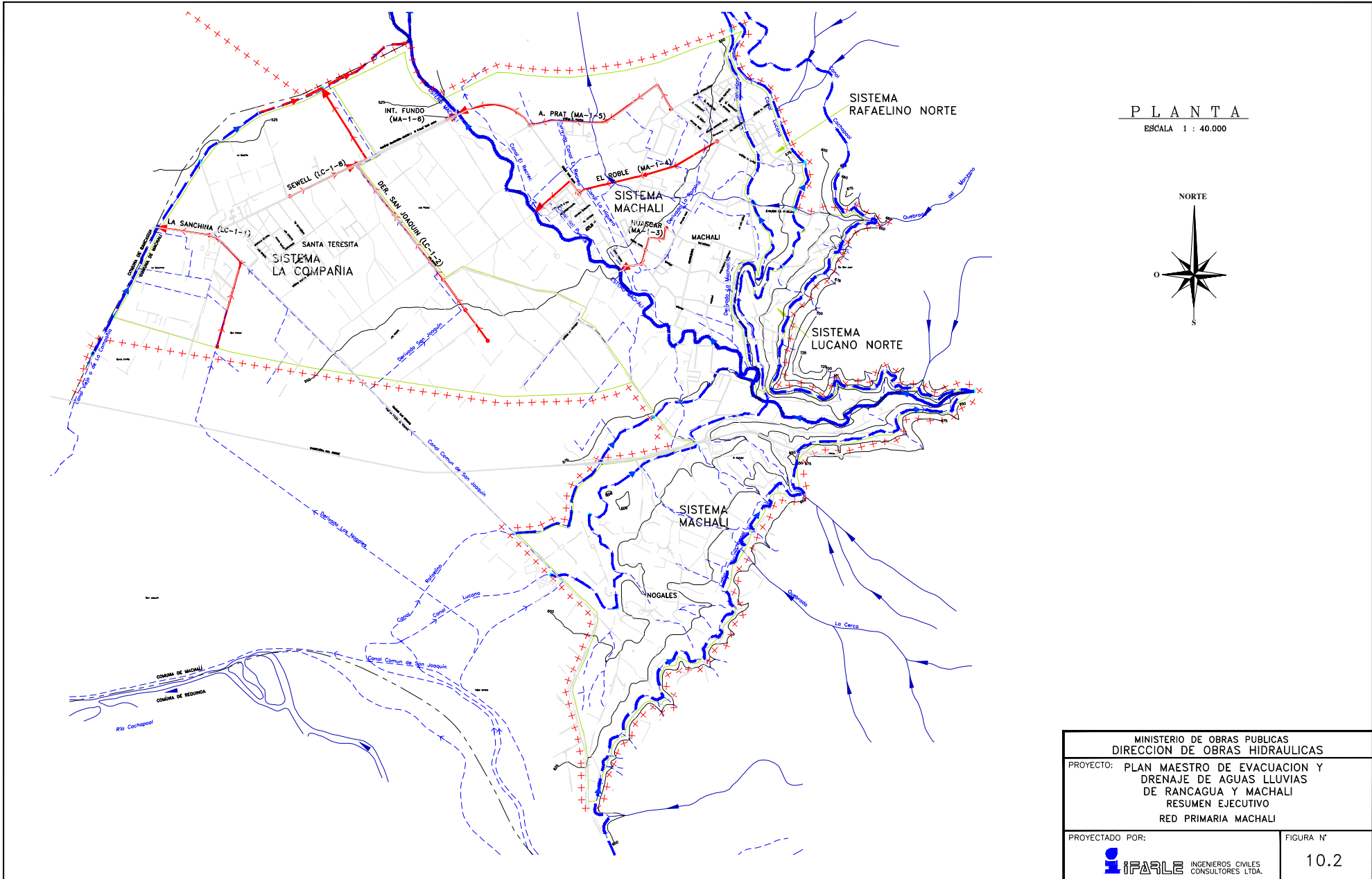
(1) Costos no incluyen IVA, en pesos de marzo de 2000, IPC Base=103.81.



PLANTA
ESCALA 1 : 40.000




MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS	
PROYECTO: PLAN MAESTRO DE EVACUACION Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS DE RANCAGUA Y MACHALI RESUMEN EJECUTIVO RED PRIMARIA RANCAGUA	
PROYECTADO POR: 	FIGURA N° 10.1



PLANTA
 ESCALA 1 : 40.000



MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS	
PROYECTO: PLAN MAESTRO DE EVACUACION Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS DE RANCAGUA Y MACHALI RESUMEN EJECUTIVO RED PRIMARIA MACHALI	
PROYECTADO POR:  IPARLE INGENIEROS CIVILES CONSULTORES LTDA.	FIGURA N° 10.2

11. **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

De acuerdo a los objetivos específicos del Estudio planteados, se realizan los siguientes comentarios:

Antecedentes y Diagnóstico

- De acuerdo a los antecedentes históricos como a la información derivada de la simulación de la situación de infraestructura actual, para los escenarios de uso de suelos tanto actual como futuro, se concluye que las ciudades de Rancagua y Machalí presentan problemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias.
- En el caso de Rancagua, los problemas de inundación que se ha podido observar en años pasados en la ciudad y que fueron verificados a través del modelo de simulación, son el resultado de una combinación de fenómenos climáticos, hidrológicos, morfológicos y de uso del suelo.
- El aumento de las zonas urbanizadas se ha traducido en un aumento de la escorrentía superficial sin que se haya ajustado la capacidad de porteo de los colectores de aguas lluvias, de los canales de riego utilizados en la evacuación de las aguas lluvias ni de los cauces receptores finales (esteros La Cadena y Machalí como cauces principales y el río Cachapoal en forma muy secundaria).
- Existe una relación entre el comportamiento de los canales y de los colectores de aguas lluvias existentes ya que las aguas de las inundaciones corresponden a una mezcla de aguas rebasadas desde los canales y de aguas no drenadas provenientes de colectores que no se encuentran funcionando adecuadamente, o bien directamente de la precipitación, en aquellas zonas en las que no existe red
- En Rancagua, el sistema de drenaje existente, colectores y canales, que descarga directamente al estero La Cadena se ha ido desarrollando sin planificación alguna, por lo tanto, se puede decir que el sistema requiere de la definición de obras de mejoramiento inmediatas y una planificación integral de su desarrollo que el presente Plan Maestro le otorga.
- En el caso de Machalí, actualmente no cuenta con una red de colectores de aguas lluvias y, aunque sí cuenta con una amplia red de canales de regadío que, en la práctica, operan como sistema de drenaje de aguas lluvias, se producen frecuentemente problemas de inundaciones.
- De esta manera, las principales deficiencias en Machalí van asociadas a un desarrollo inorgánico de obras de canalización, intervención de las quebradas o cauces que fueron ejecutadas por distintos actores y en distintas épocas al irse extendiendo la zona urbana, invadiendo las cajas de las quebradas, para un mejor aprovechamiento de los sitios aledaños. A lo anterior se agrega el mal manejo de los cauces, cuyos lechos abiertos son utilizados como botaderos de escombros y basuras.

Selección de Áreas a Sanear

- Al evaluar una serie de criterios técnicos, económicos y ambientales, se estableció que áreas de Rancagua y Machalí deben ser saneadas y qué prioridad tiene cada área respecto de las demás para que se lleven a cabo las obras correspondientes para el saneamiento de dicha área.
- Las áreas a sanear en Rancagua, en orden de prioridad son las siguientes: Centro, Centronorte, Nororiente, Sur, Suroriente, Surponiente y Norte.
- En el caso de Machalí, las áreas a sanear son, en orden de prioridad: Centro y Poniente, y Sur.

Solución Propuesta

- En el caso específico de Rancagua, los sistemas actuales se reagruparon en cuatro sistemas independientes de drenaje de aguas lluvias, los que son, de norte a sur: Sistema Ballica, Sistema Chancón, Sistema Alameda y Sistema Cachapoal.
- La solución propuesta para los sistemas de Rancagua incluyen obras tales como canales interceptores, redes de colectores entubados y mejoramiento de canales existentes.
- En Machalí la solución considera cuatro sistemas con descargas independientes de aguas lluvias; de poniente a oriente estos son: Sistema La Compañía, Sistema Machalí, Sistema Rafaelino Norte y Sistema Lucano Norte.
- La solución al problema de las aguas lluvias de Machalí está estrechamente ligada a los canales que la atraviesan de sur a norte y al Estero Machalí, los que cumplen la función de interceptores de las aguas lluvias. Las obras consideradas en esta solución corresponden a una red de colectores, tanto entubados como canales de tierra y el mejoramiento de canales existentes.
- Para ambas ciudades se dimensionaron las obras que solucionan las deficiencias de los sistemas actuales, a través de la simulación de éstos para los escenarios hidrológicos seleccionados que se traducen en períodos de retorno de diseño. Aunque estos períodos de retorno varían para cada sistema, en general se tiene que éstos corresponden a 2 años para las redes de colectores, y a 5 años para los interceptores de cada sistema.
- En cualquier caso, las alternativas que permiten la construcción de canales, ya sea como interceptor de un sistema o como parte de la red de colectores, presentan ventajas respecto de las que consideran sólo colectores entubados, especialmente desde el punto de vista de los costos de inversión de las obras evaluadas.
- Respecto de los costos, la solución propuesta tiene un costo de \$ 32.086.393.000 para Rancagua y de \$ 1.588.811.000 para Machalí, en pesos de marzo de 2000.

Evaluación Económica y Priorización de Obras

- Los resultados de la evaluación económica reflejan que los VAN más favorables se obtienen para aquellos sistemas donde se producen las inundaciones más importantes (Sistema Alameda-Unitario), o bien en aquellos donde la inversión es menor, lo que es particularmente relevante en el sistema Rafaelino Norte de la ciudad de Machalí.
- Es importante destacar que la evaluación económica llevada a cabo tuvo por objetivo permitir la priorización de las distintas obras propuestas como solución de cada sistema, a través de la comparación de los proyectos basada, en primer término, en la evaluación de daños evitados como metodología de evaluación económica y, en segundo término, en la evaluación de varios criterios técnico-económico-ambiental con que se priorizaron las áreas a sanear.

Definición de la Red Primaria

- Con el fin de delimitar responsabilidades institucionales tanto de proyecto, construcción y operación de los sistemas evacuación y drenaje de aguas lluvias de Rancagua y Machalí, se definió qué obras, de las propuestas en este Plan Maestro, forman parte de la Red Primaria.
- De acuerdo a los criterios establecidos en este Plan para la definición de Red Primaria, se obtuvo que los costos totales de inversión de ésta son aproximadamente el doble de los estimados para la Red Complementaria, debido a que la Red Primaria está formada por colectores y canalizaciones de mayores dimensiones.

Recomendaciones

Con el fin de que las obras y medidas propuestas en este Plan conlleven al éxito de la implementación del mismo, se realizan las siguientes recomendaciones:

- El curso receptor directo de las aguas lluvias de Rancagua y Machalí es el estero La Cadena. Sin embargo, este estero tiene serios problemas de capacidad, siendo necesaria su ampliación y mejoramiento para que pueda operar de manera óptima durante las crecidas ocasionadas por las lluvias. Este punto ha sido analizado en el estudio “Fijación de Deslindes Estero La Cadena, Comunas de Rancagua y Graneros, VI Región” (D.O.H., 1999), por lo tanto se recomienda ejecutar las obras y medidas no estructurales que allí se detallan, con el fin de obtener resultados óptimos con la solución integral de este Plan Maestro y, de esta manera, evitar las frecuentes inundaciones en campos aledaños al curso del estero.
- El Plan considera continuar utilizando algunos canales de regadío, o secciones de éstos, para la evacuación de las aguas lluvias de Rancagua y Machalí. Por este motivo, se recomienda que la(s) institución(es) responsable(s) de los sistemas de aguas lluvias establezcan los contactos pertinentes con las asociaciones de canalistas involucradas y actúen coordinadamente en función de la óptima operación de las obras.

- Análogamente, es necesario realizar un esfuerzo de coordinación con ESSEL S.A., la que opera el sistema de alcantarillado unitario del centro de Rancagua, para que éste funcione de la manera planificada una vez se hayan realizado las obras propuestas para conseguir este objetivo.