

COMISION NACIONAL DE RIEGO
SECRETARIA EJECUTIVA
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS

P R O Y E C T O M A I P O
ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDROGEOLOGICO
RESUMEN Y CONCLUSIONES

I N D I C E

Pág. N°

1	INTRODUCCION	1
2	EQUIPO PROFESIONAL PARTICIPANTE	4
3	RESUMEN Y CONCLUSIONES	6
3.1	Precipitaciones	6
3.1.1	Antecedentes Pluviométricos	7
3.1.2	Metodología	10
3.1.3	Análisis, Corrección y Ampliación de las Estadísticas	11
3.1.4	Conclusiones y Recomendaciones	13
3.2	Escorrentía Superficial	16
3.2.1	Antecedentes Fluviométricos	17
3.2.2	Metodología	19
3.2.3	Análisis de los Resultados	21
3.2.4	Análisis y Caracterización del Régimen Hídrico	23
3.2.5	Análisis de la Distribución Espacial del Caudal	25
3.2.6	Duración General de los Caudales Medios Clasi- ficados	29
3.2.7	Estudio de Crecidas	29
3.2.8	Conclusiones y Recomendaciones	30
3.3	Aguas Subterráneas	33
3.3.1	Geología y Geomorfología	33
3.3.2	Captaciones Existentes y Explotación de Aguas Subterráneas	36
3.3.3	Conclusiones y Recomendaciones	48
3.4	Calidad de las Aguas	65
3.4.1	Antecedentes Disponibles	65
3.4.2	Metodología	66
3.4.3	Conclusiones y Recomendaciones	67
3.5	Sedimentación	75
3.5.1	Antecedentes Sedimentométricos	75
3.5.2	Metodología	76

3.5.3	Conclusiones y Recomendaciones	77
3.6	Modelo Hidrogeológico	81
3.6.1	Antecedentes Utilizados	82
3.6.2	Metodología	83
3.6.3	Conclusiones y Recomendaciones	85
3.6.3.1	Area Maipo-Mapocho	85
3.6.3.2	Area Chacabuco-Polpaico	89
3.6.3.3	Area Casablanca	91
3.7	Estudio de Pérdidas y Recuperaciones	95
3.7.1	Antecedentes Disponibles	96
3.7.2	Metodología	96
3.7.3	Conclusiones y Recomendaciones	97
3.8	Modelo de Simulación del Sistema de Recursos Hidráulicos	100
3.8.1	Antecedentes Utilizados	100
3.8.2	Metodología	101
3.8.3	Conclusiones y Recomendaciones	104
ANEXO:	INDICE GENERAL DEL ESTUDIO	

1.- INTRODUCCION

La Comisión Nacional de Riego está realizando desde 1979 una serie de estudios básicos que sirvan de sustentamiento para la futura realización del estudio de factibilidad técnico-económica denominado "Estudio Integral de Riego - Proyecto Maipo". Entre las materias más importantes que se deben analizar con este objetivo se encuentran las relacionadas con topografía, suelos, agroclima, rol de regantes y evaluación de los recursos hidrológicos e hidrogeológicos.

El presente trabajo tiene por objeto la evaluación de los recursos de agua tanto superficiales como subterráneos. Para su realización se han estudiado en forma simultánea los recursos básicos hidrológicos e hidrogeológicos del área del Proyecto Maipo.

El área del estudio aparece indicada de color verde en el Plano General que se incluye al final del texto. Comprende la hoya del río Maipo propiamente tal y sus principales afluentes el río Mapocho y los esteros Angostura y Puangue, además de los valles vecinos de Casablanca, Yali y Alhué.

También se han incluido en el estudio los interfluvios costeros comprendidos entre el estero Casablanca y el río Rapel.

En relación con los estudios hidrológicos se recopilaron todos los antecedentes pluviométricos y fluviométricos de las estaciones que controlan esta hoya, calculándose en 19 estaciones los registros fluviométricos para tener la información hasta un mismo período.

Además, se analizó la calidad de los recursos de agua desde el punto de vista de los diferentes elementos que contiene y de los materiales sólidos que acarrea en suspensión y por arrastre de fondo.

En cuanto a los estudios hidrogeológicos se realizó en primer lugar una actualización del catastro de pozos y una evaluación de las condiciones geológicas en base a los antecedentes existentes; con esta información y el análisis de trabajos anteriores se efectuó el estudio hidrogeológico propiamente tal.

Con la información de aforos y estadísticas recopiladas se analizó el mecanismo de pérdidas y recuperaciones en los ríos Maipo y Mapocho.

Todos los antecedentes obtenidos como parte del estudio hidrogeológico fueron utilizados para la preparación de un modelo hidrogeológico que permitirá analizar en el futuro el comportamiento de los acuíferos bajo distintos niveles de explotación. Dado los antecedentes que se obtuvieron se desarrollaron solamente 3 modelos hidrogeológicos en las subcuencas Maipo-Mapocho, Chacabuco-Polpaico y Casablanca, los cuales permiten estimar los volúmenes de agua que se pueden extraer en cada zona para distintas situaciones de demanda.

Una vez determinada la cantidad y calidad de los recursos superficiales y subterráneos y sus mecanismos de generación e interrelación, se estimaron diferentes demandas de agua potable, regadío, etc., estableciéndose su distribución temporal y espacial.

Con todos estos antecedentes de recursos y demandas se desarrolló un modelo de simulación del sistema de recursos hidráulicos con el fin de efectuar balances, ya sea en el total de la cuenca o en forma parcial en algunas subcuencas. En este modelo se ha incluido todo el sistema de distribución de riego actual y está concebido de tal forma que permita en el futuro la incorporación de nuevas obras de regulación, captación y distribución o nuevas fuentes de agua que se obtengan por trasvase desde otras cuencas o de explotaciones intensivas de algunos acuíferos cuyos volúmenes de extracción han sido cuantificados.

Como documento de trabajo, al margen de este informe, se entregó un listado de computación mes a mes durante los cuarenta años del estudio, donde se indica para cada sector en que se subdividió el área su situación respecto de los recursos disponibles y las demandas susceptibles de satisfacer.

Las materias desarrolladas en el presente estudio se distribuyeron de la siguiente forma:

Volumen I : Resumen y Conclusiones
Volumen II : Precipitaciones
Volumen III : Escorrentía Superficial
Volumen IV : Aguas Subterráneas
Volumen V : Calidad de las Aguas y Sedimentación
Volumen VI : Modelos Hidrogeológicos
Volumen VII : Estudio de Pérdidas y Recuperaciones y
Modelo de Simulación del Sistema de Recursos Hidráulicos
Album de Planos.

2.- EQUIPO PROFESIONAL PARTICIPANTE

En el desarrollo del presente estudio se contó con la participación de los siguientes profesionales:

- Jefe de Proyecto:

Ing. Civil Sr. Hernán Baeza Sommers (*)

- Jefe Técnico:

Ing. Civil Sr. René Gómez Díaz

- Especialista en Hidrología:

Ing. Civil Sr. Andrés Benítez Girón

- Especialista en Hidrología:

Ing. Civil Sr. Andrés Arriagada Terán.

- Especialista en Hidrogeología:

Ing. Civil Sr. Guillermo Cabrera Fajardo.

- Especialista en Hidrogeología:

Ing. Civil Sr. Luis Ayala Riquelme.

- Ayudante en Hidrogeología:

Ing. Civil Sr. Francisco Calabuig García.

(*): A raíz de su fallecimiento fue reemplazado por el Ing. Civil Sr. René Gómez Díaz.

- Especialista en Geología :
Geólogo Sr. Juan Varela Barbagelata.
- Especialista en Construcción de Obras :
Ing. Civil Sr. Antonio Baeza Sommers.
- Traducción de Estadísticas Hidrométricas :
Ing. Civil Sr. José Miñano Copano.
- Ayudante Traducción de Estadísticas Hidrométricas:
Constr. Civil Sr. Leonardo Sierra Espínola.
- Especialista en Calidad de Aguas :
. Ing. Civil Sr. Enrique Munizaga Díaz
- Especialista en Calidad de Aguas :
Ing. Civil Sr. Raúl Montesinos González.
- Especialista en Modelos Hidrogeológicos :
Ing. Civil Sr. Fernando Alamos Cerda.
- Especialista en Modelos Hidrogeológicos :
Ing. Civil Sr. Fernando Peralta Toro.
- Especialista en Modelos Hidrogeológicos :
Ing. Civil Sr. Pablo Jaramillo Peralta
- Especialista en Modelos de Simulación Hidráulica:
Ing. Civil Sr. Pablo Isensee Martínez

3.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

A continuación se presenta un breve resumen y las principales conclusiones de cada una de las materias desarrolladas en este estudio.

3.1 PRECIPITACIONES

La finalidad de este estudio es determinar el régimen pluviométrico del área del Proyecto Maipo, para lo cual se trazaron los mapas de isoyetas de probabilidad de excedencia 20, 50, 80 y 95%, así como los promedios mensuales y anuales y la variación estacional de la precipitación mensual de las estaciones con estadísticas más largas y repartidas en toda el área. De esta forma se determinó la distribución espacial y temporal de las precipitaciones.

Este estudio incluye además un análisis de valores extremos de precipitación en aquellos puntos que disponen de antecedentes.

El período que se estudió fue el comprendido entre los años 1941/42 - 1980/81.

En este estudio se utilizaron todas las estadísticas pluviométricas de las estaciones del área estudiada y de las cuencas vecinas que fueron necesarias para la extrapolación de las isoyetas fuera de ella.

También se analizaron los recursos nivales y glaciares existentes. Para los primeros, se analizó el sistema de mediciones y su ubicación espacial. En los glaciares se efectuó un inventario general de ellos y se analiza ron sus principales características.

3.1.1 Antecedentes Pluviométricos

El área en estudio cuenta con una red de estaciones muy numerosas, al igual que las cuencas vecinas.

Se incluye la Lámina N°1 en la que se ha dibujado el diagrama de barras que indica el período de observación de cada estación y un mapa de las cuencas al final del volumen con la ubicación de cada estación.

Con el fin de facilitar la ubicación de cada estación en el diagrama de barras, en el mapa y en los cuadros de estadística, se les ha asignado un número correlativo. Para distinguir cada estación respecto de la cuenca en que está situada, con excepción de aquellas ubicadas en el área del Proyecto Maipo, se les ha an tepuesto las letras siguientes:

- A - Cuenca del Río Aconcagua
- AM - Cuenca entre los ríos Aconcagua y Maipo
- MR - Cuenca entre los ríos Maipo y Rapel
- R - Cuenca del río Rapel

LAMINA Nº 1
DIAGRAMA DE BARRAS DE LAS ESTADÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS

Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	Lat. °S	Long. °W	Altitud m. s. n. m.	Año Inicio	AÑOS DE OBSERVACION											
							40	45	50	55	60	65	70	75	80	82		
ACONCAGUA	A1	San Felipe	32 45	70 44	636	1881												
	A2	Chagres	32 48	70 59	412	1960												
	A3	Los Andes	32 50	70 36	816	1907												
	A4	Quillota	32 53	71 16	128	1913												
	A5	Río Blanco	32 55	70 19	1.420													
	A6	Vilcuya	32 55	70 32	1.100	1964												
	A7	El Tabón	32 55	70 49	840	1962												
	A8	Riecillos	32 56	70 21	1.293	1929												
	A9	Cuesta Chacabuco	32 57	70 42	1.009	1962												
	A10	Limache	33 01	71 18	120	1931												
ACONCAGUA MAIPO	AM1	Villa Alemana	33 04	71 25	140	1917												
	AM2	Peñuelas Lago	33 10	71 32	360	1915												
	AM3	Casablanca	33 19	71 25	230	1918												
	AM4	Hda. San Gerónimo	33 22	71 31	220	1947												
	AM5	El Tabo	33 27	71 38	12	1950												
	AM6	Pta. Panul San Antonio	33 34	71 38	63	1918												
MAIPO	1	Rincón de Los Valles	32 57	70 46	950	1957												
	2	Montenegro	32 58	70 52	754	1941												
	3	Caleu	33 00	71 00	1.120	1957												
	4	Rungue	33 02	70 54	710	1943												
	5	Til-Til	33 06	70 56	578	1912												
	6	Polpaico	33 10	70 53	522	1923												
	7	Los Arrayanes	33 10	71 05	560	1922												
	8	Colliguay	33 10	71 08	488	1950												
	9	Esmeralda de Colina	33 11	70 40	550	1938												
	10	Baruco Retén	33 15	70 49		1938												
	11	Guay-Guay Fundo Retén	33 16	70 40		1947												
	12	Valle Hermoso Fundo	33 17	70 38	244	1957												
	13	Colina	33 18	70 46	486	1912												
	14	Huinganal Fundo	33 20	70 30	830	1956												
	15	Villa El Dorado	33 22	70 31		1964												
	16	Cerro Calán	33 23	70 32	860	1964												
	17	Huelén	33 23	70 45		1941												
	18	Curacavi	33 25	71 03	167	1934												
	19	Apoquindo	33 25	70 32	782	1900												
	20	Cerro San Cristóbal	33 25	70 30		1965												
	21	Quebrada Ramón	33 26	70 32	700	1980												
	22	Terraza D.G.A.	33 26	70 39	600	1960												
	23	Tobalaba	33 27	70 34	640	1946												
	24	Santiago	33 27	70 42	530	1867												
	25	Antupirer.	33 30	70 31	920	1980												
	26	Macul Esc. Agrícola	33 30	70 34		1946												
	27	Campus San Joaquín U.C.	33 30	70 37	554	1978												
	28	El Llano	33 30	70 40	558	1928												
	29	Los Cerrillos	33 30	70 42	500	1952												
	30	Maipú	33 32	70 46	488	1918												
	31	Rinconada de Maipú U.Ch.	33 32	70 46		1964												
	32	Maitenes Planta	33 33	70 16	1.140	1929												
	33	La Florida	33 33	70 33	665	1913												

CONTINUACION

Cuer- ca	Código Estación	Nombre Estación	Lat.	Long.	Altitud	Año	AÑOS DE OBSERVACION										
			°S	°W	m. s. n. m.	Inicio	40	45	50	55	60	65	70	75	80	82	
MAIPO	34	La Cisterna	33 33	70 42		1945											
	35	Quebrada de La Plata	33 32	70 46	600	1966											
	36	El Canelo	33 34	70 27	643	1931											
	37	El Bosque	33 34	70 37	560	1936											
	38	Marruecos	33 34	70 49	430	1933											
	39	San Antonio	33 34	71 38	60	1971											
	40	La Obra de Maipo	33 35	70 30	795	1912											
	41	Sar. Bernardo Seminario	33 35	70 43	573	1912											
	42	Las Majadas	33 35	71 32		1965											
	43	Río Colorado	33 36	70 23	910	1941											
	44	Malloco	33 36	70 52	407	1932											
	45	Peñaflor	33 36	70 54	370	1971											
	46	Puerto Alto	33 37	70 35	713	1918											
	47	Sar. José Retén	33 38	70 21	915	1971											
	48	Cerrillos de Leyda	33 38	71 30	150	1932											
	49	Sar. Juar. Fundo	33 38	71 35		1910											
	50	Sar. José de Maipo	33 39	70 22	1.060	1912											
	51	Pirque	33 39	70 35	670	1967											
	52	Retén. Los Morros	33 39	71 13	580	1964											
	53	El Yeso Embalse	33 41	70 07	2.475	1962											
	54	Pirque Fdo. Lo Arcaya	33 40	70 35		1955											
	55	Melipilla	33 42	71 13	169	1918											
	56	Guayacán	33 42	71 13	1.069	1964											
	57	El Cheque	33 43	71 31		1944											
	58	Sar. Alfonso	33 44	70 18	1.100	1962											
	59	Jahuel Alto	33 44	70 41		1935											
	60	Buir	33 44	70 45	488	1918											
	61	El Manzanito	33 45	70 10	1.675	1918											
	62	Sar. Nicolás	33 45	70 12		1936											
	63	Carmen de las Rosas	33 45	71 09	165	1931											
	64	Carmen. Alto Melipilla	33 46	71 07		1946											
	65	San Gabriel	33 47	70 14	1.195	1978											
	66	La Aparición	33 47	70 40	460	1928											
	67	Paine Fundo Viluco	33 47	70 40		1943											
68	El Tránsito	33 48	70 40		1940												
69	Volcán	33 49	70 11	1.500	1901												
70	Oueltehues Chilectra	33 49	70 12	1.365	1929												
71	Huelquén Paine	33 49	70 40		1949												
72	Cajón de Aculeo	33 49	71 05	370	1947												
73	Colonia de Paine	33 50	70 44	395	1964												
74	Las Melosas	33 51	70 12	1.600	1962												
75	Aculeo	33 53	70 53	370	1913												
76	Chada Hacienda	33 54	70 40		1940												
77	Chada Cuesta	33 57	70 39		1945												
MAIPO RAPEL	MR1	Santo Domingo	33 37	71 38	66	1968											
	MR2	El Peumo Hda.	33 43	71 39		1942											
	MR3	Sar. Enrique de Búcalemu	33 50	71 45	160	1926											
	MR4	Longoivilo Hda.	33 57	71 26		1962											
RAPEL	R1	Graneros	34 04	70 44	479	1945											
	R2	El Teniente	34 05	70 23	2.155												
	R3	Sitio K Barahona	34 05	70 30	1.672												
	R4	Lorcha	34 07	71 08	136	1954											

3.1.2 Metodología

El estudio se desarrolló siguiendo las siguientes etapas:

- Análisis, corrección y ampliación al período 1941/42-1980-81 de los registros de estaciones con más de 25 años de estadística.
- Análisis, corrección y ampliación de las precipitaciones anuales, al período 1941/42 - 1980/81, de las estadísticas que tienen entre 15 y 24 años de estadística.
- Determinación de patrones de precipitaciones en base a las estadísticas más representativas.
- Establecimiento, por correlación gráfica, de una relación entre las precipitaciones anuales de las estaciones con menos de 15 años de estadística y el Patrón.
- Determinación del régimen pluviométrico de las estaciones con más de 25 años, y de alguna que, teniendo menos años de estadística, se encuentre en una zona de interés de la cuenca.

El régimen pluviométrico se determinó calculando los siguientes valores o curvas:

- a.- Duración general de la precipitación anual.
- b.- Promedios anuales y mensuales.

- c.- Desviación estandar y coeficientes de variación de las precipitaciones anuales y mensuales.
- d.- Variación estacional de la precipitación mensual.
- e.- Trazado de los mapas de isoyetas anuales de probabilidad de excedencia 20, 50, 80 y 95%.
- f.- Cálculo de las precipitaciones máximas en 24, 48 y 72 horas.
- g.- Análisis de los recursos nivales y de glaciares.

3.1.3 Análisis, corrección y ampliación de las estadísticas.

Debido a que el área de influencia del Proyecto Maipo es muy extensa y son numerosas las estaciones existentes, se ha decidido dividirla en dos zonas: la zona cordillerana y la zona intermedia y baja, haciendo pertenecer a ambas la estación de Santiago (Quinta Normal) por encontrarse en los faldeos cordilleranos y ser la estadística más larga y de mejor calidad. Se la ha considerado como estadística base.

En ambas zonas se procedió de la siguiente forma:

- Se calculó un Patrón de Precipitaciones basado en las estadísticas pluviométricas más largas y mejor observadas durante el período 1941/42 - 1980/81.

- Las estadísticas con más de 25 años de registros se compararon con el Patrón utilizando el método de las curvas doble acumuladas (CDA) para verificar su consistencia y homogeneidad. Estas estadísticas después de corregidas se ampliaron mensualmente al período 1941/42 - 1980/81 con el fin de poder determinar posteriormente las características de su régimen pluviométrico.
- Las estadísticas cuya longitud está comprendida entre 15 y 25 años, se corrigieron y homogeneizaron, comparándolas con el Patrón de Precipitaciones y posteriormente se ampliaron al período 1941/42 - 1980/81, con el fin de calcular la duración general de la precipitación anual.
- Las estadísticas con menos de 15 años de registros se correlacionaron gráficamente con el Patrón para determinar el coeficiente de regresión. La bondad de las estadísticas se verificó a través de la dispersión que presentaron los puntos. A partir del coeficiente de regresión se calcularon, posteriormente, las precipitaciones anuales de probabilidad de excedencia 20, 50, 80 y 95%, que se utilizaron en el trazado del mapa de isoyetas anuales correspondiente.
- Cuando en la CDA se presentó una discontinuidad, al año correspondiente se le sumó un valor ΔP con el fin de mantener la tendencia, suponiendo que en ese año hubo errores en la lectura del registro.
- Cuando fue necesario las estadísticas se rellenaron a partir de correlaciones gráficas establecidas con

una estación cercana. Esto permitió rellenar las estadísticas incompletas que se necesitaban para completar la serie.

- En anexo del Volumen II se incluyen todas las estadísticas analizadas, como también los cálculos de los Patrones y curvas doble acumuladas.

3.1.4 Conclusiones y Recomendaciones.

- En el cálculo del Patrón de Precipitaciones de la zona cordillerana no se consideró la planta Maitenes por presentar numerosos quiebres. La correlación de este Patrón es bastante buena con todas las estaciones.
- Al efectuar el análisis de estadísticas con menos de 15 años se observó que la estación río Colorado ha sido controlada en forma discontinua, presentando mucha dispersión en su correlación. Por esta razón, a pesar de tener más de 15 años, se la incluyó en este grupo. Lo mismo sucede con la estación San José de Maipo, a pesar de tener 16 años de estadística.
- Para el cálculo del Patrón de Precipitaciones de la zona media y baja se consideraron 4 estaciones y al comparar las estadísticas con él se vé que presentan como máximo un quiebre, lo que indica que fueron bien observadas.
- Al analizar el régimen pluvial de la cuenca se observa que como promedio se tiene que el porcentaje de lluvia

via caída en esos períodos respecto de la precipitación anual es 85% en Mayo-Septiembre y 95% en Abril-Octubre. También se observa que el mes más lluvioso es Junio, pero para probabilidades de excedencia menores a 15% la precipitación es mayor en el mes de Julio, mes durante el cual se producirían las grandes lluvias.

Estas consideraciones indican que el régimen es netamente pluvial con lluvias en la última mitad del Otño y en el Invierno, con un estiaje pronunciado y bien definido.

Con respecto a su distribución espacial las mayores precipitaciones se presentan en la parte alta de la cuenca, disminuyendo hacia la costa, con un gradiente pluviométrico del orden de 260 mm/1.000 m.

- Los recursos nivales y glaciares de la cuenca son muy importantes, sin embargo, aún cuando existe información valiosa para análisis específicos, los antecedentes disponibles no constituyen propiamente un registro por su falta de continuidad.

De las 8 rutas de nieve que en la actualidad se controlan sólo las más altas en el río Maipo (2) y Mapocho (2) tienen cierta continuidad y son usadas para efectuar pronósticos de deshielo. El resto tiene estadísticas muy discontinuas y poco representativas.

- En general la red de estaciones pluviométricas del área en estudio es suficiente, pero deberá evitarse eliminar estaciones, como ha sucedido últimamente. Además deberá tratarse de mejorar la continuidad de los registros.
- La situación con las rutas de nieves es totalmente opuesta, debido a que ellas son pocas (8) y de éstas sólo tres tienen información relativamente continua. Esta situación se agrava más si consideramos que uno de los buenos registros que existía (ruta de nieve Los Bronces) ha debido ser suspendida por las ampliaciones de la mina La Disputada de Las Condes. Debería ampliarse el número de controles de rutas de nieve y mantenerse más continuidad en los registros de ellos.

3.2 ESCORRENTIA SUPERFICIAL

El objetivo de este estudio es analizar las características fluviométricas del área en estudio con el fin de determinar la distribución temporal y espacial de los recursos de agua disponibles para el desarrollo poblacional y agrícola del área.

La cuenca del río Maipo, que tiene sus nacientes en la Cordillera de Los Andes, se encuentra situada entre los paralelos 33°00' S y 34°15' S, aproximadamente, siendo el área de la cuenca de 15.261 km².

Se pueden distinguir en ella dos zonas fluviométricas diferentes, una cordillerana y precordillerana de régimen nival y nivopluvial y otra zona baja de régimen predominantemente pluvial. A su vez, la zona cordillerana puede subdividirse en dos zonas, una correspondiente al río Maipo propiamente tal y que abarca hasta Maipo en La Obra que la totaliza y otra que corresponde a la cuenca alta del río Mapocho incluyendo el estero Arrayán.

El régimen natural del Maipo Alto se encuentra alterado por la existencia del embalse El Yeso.

El régimen natural del río Maipo Bajo se encuentra influenciado por el riego, el que se realiza en forma intensa, existiendo a lo largo de su cauce y de sus afluentes numerosas captaciones generándose muchas recuperaciones como producto del riego. Además el estero Chacabuco, recibe el aporte del canal Chacabuco-Polpaico que trasvasa determinados caudales eventuales desde el río Aconcagua y el estero Angostura que recibe recursos desde el río Cachapoal.

En este estudio se calculó el régimen natural de aqu
ellas estaciones que no tienen influencia de riego.

Las estadísticas de las estaciones de la zona baja, in
fluenciadas por el riego, cuyo régimen natural es im-
posible de reconstituír, se estudiaron como si no es-
tuviesen alteradas, por lo cual los valores y el ré-
gimen que se obtuvieron no representan fielmente los
caudales que deberían escurrir a través de dicha sec
ción, en régimen natural.

El período de estudio fué 1941/42 - 1980/81.

Para completar el estudio sobre los caudales que es-
curren en los principales ríos del área en estudio se
ha efectuado una clasificación de los caudales medios
diarios y máximos medios diarios.

Además se efectuó un estudio para determinar las cre
cidas máximas en 24, 48 y 72 horas, para diferentes
períodos de retorno.

3.2.1 Antecedentes Fluviométricos

Existen antecedentes de numerosas estaciones hidromé
tricas como puede observarse en el mapa hidrográfico
y fluviométrico que se incluye al final del texto y
en el diagrama de barras de la Lámina N°2.

NOMBRE DE LA ESTACION	LATITUD	LONGITUD	H (m snm)	S (km ²)	AÑO INSTALACION	AÑOS DE OBSERVACION
						40 45 50 55 60 65 70 75 80 85
MAIPO ALTO						
MAIPO EN LA OBRA	33° 35'	70° 27'	775	5,036	1912	1912
MAIPO EN EL CANELO	33° 30'	70° 25'	810		1917	8/1931
MAIPO EN EL MANZANO	33° 36'	70° 24'	850	4,960	1946	
MAIPO EN SAN ALFONSO	33° 45'	70° 18'	1,108	2,850	1940	
MAIPO EN LAS MELOSAS	33° 50'	70° 13'	1,527	1,488	1945	
VOLCAN EN QUELTELHUES	33° 49'	70° 13'	1,365	523	1916	5/1940
YESO EN EMBALSE ELYESO	33° 40'	70° 05'	2,475	353	1945	
YESO EN DISEMBOCADURA	33° 47'	70° 13'	1,800	559	1913	
COLORADO ANTE JUNTA OLIVARES	33° 30'	70° 06'	1,500	831	1942	
OLIVARES ANTE JUNTA COLORADO	33° 28'	70° 08'	1,500	531	1963	
COLORADO EN DISEMBOCADURA	33° 37'	70° 22'	890	1,713	1949	
MAPOCHO ALTO						
MAPOCHO EN LOS AL HENDROS	33° 23'	70° 28'	1,024	620	1928	2/1941
MAPOCHO EN PUENTE NIHLUE	33° 22'	70° 28'			1968	12/1925
MAPOCHO EN LAS LOMES	33° 22'	70° 28'	880	219		
ARRAYAN EN LA MONTOSA	33° 21'	70° 28'				
MAIPO MEDIO						
MAIPO EN ISLA DE MAIPO	30° 46'	70° 56'	320	7,320	1929	8/1930
MAIPO EN EL ROSARIO	33° 47'	70° 53'	365	7,364	1963	
CLARILLO EN DISEMBOCADURA	33° 39'	70° 37'	≈ 620	325	1962	
PAINIE EN LONGITUDINAL	33° 51'	70° 46'	375	275	1962	
ANGOSTURA EN ANGOSTURA	33° 54'	70° 44'	450	702	1918	9/1931
MAPOCHO BAJO						
MAPOCHO EN PUDAHUEL	33° 27'	70° 50'	458		1928	5/1931
MAPOCHO EN RICHONADA MAIPU	33° 31'	70° 51'	420	4,008	1960	
MAPOCHO EN HARRUECOS (P. HURTADO)	33° 32'	70° 51'		1,912	1962	
CANAL SAN CARLOS EN DISEMBOCADURA	33° 26'	70° 36'	520	—	1961	
ZANJON DE LA AGUADA EN PUENTE PAJARITOS	33° 30'	70° 44'	430	—	1963	
ZANJON DE LA AGUADA EN PUENTE SANTA ROSA				—	1928/1939	
MAIPO BAJO						
MAIPO EN CHIHIGUE	33° 42'	71° 08'	200	12,063	1964	
MAIPO EN CABIMBAO	33° 46'	71° 32'	85	15,060	1939	
PUANGUE EN PUANGUE	33° 41'	71° 22'	110	1,688	1942	
OTRAS ESTACIONES						
PUANGUE EN BOQUERON	33° 08'	71° 08'	488	137	1929	9/1933
CANAL COLINA EN COMPUERTA VARGAS	33° 10'	70° 40'	500	—	1936	11/1938
DOLPAICO EN CHICAUMA	33° 10'	70° 55'	500	1,098		

En el diagrama de barras se han clasificado las estaciones de acuerdo a su ubicación en la cuenca.

Se puede observar que:

- En el Maipo Alto existen suficientes estadísticas largas para poder determinar el régimen hídrico de esta cuenca en diferentes puntos, ampliar las estadísticas cortas y rellenar las incompletas.
- En el Mapocho Alto también existen antecedentes suficientes.
- En el resto de las cuencas las estadísticas son cortas y en general se encuentran muy incompletas.
- El estudio de cuencas no controladas, no ha sido realizado en esta parte del informe debido a que se ha preferido efectuarlo junto con el modelo de simulación del sistema de recursos hidráulicos. En efecto al desarrollar el modelo se confeccionó simultáneamente un programa adicional, como subrutina del programa principal, que permitió generar caudales en cuencas no controladas.

Por esta razón todo lo concerniente a esta materia se encuentra en el Volumen VII de este estudio.

3.2.2 Metodología

- Análisis y Ampliación de las Estadísticas.

Maipo Alto:

En primer lugar las estadísticas fluviométricas influenciadas por el embalse El Yeso o la captación de una central hidroeléctrica o un canal de riego bien definido, se transformaron a régimen natural.

En segundo lugar se determinó como estadística base Maipo en San Alfonso en régimen natural.

Posteriormente, las estadísticas incompletas se rellenaron comparándolas con la estadística base y después se ampliaron las estadísticas cortas al período 1941/42 1980/81.

Mapocho Alto:

Se adoptó como estadística base la del río Mapocho en Los Almendros. Esta estadística se verificó y amplió comparándola con la estadística base del Maipo Alto.

La estadística del estero Arrayán se verificó y amplió comparándola con la del río Mapocho en Los Almendros.

Maipo Medio y Bajo:

Las estadísticas más largas de esta zona son las del río Mapocho en Rinconada de Maipú, río Maipo en Cabimbao y estero Puangue en Boquerón.

Las tres se analizaron comparándolas entre sí y con la estadística que se consideró más representativa del Maipo Alto. Su ampliación y relleno se efectuó a partir de la estadística que ofrecía mejor corre-

lación. El período que no fue posible ampliar a partir de estadísticas de la zona se amplió utilizando la estadística del Maipo Alto.

Las restantes estadísticas se verificaron y ampliaron a partir de la estadística que presentó mejores correlaciones, siempre que tuvieran más de 15 años de registro o fueran necesarias para el proyecto.

3.2.3. Análisis de los Resultados

Cuenca del Río Colorado:

Por ser esta una cuenca hidrométricamente conflictiva se analizó separadamente, llegándose a las siguientes conclusiones:

- Las estadísticas adolecen de fallas, siendo la estadística más aceptable la de Colorado en Desembocadura.
- Las otras dos, Colorado antes de junta con Olivares y Olivares antes de junta con Colorado, no son de confianza y las relaciones obtenidas lo único que permiten es determinar valores promedios.
- Para llegar a obtener estadísticas compatibles se debió realizar un análisis exhaustivo de todos los antecedentes existentes, llegándose a la comparación de los caudales medios diarios.

Maipo Alto:

Se puede estimar que los resultados obtenidos son aceptables excepto en el caso de la cuenca del río Colorado por las razones indicadas anteriormente.

Después de los análisis efectuados, se puede concluir que las estadísticas y los valores y curvas obtenidas a partir de ellas son confiables, excepto Maipo en La Obra que aparece con caudales menores a los reales.

Maipo Medio y Bajo:

Una vez terminado el estudio y ampliación de las estadísticas, se puede afirmar que:

- De todas las estadísticas analizadas la mejor y más confiable es la de Maipo en Cabimbao, debido principalmente a que es una sección fluviométrica que se encuentra ubicada en una angostura del río, por lo cual su control es más sencillo y fácil.
- Las estadísticas que pueden considerarse aceptables y que proporcionan antecedentes fluviométricos bastante confiables y de calidad son Paine en Longitudinal, Angostura en Angostura y Mapocho en Rinconada de Maipú.
- No son confiables y merecen algunas dudas, especialmente por las malas correlaciones obtenidas, Clarillo en Desembocadura, Colina en Compuerta Vargas, Polpaico en Chicauma, Puangue en Puangue y Puangue en Boquerón.

Por otra parte debe tenerse en cuenta que en algunos casos se ha debido ampliar una estadística a partir de otra, a su vez ampliada, lo que se traduce en la introducción de errores, a pesar de utilizar en las correlaciones solamente caudales observados, excepto en casos aislados.

3.2.4. Análisis y Caracterización del Régimen Hídrico

Para realizar este análisis se calculó el porcentaje de caudal total que escurre en cada período pluvial y de deshielo o estiaje respecto al total escurrido anualmente.

Para ello se utilizaron los promedios anuales. En aquellos casos en que las estadísticas no han sido ampliadas se utilizaron las relaciones obtenidas en este estudio.

En el Cuadro N°1 se indican los antecedentes para de terminar el régimen hídrico de las cuencas y del cual se obtienen las siguientes conclusiones:

- Como es lógico todas las cuencas del Maipo Alto son predominantemente nivales escurriendo, en promedio, un 74% del volumen total anual durante el período de deshielo.
- En el Mapocho Alto las cuencas tienen un régimen hídrico nival no tan pronunciado como en el Maipo Alto; en el río Mapocho durante el deshielo escurre un 69% del volumen total y en el estero Arrayán solamente un 63%.

C U A D R O N°1

REGIMEN HIDRICO DE LAS CUENCAS

Nombre de la Estación	H (m.s.n.m)	(1) (m ³ /s)	(2) (m ³ /s)	(3) (m ³ /s)	(2)/(1)	(3)/(1)
Maipo en Las Melosas	1.527	488	122	366	0,25	0,75
Volcán en Queltehues (RN)	1.365	189,4	52,6	136,8	0,28	0,72
Afluente Util Embalse El Yeso	2.475	97,7	25,7	72,0	0,26	0,74
Maipo en San Alfonso(R.N)	1.108	814	217	597	0,27	0,73
Colorado antes junta Olivares	516	197	62	135	0,31	0,69
Olivares antes junta Colorado	258	98	23	75	0,23	0,77
Colorado en Desembocadura	890	339	92	247	0,27	0,73
Maipo en El Manzano (R.N)	850	1.244	349	895	0,28	0,72
Maipo en La Obra (R.N)	775	1.162	301	861	0,26	0,74
Clarillo en Desembocadura(*)	≈ 700	30,6	14,1	16,5	0,46	0,54
Paine en Longitudinal (*)	375	51,0	26,7	24,3	0,52	0,48
Angostura en Angostura (*)	450	67,1	31,0	36,1	0,46	0,54
Mapocho en Los Almendros	1.024	73,5	23,0	50,5	0,31	0,69
Arrayán en La Montosa	880	16,8	6,2	10,6	0,37	0,63
Canal Colina en Compuertas Vargas(*)	500	13,0	4,5	8,5	0,35	0,65
Polpaico en Chicauma(*)	500	10,3	6,9	3,4	0,67	0,33
Mapocho en Rinconada Maipú(*)	420	241	138	103	0,57	0,43
Puangue en Boquerón (*)	488	8,2	7,1	1,1	0,87	0,13
Puangue en Puangue(*)	≈ 110	194	128	66	0,66	0,34
Maipo en Cabimbao (*)	35	1.238	743	495	0,60	0,40

(*): Cuencas influenciadas por riego.

(1): = 12 Q_a

(2) = $\sum_{\text{Abr}}^{\text{Sep}} Q_m$

(3) = $\sum_{\text{OCT}}^{\text{MZO}} Q_m$

- En las cuencas del Maipo Medio y Bajo, que se encuentran afectadas por el riego, se observan cuencas con régimen nivo-pluvial y otras con régimen más pluvial que nival, especialmente las de la cuenca del río Puangue.
- La estadística de canal Colina en Compuerta Vargas, presenta una posible anomalía, por cuanto el volumen escurrido en el período Octubre-Marzo que es superior al de Abril-Septiembre, lo que indica que durante el Invierno no capta la totalidad del río Colina, existiendo rebases en la bocatoma.

3.2.5. Análisis de la distribución espacial del caudal.

Además de la repartición temporal del caudal es interesante conocer su distribución espacial, o sea, conocer las cuencas producen más ecorrentía, lo que indicaría a su vez las zonas de más alta pluviosidad. Esto puede analizarse a través del caudal específico expresado en l/s/km².

En este análisis se debe tener en cuenta la existencia de las dos zonas definidas en puntos anteriores.

- Cuencas cordilleranas cuyo régimen hídrico es el natural, o bien puede reconstituírse (Maipo -Alto).
- Cuencas con gran influencia de riego y trasvase de otras cuencas, en cuyo caso los datos obtenidos no representan el régimen natural. En este caso el caudal específico representa el caudal observado.

El análisis se efectuó de lo general a lo particular, o sea, primero se analizó grandes conjuntos de cuencas y después las cuencas individualmente, para probabilidades 20, 50 y 80%.

En el cuadro N°2 se han incluido los valores calculados. De su análisis se obtienen las siguientes conclusiones:

- Las cuencas con mayor caudal específico son las del Maipo Alto y de éstas las de cabecera, Maipo en Las Melosas y Volcán en Queltehues. En las cuencas de menor altitud media, la producción específica disminuye bastante, lo que demuestra la importancia del efecto orográfico.
- Se observa una disminución de la producción específica en el Maipo Alto hacia el Norte y Noreste (ríos Colorado, Olivares, Mapocho y Arrayán).
- También se observa una brusca disminución de la producción específica en las cuencas medias y bajas. En estas cuencas la determinación de la producción específica es difícil por encontrarse todas afectadas por el riego y el trasvase desde y hacia cuencas vecinas.
- En el Maipo Medio y Bajo la influencia del riego es tan grande que, excepto en años lluviosos el agua que llega al Océano Pacífico es menor que la cantidad de agua afluente desde las cuencas cordilleranas. Esto se debe a que las precipitaciones son bajas y especialmente a la evapotranspiración que se genera en las zonas de riego.

C U A D R O N°2

CAUDAL ESPECIFICO DE LAS CUENCAS

C U E N C A			CAUDAL MEDIO ANUAL			CAUDAL ESPECIFICO		
N°	Nombre	S (Km ²)	(m ³ /s)			1/s/Km ²		
			20%	50%	80%	20%	50%	80%
1	Maipo en Cabimbao	15.040	145	89	56	9,64	5,92	3,72
2	Maipo en El Manzano	4.968	132	98	75	26,6	19,7	15,1
3	Mapocho en Los Almendros	620	8,7	5,5	3,5	14,0	8,9	5,65
4	Arrayán en La Montosa	219	1,95	1,20	0,80	8,9	5,48	3,65
5	Maipo Cordillerano(2)+(3)+(4)	5.807	142,7	104,7	79,3	24,6	18,0	13,7
6	Maipo Medio y Bajo (1)-(5)	9.233	2,3	(15,7)	(23,3)	-	-	-
7	Maipo en Las Melosas	1.488	51,6	37,2	30,0	34,7	25,0	20,2
8	Volcán en Queltehues	523	19,0	14,7	12,6	36,3	28,1	24,1
9	Afluentes Util Emb.El Yeso	353	10,0	7,6	6,3	28,3	21,5	17,8
10	Maipo en San Alfonso	2.850	86	62	50	30,2	21,8	17,5
11	Colorado antes J.Olivares(*)	834	20,3	15,4	11,9	24,3	18,5	14,3
12	Olivares antes J.Colorado(*)	531	10,2	7,7	3,5	19,2	14,5	6,6
13	Colorado en Desembocadura	1.713	35,0	26,5	20,5	20,4	15,5	12,0
14	Clarillo en Desembocadura(*)	325	3,60	2,28	1,44	11,1	7,0	4,4
15	Paine en Longitudinal (*)	275	6,00	3,80	2,40	21,8	13,8	8,7
16	Angostura en Angostura	702	7,9	5,0	3,15	11,3	7,1	4,5

(Continuación Cuadro N°2)

C U E N C A			CAUDAL MEDIO ANUAL			CAUDAL ESPECIFICO		
N°	N o m b r e	S (Km ²)	(m ³ /s)			l/s/km ²		
			20%	50%	80%	20%	50%	80%
17	Polpaico en Chicauma(*)	1.098	0,98	0,60	0,40	0,89	0,55	0,36
18	Mapocho Rinconada Maipú	4.068	25,9	19,1	13,1	6,37	4,70	3,22
19	Mapocho Bajo (19)-(3)-(4)	3.229	15,3	12,4	8,8	4,74	3,84	2,73
20	Puangué en Boquerón (*)	137	0,85	0,41	0,19	6,20	2,99	1,39
21	Puangué en Puangué	1.688	23,2	14,2	9,0	13,7	8,4	5,33
=====								

(*): Caudales obtenidos por correlación.

NOTA: Los valores entre paréntesis indican un caudal negativo, producto de la alteración del régimen natural en Maipo en Cabimbao, razón por la cual no se calcularon los caudales específicos correspondientes.

- El 60% del caudal que llega al océano corresponde al período pluvial, época durante la cual el aporte cordillerano es menor por ser dichas cuencas de régimen nival.
- En un año medio durante el período de estiaje llegan al océano 495 m³/s/mes y la alta cordillera aporta 956 m³/s/mes, o sea se pierden por evapotranspiración 461 m³/s/mes equivalentes a $1.221 \times 10^6 \text{ m}^3$ que corresponden a una evapotranspiración media de la cuenca de 132 mm.

Como la zona de riego tiene una superficie de 1.800 km² la evapotranspiración de esta zona, suponiendo que en esta cuenca no hay escorrentía superficial en esta época, es igual a 678 mm. A este valor debe agregarse el aporte de la escorrentía superficial y subterránea de la misma cuenca y de cuencas vecinas.

3.2.6 Duración General de los Caudales Medios Clasificados.

Con el fin de poder determinar los caudales medios máximos diarios, se ha debido previamente determinar los caudales medios diarios clasificados. Dado que las estadísticas de caudales medios no están muy completas no se ha calculado la curva de caudales medios diarios del total de la estadística sino la de aquellos años más característicos, cuya probabilidad de excedencia sea parecida al 20, 50, 80 y 95%. Se han calculado curvas para el período pluvial, para el de deshielo o estiaje y anual.

3.2.7 Estudio de Crecidas

Para realizar el estudio de crecidas se dividió el año en dos períodos, pluvial (Abril-Septiembre) y de deshielo (Octubre-Marzo).

En aquellas estaciones con estadística larga y más completa se seleccionó una serie anual de caudales medios máximos diarios ($\bar{Q}M_d$) y otra de caudales máximos instantáneos (QMi).

Cuando en una serie faltaron algunos valores del $\bar{Q}M_d$, se la completó estableciendo relaciones de los $\bar{Q}M_d$ con alguna estación cercana y controlada y obteniendo los valores por correlación.

Cuando en alguna serie faltaron valores del QMi , se obtuvieron a partir de la correlación entre los valores observados de esa estación.

Las series anuales de $\bar{Q}M_d$ y QMi fueron analizadas mediante las funciones de distribución de frecuencias de Gumbel y log-normal determinando en cada caso aquella que permitió el mejor ajuste.

3.2.8 Conclusiones y Recomendaciones

- La calidad de las estadísticas fluviométricas de las estaciones cordilleras es aceptable, presentándose discrepancias entre Maipo en El Manzano y Maipo en La Obra, que puede deberse a las diferentes formas de medición. En el caso de Maipo en La Obra, su estadística es la suma de varios registros, lo que siempre introduce errores,

pudiendo ocurrir que entre la captación de un canal y el punto de medida se produzcan pérdidas no controladas, con lo cual se distorsionan los registros de la estación Maipo en La Obra.

- Los ríos en la zona cordillerana tienen velocidades muy altas en todo su curso, por lo cual es indispensable utilizar medidores de ángulo de arrastre al aforar. Esto es válido para todos los cauces cuando se aforen en crecidas.
- Las dispersiones que se producen en las correlaciones del Maipo Medio y Bajo hacen difícil determinar estadísticas confiables, ya que dichas dispersiones en general son producto de la influencia del riego y trasvases de caudal entre cuencas. Sin embargo, las dispersiones del período pluvial pueden deberse al trazado de las curvas de descarga, por la dificultad que presenta aforar caudales altos en lechos muy anchos y con cauce, algunas veces, variable.
- Los resultados obtenidos pueden considerarse aceptables en el Maipo Alto, Mapocho Alto, Mapocho en Rinccnada de Maipú, Angostura en Angostura y Maipo en Cabimbao.
- A pesar de que las series anuales de $\bar{Q}M_d$ y QM_i que se han estudiado en la cuenca del río Maipo son bastante largas, no existe un paulatino incremento de los caudales al ordenarlos de mayor a menor, sino que los valores más altos son mucho mayores que aquellos que los preceden. Esto hace que al colocarlos en el papel de Gumbel se produzca una curvatura brusca de la serie de

puntos hacia los valores altos.

Al aplicarle la ley log-normal tampoco se ajusta bien ya que la curvatura tendría que ser más violenta, lo que daría lugar a caudales excesivamente grandes para períodos de retorno altos, por ejemplo 1.000 años. Esto ocurrirá con cualquier ley de distribución que pretenda ajustarse a los valores más altos.

- Siendo la cuenca del río Maipo hidrológicamente homogénea, no siempre las series de $\bar{Q}M_d$ y QM_i de una estación pluviométrica se ajustan a una misma distribución de frecuencia.
- La relación entre los QM_i y $\bar{Q}M_d$ de una misma estación y período no es la misma para caudales bajos que para caudales altos. Esto, que es posible que ocurra en las crecidas pluviales, no debería producirse en las crecidas nivales.

3.3 AGUAS SUBTERRANEAS

El objeto de este estudio fue describir los rasgos más característicos de la hidrogeología de la cuenca del río Maipo y sus afluentes, de los esteros Casablanca, San Gerónimo, del Rosario y Yali, y del estero Alhué afluente del río Rapel.

La gran extensión del área incluída en el Proyecto Maipo y las características diferentes que muestran las cuencas y subcuencas estudiadas, hizo necesaria su división en 12 unidades hidrogeológicamente distintas. Dichas unidades son las siguientes: Maipo-Mapocho Superior, Maipo-Mapocho, Maipo Inferior, Til-Til-Lampa, Chacabuco-Polpaico, Colina-Batuco, Angostura, Puangue, Casablanca, San Gerónimo - del Rosario - Cartagena, Yali y Alhué.

Este estudio comprende el análisis de la geología del cuaternario, que permitió establecer finalmente un cuadro tentativo acerca de la evolución de los rellenos existentes en la zona y el estudio hidrogeológico propiamente tal en el cual se ha tenido presente las unidades hidrogeológicas señaladas anteriormente.

3.3.1 Geología y Geomorfología.

Generalidades:

El área del estudio incluye las tres unidades fisiográficas que caracterizan la zona central de Chile, vale decir, Cordillera de Los Andes, Depresión Intermedia y Cordillera de la Costa.

El sector de la Cordillera de Los Andes está formado principalmente por rocas del mesozoico, volcánicas estratificadas y sedimentarias, marinas y continentales, y en parte por rocas del Cenozoico, plegadas y falladas en sistemas de rumbo preferencial Norte-Sur. La litología y disposición estructural de las formaciones andinas que integran las hoyas hidrográficas superiores de los ríos Colina, Maipo, Mapocho y Angostura, permite que sólo a través de fracturas o interestratificaciones muy locales se produzca una escasa filtración hasta poca profundidad. De esta forma las aguas que escurren por estos valles se incorporan esencialmente como aguas superficiales al sector de la depresión intermedia.

La Depresión Intermedia aparece aquí dividida en dos compartimientos separados por el cordón del Manzano. El del extremo Norte, donde se ubican las cuencas de Chacabuco-Polpaico y Til-Til, se extiende sobre rocas volcánicas que subyacen al relleno de los valles cuya profundidad total supera los 100 m en ciertos lugares. El del sector Sur, muchísimo más importante en extensión (2.400 km²), que define lo que se ha denominado Cuenca de Santiago e incluye la zona de rellenos de las hoyas del Maipo, Mapocho, Colina, Lampa y Angostura.

El elemento morfológico predominante en este sector lo constituye el cono en forma de abanico del río Maipo, que entre Las Vizcachas y Talagante, con una orientación E-W cubre más del 50% del área. El cono del Mapocho, controlado por el anterior y por el cordón del San Cristóbal, desciende con fuerte pendiente en su primera parte hasta alcanzar más suavemente el área de Maipú. El cono del estero Coli

na, con una pendiente relativamente suave, ha acumulado materiales gruesos en su parte superior, desarrollándose una zona de inundación con depósitos más finos que es común con el estero Lampa en su parte baja. Además los conos laterales y/o coalescentes del río Clarillo, estero Angostura y quebradas de menor importancia como las de Macul y de Ramón, engranan en parte con los materiales fluviales o fluvioglaciales de los anteriores, no presentando ni en extensión ni en potencia la misma importancia que aquellos.

En forma muy general, el relleno de la Depresión Intermedia puede separarse en dos grandes unidades: la de depósitos sedimentarios basales con predominio de materiales clásticos de tamaño limo-arcilla, pero de granulometría heterogénea, incluso hasta bolones angulosos, y la de depósitos fluvioglaciales y fluviales que sobreyacen los anteriores y que están constituidos por ripio, arena y poco material fino. Localmente pueden encontrarse depósitos de corrientes de barro, cenizas volcánicas, depósitos lacustre y conos de deyección menores. Puede detectarse además, la presencia de algunos afloramientos rocosos o cerros islas, que corresponden en parte a dorsales que separan sectores del relleno que permiten definir unidades hidrogeológicas diferentes (cerros La Calera, Lonquén, Chena).

El sector de la Cordillera de la Costa está constituido principalmente por rocas graníticas del Terciario Inferior, del Cretácico e incluso del Paleozoico Superior, afectadas por un tectonismo con predominio de fallas de rumbos N-W y W-NW, que han con

ducido a la formación de los valles cósteros y permitido la salida del río Maipo por su curso inferior.

Solamente en los valles de los esteros Casablanca y Puangue y en parte en el valle de Alhué, el relleno sedimentario no consolidado compuesto primordialmente de arenas con limos y arcillas, tiene un espesor de alguna importancia que lo hace hidrogeológicamente interesante. En el resto de los poco desarrollados valles de la costa, como los de los esteros San Gerónimo, del Rosario, Yali, etc., los sedimentos fluviales o de terrazas marinas han dado origen a rellenos de escasa importancia que solo localmente llegan a presentar potencias de alguna consideración.

Los rasgos geológicos antes descritos se han esquematizado en el plano que se adjunta al final del texto, construido en base a un mapa geológico de Chile del Instituto de Investigaciones Geológicas, de 1968.

3.3.2. Captaciones Existentes y Explotación de Aguas Subterráneas.

La información utilizada en este punto proviene principalmente de los Catastros de Pozos de las hoyas 308, 120 y 309 (Depto. de Recursos Hidráulicos de CORFO, 1975 y 1970), actualizados por suplementos (IREN-CORFO, 1980). Además de esto, se recurrió a ante-

cedentes obtenidos directamente en IREN-CORFO, SEN
DOS, Dirección General de Aguas del M.O.P. y empres
sas constructoras de pozos (CELZAC, SAACOL y CAPTAGUA).

De la revisión de esta información pudo constatar-
se que parte de los datos consultados presentan alg
unos errores, siendo los más comunes la ubicación
de ciertos pozos y la cota de terreno especificada
para otros. La información errónea relativa a la
ubicación de pozos fue corregida, donde fue posible,
a partir de antecedentes complementarios suministrad
dos por empresas constructoras de pozos y fotomosai
cos de IREN-CORFO, mientras que en el caso de cotas
de terreno se definió en forma aproximada nuevas cot
tas obtenidas del plano del levantamiento escala 1:
10.000 proporcionado por la Comisión Nacional de Rieg
o y de planchetas escala 1:50.000 del Instituto Geog
ráfico Militar.

En toda la zona que contempla el proyecto Maipo se
había construido más de 1.850 pozos profundos has-
ta la fecha en que se actualizó los catastro (año
1979). De este total aproximadamente un 65% se enu
cuentra en uso, concentrándose la mayor cantidad
en la cuenca denominada Maipo-Mapocho.

Las características técnicas de mayor importancia
se han incluido en las tablas del Anexo IV.A.1 del
Vol.IV de este estudio, correspondientes al catas-
tro actualizado; la ubicación de estos pozos se ha inu
dicado en los planos N°s.2 a 9 del Album de Planos.

Debe señalarse que alrededor de un 80% del total
de los pozos posee información estratigráfica, cer-

ca de un 70% dispone de pruebas de bombeo de gasto variable con estabilizaciones de caudal, un 15% pruebas de desequilibrio de gasto constante para varios caudales (con recuperación en algunos casos) y alrededor de un 33% dispone de información de niveles estáticos. De unos 600 pozos con información de niveles se tiene un total cercano a quince mil mediciones desde 1960.

El aumento a través del tiempo del número de pozos profundos construidos se muestra en forma gráfica en las figuras N°s. 3 a 6. En el gráfico correspondiente a toda la zona en estudio puede verse que en el año 1969, por efecto de la sequía existente, se construyó el mayor número de pozos (100), de los cuales 70 correspondieron al sector Maipo-Mapocho. Por otra parte, los niveles mínimos de construcción se produjeron entre 1974 y 1979 con sólo 30 pozos/año.

Al analizar los gráficos de cada cuenca resalta el hecho que en la cuenca del río Angostura el 50% del total de pozos allí existentes se construyó en el período de la gran sequía entre 1967 y 1969.

En el sector Colina-Batuco sin embargo, las mayores cifras de construcción de sondajes no se produjeron en el mismo período, sino que entre 1963 y 1966 y durante 1974 (20 y 30 pozos/año, respectivamente), aunque en 1969 esta cifra fue también importante al canzando los 14 pozos.

En relación a la explotación actual de aguas subterráneas, en el Cuadro N°3 se señala el uso que se le está dando al recurso en la actualidad en los dis

FIGURA 3

NUMERO DE POZOS CONSTRUIDOS A TRAVES DEL TIEMPO
(TOTALES DE LA ZONA EN ESTUDIO)

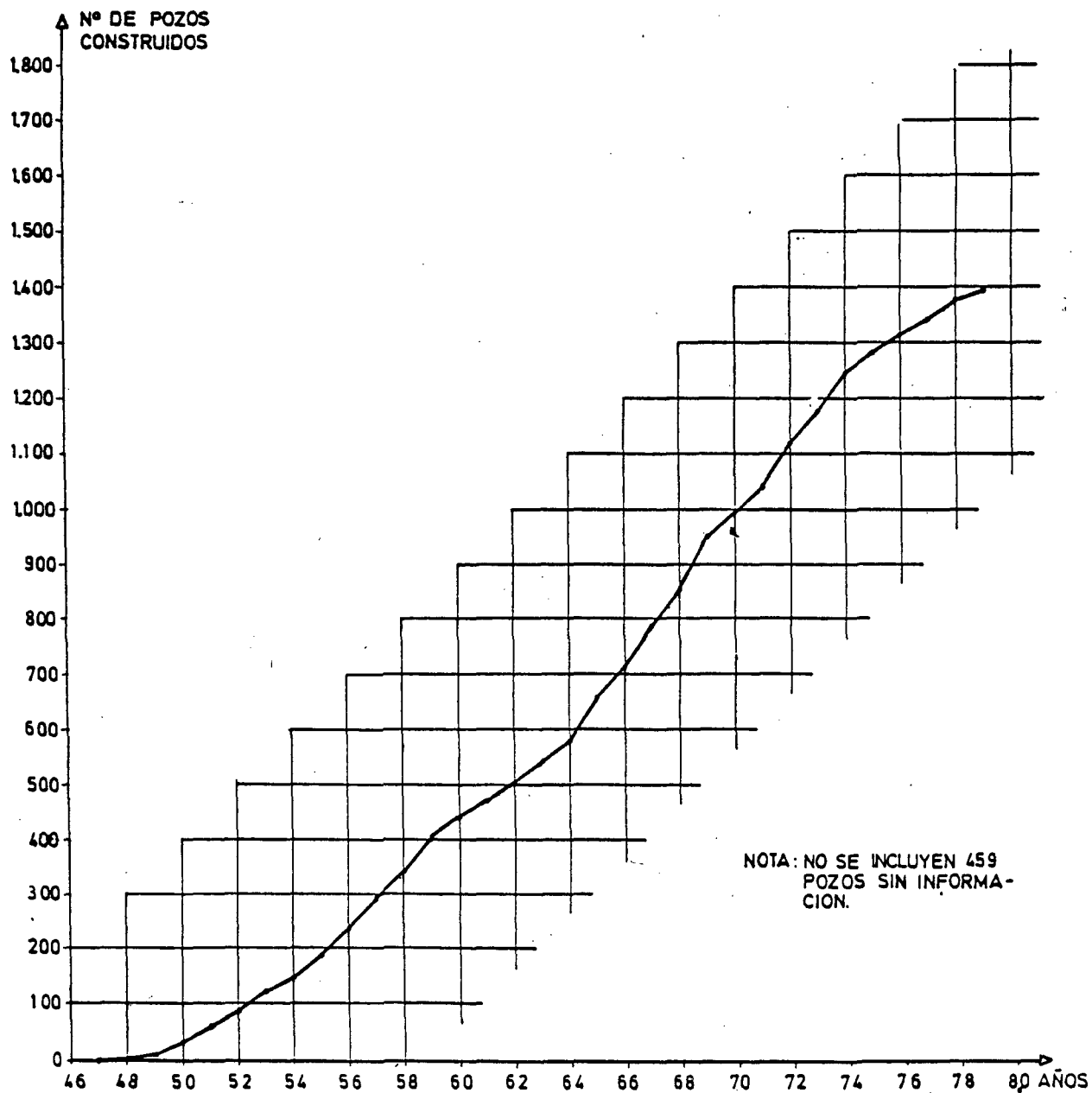


FIGURA 4

NUMERO DE POZOS CONSTRUIDOS A TRAVES DEL TIEMPO

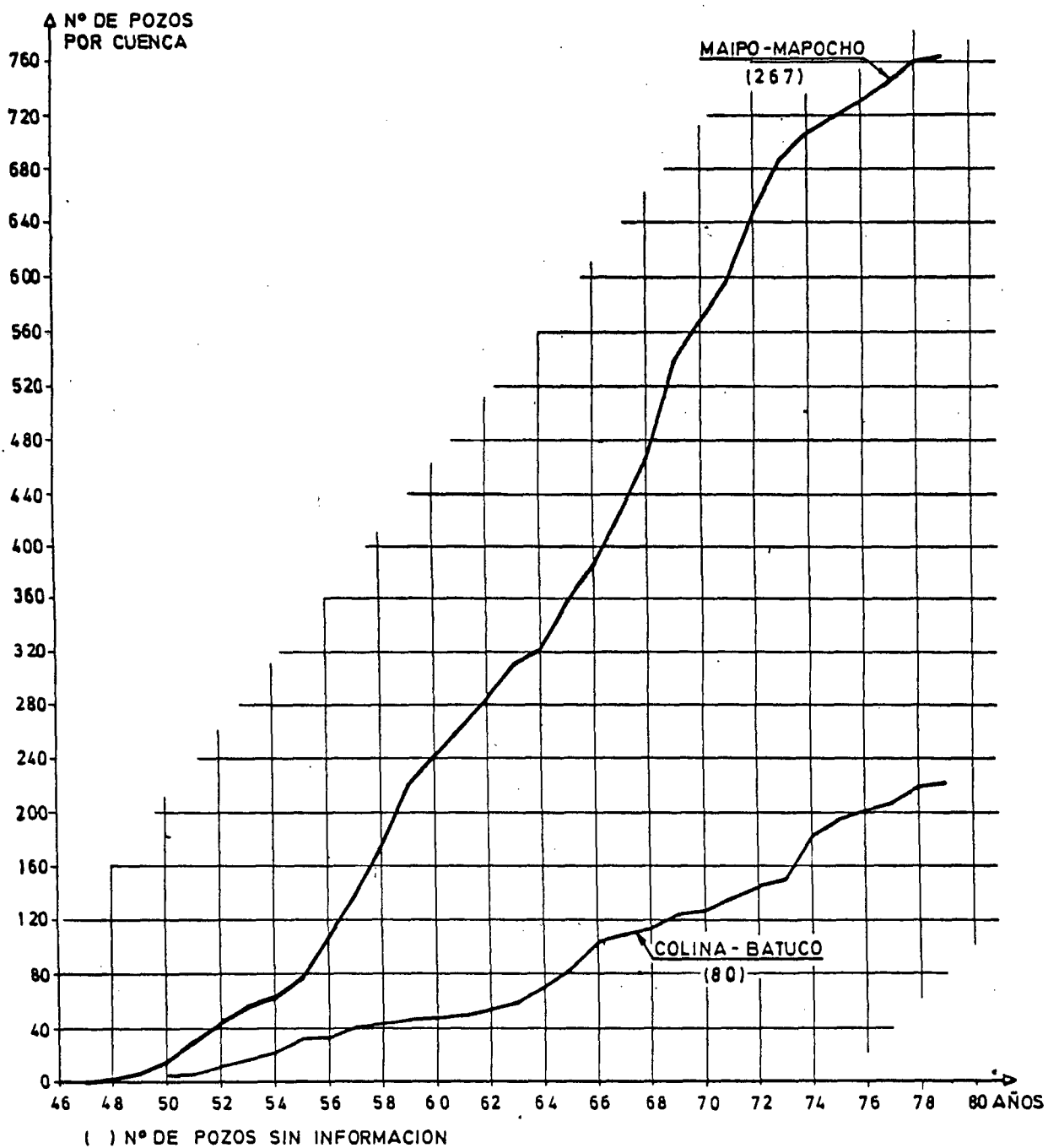


FIGURA 5

NUMERO DE POZOS CONSTRUIDOS A TRAVES DEL TIEMPO

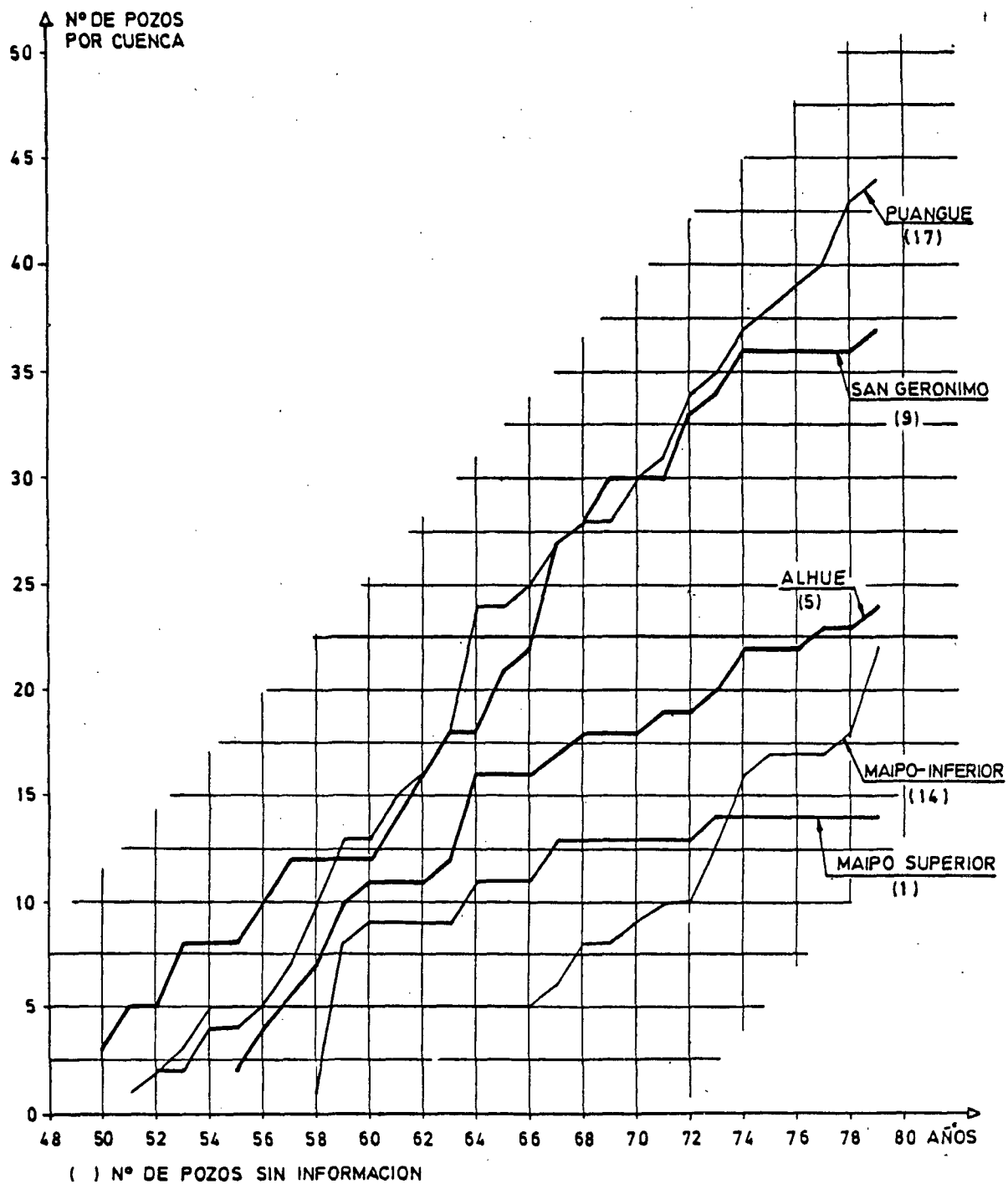
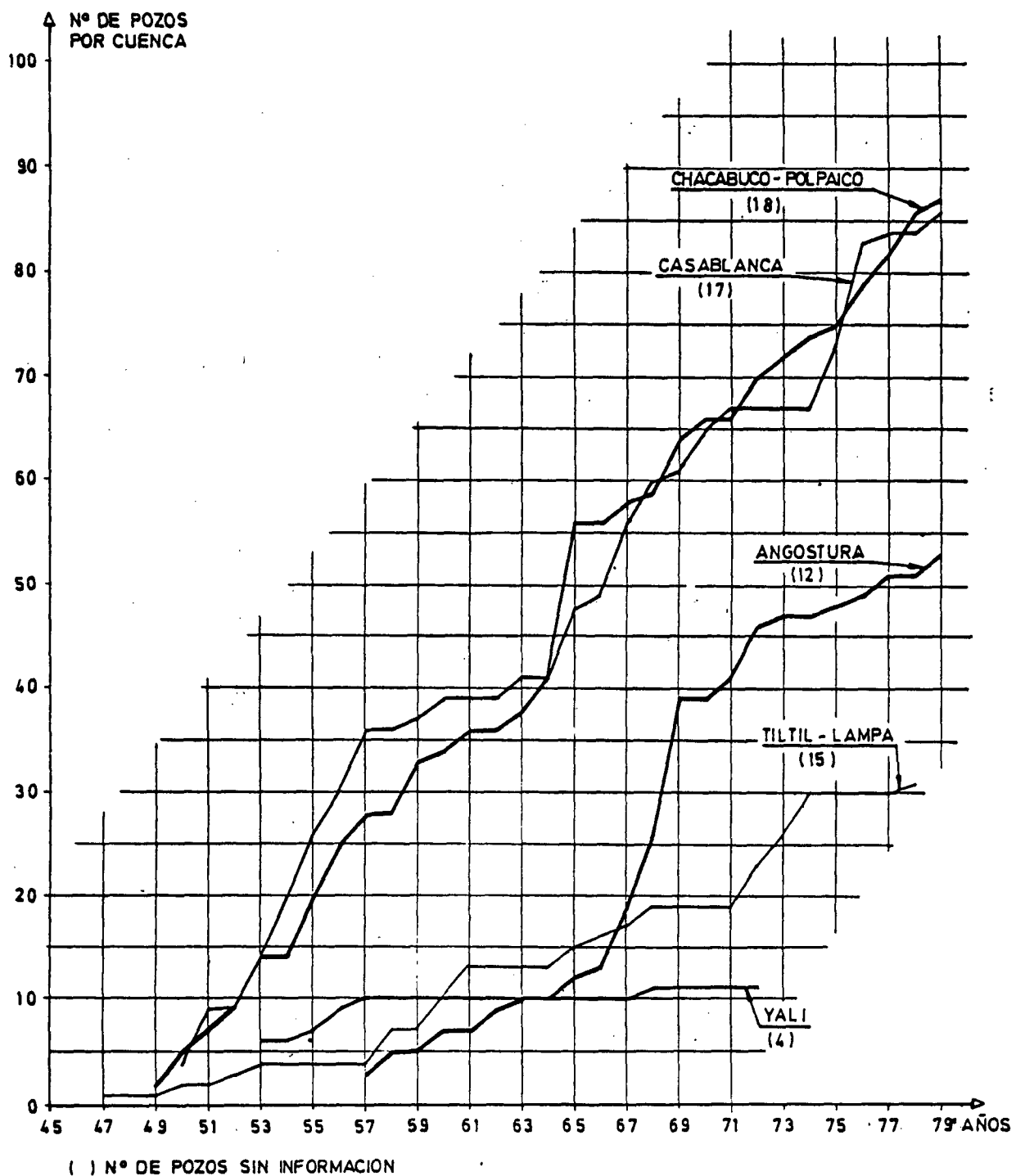


FIGURA 6

NUMERO DE POZOS CONSTRUIDOS A TRAVES DEL TIEMPO



CUADRO N° 3

SITUACION ACTUAL DEL USO DE AGUAS SUBTERRANEAS

C U E N C A	NUMERO DE POZOS				PROFUNDIDAD (m)		INE. NIVELES		
	TOTAL	En Explotación			Perforación	Habili- tación	1	2	3
		P	R	I					
Maipo-Mapocho Superior	15	9	-	-	737	449	-	-	-
Maipo - Mapocho	1.031	291	172	271	63.483	58.560	119	289	66
Maipo Inferior	36	9	11	-	1.745	1.376	9	12	4
Til-Til - Lampa	46	4	15	-	1.880	1.353	7	28	6
Chacabuco-Polpaico	105	9	55	4	5.452	4.507	8	62	14
Colina - Bатуco	304	26	136	1	21.502	15.822	52	134	35
Angostura	65	17	28	3	3.047	2.610	8	1	-
Puangué	61	8	29	3	2.786	2.415	12	14	8
Casablanca	103	7	67	3	5.005	4.154	8	52	13
San Gerónimo-del Rosario-									
Cartagena	46	21	3	3	1.345	1.100	-	-	-
Yali	16	1	6	-	817	794	-	11	3
Alhué	29	1	21	-	1.562	929	3	13	-
TOTALES	1.857	403	543	288	109.361	94.069	226	616	149

NOTAS: P: Agua Potable

R: Riego

I: Industrial

1: Pozos sin Información

2: Total de Pozos

3: Con información continúa

tintos sectores en que se dividió la zona de estudio. Como se indicó, casi un 65% de los pozos se encuentra en funcionamiento, orientándose su uso en mayor grado al riego de sectores agrícolas de la zona. En efecto, cerca del 45% de los pozos en explotación destinan sus recursos al riego, mientras que más de un 30% se usan en agua potable y un 25% en la industria. En el sector Maipo-Mapocho, donde se concentra la mayor actividad económica y también el mayor número de sondajes, de los casi 750 pozos en explotación, un 40% está destinado a agua potable, sólo un 25% al riego y casi un 35% es usado en la industria.

Puede apreciarse en el Cuadro N°3 que en promedio la profundidad de perforación es de 67 m para todos los pozos de la zona estudiada, mientras que la profundidad de habilitación alcanza a 58 m por pozo.

En cuanto a la información de niveles estáticos, en el Cuadro N°3 se ha incluido dos columnas en las que se indica por cuenca el número de pozos que poseen registros de niveles y aquellos en los cuales estos registros tienen una continuidad suficiente como para efectuar análisis de evolución, tendencias, etc. De acuerdo a esto y a la extensión física de las cuencas, se verifica que Colina-Batuco es la cuenca mejor controlada en la actualidad, ya que aunque el valle ocupa un área inferior a un tercio de la que ocupa Maipo-Mapocho, dispone de información continua en un número de pozos que representa más del 50% de los de esa cuenca con buena información. Por otra parte, resulta interesante seña-

lar lo escaso de la información de niveles en ciertas cuencas como las de Angostura y Alhué, donde el recurso de aguas subterráneas es usado aparentemente en forma considerable.

A fin de establecer algunos criterios relativos a la capacidad de explotación con los sondeos existentes se ha trazado curvas de iguales caudales específicos que han permitido definir rangos de esta variable en las distintas cuencas estudiadas (Planos N°s. 9 a 15 del Album de Planos). Dicha información resulta de utilidad para definir sectores donde pueda ser conveniente la construcción de nuevos pozos.

La definición de caudales extraídos en la actualidad en los distintos sectores en que se dividió la zona de estudio resulta riesgosa, dada la gran cantidad de pozos existentes y el desconocimiento que se tiene sobre períodos del año en funcionamiento y número de horas por día en que operan los equipos.

No obstante lo anterior, en el Cuadro N°4 se presentan cifras estimadas de caudales promedios de aguas subterráneas actualmente extraídos de los pozos existentes. Dicha estimación se ha basado en la información de caudales máximos de cada pozo en explotación y en valores porcentuales entre caudales potenciales y caudales medios anuales realmente explotados, obtenidos de encuestas directas al usuario que fueron efectuadas en el valle del río Aconcagua durante 1969. Estos valores porcentuales para los distintos tipos de uso son los siguientes:

Regadío	:	5 - 15%
Agua Potable	:	50 - 60%
Industria	:	20%

En la adopción de los valores porcentuales promedio para cada uso y cada cuenca del área estudiada, especialmente en el riego, se ha tomado en cuenta la influencia que puede tener una eventual escasez de agua superficial, especialmente en el caso de sectores sin obras de regulación.

Debe señalarse por otra parte que el factor correspondiente al uso de agua potable en las cuencas San Gerónimo - del Rosario - Cartagena y Maipo Inferior fue estimado de forma diferente, ya que en esos sectores existe una proporción importante de población flotante durante el período de verano que hace aumentar la demanda sólo durante ese período. En el caso de Maipo Inferior la proporción de esa población respecto a la población fija es menor, motivo por el cual el factor estimado es bastante mayor (0,35) respecto al de San Gerónimo - del Rosario - Cartagena (0,05), aunque sustancialmente menor a los valores estimados para el resto de las cuencas.

Del Cuadro N° 4 se verifica que más del 70% del caudal extraído en toda la zona que cubre el Proyecto Maipo se concentra en la cuenca Maipo-Mapocho, mientras que sólo un 10% del total explotado provendría de la cuenca Colina-Batuco, que sigue a la anterior en importancia desde este punto de vista.

Las cifras correspondientes a la explotación actual del recurso de aguas subterráneas representan, como

CUADRO N° 4

EXPLOTACION ACTUAL DE AGUAS SUBTERRANEAS
(Caudales Promedios Anuales Estimados)

C U E N C A	A G U A P O T A B L E			R I E G O			I N D U S T R I A			CAUDALES TOTALES
	Factor	Q (l/s)	Pozos (S/inf)	Factor	Q (l/s)	Pozos (S/Inf)	Factor	Q (l/s)	Pozos (S/Inf)	
Maipo-Mapocho Superior	0,50	133	1	-	-	-	-	-	-	133
Maipo-Mapocho	0,60	5.055	52	0,10	785	41	0,20	1.261	68	7.101
Maipo-Inferior	0,35*	121	2	0,15	26	7	-	-	-	147
Til-Til-Lampa	0,50	18	1	0,05	53	1	-	-	-	71
Chacabuco-Polpaico	0,50	17	2	0,10	286	6	0,20	53	-	356
Colina-Batuco	0,50	286	5	0,10	693	23	0,20	2	3	981
Angostura	0,50	100	2	0,05	72	4	0,20	9	1	181
Puangué	0,50	104	1	0,15	153	3	0,20	1	2	258
Casablanca	0,50	41	1	0,10	143	9	0,20	6	-	190
San Gerónimo-Del Rosario										
Cartagena	0,05*	23	3	0,10	3	-	0,20	2	-	28
Yali	-	-	1	0,15	26	-	-	-	-	26
Alhué	0,50	3	-	0,15	129	3	-	-	-	132
TOTALES	-	5.901	72	-	2.369	97	-	1.334	74	9.604

(*): Factor estimado.

se indicó, valores promedios estimados que en períodos de sequía deben aumentar considerablemente. Si se considera razonable un aumento de 10% en la construcción de pozos respecto a la tendencia histórica en períodos como esos, situación que se dió entre 1968 y 1970 (Figura 3), los caudales de explotación deben aumentar posiblemente en la misma proporción; así podría llegarse en el área del proyecto a caudales superiores en alrededor de 1 m³/s a los que actualmente se extraen. No obstante lo anterior, en sectores tales como Chacabuco-Polpaico, Colina-Batuco, Maipo-Mapocho y Casablanca, donde se implementarán modelos de simulación hidrogeológicos, el aumento en la explotación físicamente posible podrá determinarse directamente cuando dichos modelos sean operados para esas condiciones restrictivas.

3.3.3 Conclusiones y Recomendaciones.

- En toda el área del estudio se identificaron 12 cuencas o subcuencas hidrológica e hidrogeológicamente homogéneas, que fueron las siguientes :

- Maipo - Mapocho Superior
- Maipo - Mapocho
- Maipo - Inferior
- Til-Til - Lampa

Chacabuco-Polpaico
Colina-Batuco
Angostura
Puangue
Casablanca
San Gerónimo, del Rosario y Cartagena
Yali
Alhué

- La explotación actual del recurso de aguas subterráneas se efectúa a través de aproximadamente un 65% del total de pozos construidos, concentrándose la mayor cantidad de ellos en la cuenca Maipo-Mapocho y orientándose su uso al riego en un 45%, a agua potable un 30% y a la industria un 25%. Se ha estimado que la explotación actual del recurso alcanza a 9,6 m³/s como promedio en toda la zona, de los cuales 7,1 m³/s corresponden a Maipo-Mapocho, 0,98 m³/s a Colina-Batuco, 0,36 m³/s a Chacabuco-Polpaico, 0,26 m³/s a Puangue y 0,19 m³/s a Casablanca.

- La cuenca Maipo-Mapocho Superior, insertada totalmente en el sector cordillerano, se caracteriza por la existencia de valles estrechos y encajonados, en que el desarrollo de rellenos sedimentarios, siempre de escasa potencia, se limita a sectores donde los valles se amplían levemente y permiten la deposición de material principalmente grueso de tipo bolones y grava, ocasionalmente en matriz arcillosa lo que da origen a transmisibilidades normalmente superiores a 2.000 m²/día cerca de los ríos. Debido a la directa conexión entre el río y la napa, existe una estrecha relación entre ambos y por lo

tanto variaciones de los caudales superficiales originan una rápida respuesta tanto en los niveles de la napa como en los caudales de escurrimiento subterráneo.

- La cuenca Maipo-Mapocho, la más importante del área estudiada, está formada principalmente por depósitos sedimentarios fluvioglaciales y fluviales principalmente de ripio y arenas con algo de finos, que localmente aparecen alternados con depósitos de cenizas volcánicas y conos de deyección menores cerca del contacto roca-relleno; el basamento rocoso se encuentra muy profundo, estimándose a más de 450 m en ciertas partes. Las formaciones acuíferas vecinas al río Mapocho en su parte alta son de material grueso pero de escasa potencia con transmisibilidades superiores a 400 m²/día en zonas muy locales; hacia aguas abajo, por el mismo Mapocho, estas transmisibilidades aumentan con la calidad de los acuíferos, pudiendo superar los 6.000 m²/día entre Padre Hurtado y Talagante, con máximos locales mayores de 15.000 m²/día. Aunque la potencia de las formaciones acuíferas del área Central-Oriente entre los ríos Mapocho y Maipo es relativamente importante, el coeficiente de transmisibilidad sólo ocasionalmente supera los 3.000 m²/día; más hacia el Sur sin embargo, en el área de influencia del río Maipo comprendida entre Paine y Lonquén, la transmisibilidad toma nuevamente valores altos que pueden llegar a superar los 6.000 m²/día. Aguas abajo de la confluencia de los ríos Maipo y Mapocho y hasta Melipilla, la calidad de los acuíferos y por consiguiente las transmisibilidades disminuyen ostensiblemente.

- Los niveles de aguas subterráneas en los sectores alto y medio de la cuenca Maipo-Mapocho muestran fluctuaciones cíclicas en las que los ascensos ocurren principalmente entre Diciembre y Mayo, salvo cerca de los ríos donde las crecidas de invierno y verano originan respuestas más rápidas de los niveles. Hacia aguas abajo por el Mapocho, los niveles se ubican más superficiales y con ello las oscilaciones en los limnigramas se hacen menos notorias hasta casi perderse cerca de Padre Hurtado, donde el agua subterránea tiende a aflorar, de la misma forma que entre Peñaflor y Talagante. En el área vecina al río Maipo y hasta Lonquén, donde los niveles pueden ubicarse entre 100 y 30 m de profundidad, las fluctuaciones de éstos son las máximas observadas, indicando la importancia del río en este tramo como fuente de recarga. Hacia aguas abajo estas fluctuaciones disminuyen ostensiblemente, produciéndose a la altura de Isla de Maipo importantes afloramientos de la napa, condición que se mantiene hasta más abajo de la confluencia de los ríos Maipo y Mapocho.

- En la cuenca Maipo-Mapocho es posible definir dos sistemas diferentes en relación al flujo subterráneo. El primero que es el más importante (Maipo-Mapocho Norte), recibe recargas directas desde el río Maipo entre Vizcachas y cerro Negro, también desde el flanco oriental cordillerano y desde el río Mapocho, y tiene una divisoria con el segundo sistema que estaría definida por una línea imaginaria que une el cordón de Los Ratones con los cerros Negro, Chena, Calera y Lonquén hasta la confluen-

cia de los ríos Maipo y Mapocho. A su vez el otro sistema (Maipo-Mapocho Sur), con escurrimiento subterráneo entre los cerros Negro y Lonquén, abarca el área de influencia del río Maipo en este sector, uniéndose al flujo del primer sistema cerca de la confluencia de los ríos Maipo y Mapocho.

- En relación a los caudales propios de la napa, la estimación de Mayo de 1971 en la cuenca Maipo-Mapocho indica que en la entrada desde los valles cordilleranos de ambos ríos escurrían caudales iguales, superiores a 100 l/s cada uno. En el sistema subterráneo del Norte dichos caudales aumentan hacia aguas abajo a pesar de la considerable descarga artificial que en todo caso no supera las recargas desde los ríos y desde el flanco oriental cordillerrano. Sin embargo, el excesivo uso de aguas subterráneas en el sector central que abarca gran parte del área urbana, ha provocado una disminución en el volumen almacenado que se manifiesta en una persistente tendencia a descender de los niveles de la napa. Desde Maipú hasta Peñaflor los caudales subterráneos varían según la importancia de las recargas desde el río Mapocho, de los afloramientos (Rincónada Lo Cerda) y de la descarga artificial mediante pozos de bombeo.
- Respecto al sistema denominado Maipo-Mapocho Sur, los caudales subterráneos aumentan desde casi cero a la altura de cerro Negro hasta valores comparables a los máximos que escurren por Maipo-Mapocho

Norte (cerca de 1,5 m³/s en Mayo de 1971), frente al cerro Lonquén. Al unirse ambos sistemas entre Isla de Maipo y Talagante se originan importantes afloramientos que hacen descender los caudales de la napa hasta valores muy pequeños (0,25 m³/s en Mayo de 1971).

- Los valles de los esteros Cholqui y Popeta, incluidos en la cuenca Maipo Inferior presentan formaciones acuíferas de arenas y gravas con intercalaciones de arcillas que le confieren un carácter confinado o semiconfinado a las napas, con transmisibilidades que en ningún caso alcanzan los 1.000 m²/día. A pesar de esto, y posiblemente debido al reducido uso de las aguas subterráneas, los niveles piezométricos, surgentes en algunos sectores, no sufren variaciones significativas a lo largo del tiempo. En el tramo del río Maipo entre Melipilla y la desembocadura, el aumento de finos en los estratos permeables da origen a transmisibilidades cercanas a 500 m²/día sólo cerca de la desembocadura; por la presencia del río los niveles de la napa se ubican superficialmente, mientras que los caudales de escurrimiento propio alcanzan a algunas decenas de litros por segundo. En la zona de desembocadura se han detectado signos evidentes de intrusión salina en el acuífero confinado existente.
- La cuenca Til-Til - Lampa, caracterizada geomorfológicamente por una larga y angosta cubeta, cuyos rellenos sedimentarios no sobrepasan los 200 m de espesor, tiene una formación acuífera preferentemente confinada, salvo en la localidad de Til-Til donde suelen aparecer algunos casos de napa libre,

cuyos materiales son principalmente arena, grava y, con menor frecuencia, bolones y arcilla. Aguas arriba de Polpaico, se pueden encontrar sectores, especialmente en torno al lecho del estero, con transmisibilidades de hasta 800 m²/día; inmediatamente aguas abajo, las transmisibilidades alcanzan valores superiores a 3.000 m²/día y a la salida de la cuenca, valores superiores a 1.000 m²/día. Las fluctuaciones del nivel de la napa son poco variables a lo largo de la cuenca, y aparecen muy sensibles a las recargas de aguas lluvias; sin embargo, su nivel medio se aprecia bastante estable, variando entre los 5 y 10 m de profundidad a lo largo de ella. La recarga proveniente de la cuenca Chacabuco-Polpaico es la más importante, e influye hacia aguas abajo amortiguando las fluctuaciones de los niveles. El bajo número de pozos construidos en ella, ofrece muchas expectativas de nuevas captaciones, preferentemente en los sectores contiguos al lecho del estero principal del valle.

- La cuenca Chacabuco-Polpaico se caracteriza por contener rellenos sedimentarios de tipo fluvial, fluvio-glacial y lacustre que se presentan heterogéneamente tanto vertical como lateralmente, definiendo una estratigrafía de variada granulometría que alberga algunas capas que constituyen acuíferos. La potencia de este relleno alcanza los 70 m aproximadamente en los sectores altos, mientras que en la parte baja sobrepasa los 150 m. Todo lo anterior contribuye a que los acuíferos presenten transmisibilidades variables a lo largo y ancho de la cuenca, tomando valores hasta de 800 m²/día en la zona alta, entre 1.500 y 3.000 m²/día en la parte cen-

tral y sobre 5.000 m²/día hacia el sector de salida. Respecto a la fluctuación del nivel de la napa, la sobreexplotación del agua subterránea para satisfacer las importantes demandas de riego, ha causado un claro y sistemático descenso de ella en los últimos años, lo cual ha hecho que la napa, preferentemente confinada, en algunos casos se comporté como libre. De no tomarse precauciones, dicha sobreexplotación llevará a una disminución de volúmenes de almacenamiento hasta límites extremos.

- La cuenca Colina-Batuco se caracteriza por su extensa cubeta de sedimentación, que en función de la composición y disposición de sus rellenos, se ha subdividido en cuatro unidades morfológicas para facilitar su comprensión. La primera corresponde al cono del estero Colina en toda la parte alta de la cuenca, con rellenos de origen fluvial y fluvioglacial que están compuestos por estratos de sedimentos finos alternados con arenas y ripios, los cuales suman una profundidad hasta de 200 m en total; los acuíferos se presentan confinados con transmisibilidades que llegan hasta 800 m²/día aproximadamente y napas que sufren importantes fluctuaciones en las épocas de lluvia, lo que da a esta zona la característica de ser una importante fuente de recarga. La segunda unidad comprende la zona de Batuco y se caracteriza por un relleno de un alto contenido de materiales finos de tipo lacustre, lo cual se refleja en los valores de transmisibilidad que no sobrepasan los 300 m²/día; las napas también son confinadas y sus niveles, habitualmente

surgentes, sólo sufren variaciones estacionales debido principalmente a las demandas de riego en los meses de verano y a las lluvias de invierno. Las unidades tercera y cuarta se caracterizan por tener una superficie muy plana, la cual contribuye a la presencia casi generalizada de afloramientos, el material fino es también bastante frecuente y el estrato impermeable superficial que allí se presenta mantienen confinado a los acuíferos. El cono de Lampa, que penetra a la cuenca por su lado Oeste, favorece a este sector con transmisibilidades que sobrepasan a los 1.000 m²/día; en los otros sectores de esta zona plana, el coeficiente elástico toma valores inferiores a 800 m²/día tendiendo a disminuir hacia los cerros. El importante contenido de cenizas volcánicas en la cuarta unidad la hace incluso menos atractiva que la tercera.

- El valle del río Angostura presenta la particularidad de hallarse dividido en dos sectores, uno al Sur de la Angostura de Paine con un relleno sedimentario fluvioglacial y fluvial de unos 150 m de espesor máximo, y otro al Norte con depósitos sedimentarios lacustres y fluviales más gruesos, estos últimos mostrando la influencia del río Maipo de una potencia máxima cercana a los 200 m. Las formaciones acuíferas características de estos sectores corresponden a estratos de sedimentos de granulometría heterogénea (arenas y gravas) con intercalaciones de material arcilloso de 5 a 7 m de espesor, que dan origen a napas confinadas o semi-confinadas las cuales tienden a aflorar hacia la Angos

tura de Paine e incorporarse al flujo superficial en el sector Sur, y a materiales de granulometría más gruesa, los que conforman capas más potentes y superficiales (10 a 15 m de espesor) y napas libres a profundidades máximas superiores a 10 m con tendencia al afloramiento hacia aguas abajo, dentro del sector Norte. Las transmisibilidades más altas que corresponden a los rangos de 800 a 1.500 m²/día, se encuentran dentro de una franja que se extiende longitudinalmente en el valle, interrumpida solamente por la Angostura de Paine. El movimiento de las aguas subterráneas se efectúa en sentido Sur-Norte hasta alcanzar el valle del río Maipo, siendo las principales fuentes de recarga las aguas lluvias de invierno y los derrames de riego e infiltración desde canales en la época de riego. La descarga de los acuíferos se consigue mediante bombeo y a través de incorporación del agua subterránea a los cursos superficiales por afloramientos de la napa. Las fluctuaciones de la napa, que durante la sequía originó descensos de los niveles superiores a 10 m, están en directa relación con la pluviosidad anual, pudiéndose constatar que durante años lluviosos la napa se recupera en forma rápida.

- Desde el punto de vista hidrogeológico, el valle del estero Puangue aparece dividido en tres zonas: Puangue Superior, Medio e Inferior. Las más importantes por sus características hidrológicas son las del Puangue Medio que comprende la localidad de María Pinto y la del Puangue Superior en torno a Curacaví. En el Puangue Medio los acuíferos son más potentes, están formados de intercalaciones de ma-

teriales impermeables en matrices arcillosas que o riginan transmisibilidades máximas superiores a 800 m²/día y napas fundamentalmente confinadas. En el Puangue Superior los acuíferos de importancia se encuentran dentro de los primeros 20 m de profundidad, observándose que la zona de más alta transmisibilidad (sobre 800 m²/día) se encuentra localizada al Norte de Curacaví. Aquí las napas son predominantemente libres o semi-confinadas, con niveles medios ubicados a poca profundidad (frecuentemente inferiores a 10 m) y fluctuaciones de los mismos en relación directa con variaciones del escurrimiento superficial en el estero. En el Puangue Medio los niveles tienden a hacerse paulatinamente superficiales hacia aguas abajo, existiendo zonas de afloramiento a partir de la localidad de María Pinto. Las principales fuentes de recarga la constituyen la infiltración de agua del estero Puangue en el sector Superior, y de canales de riego y de derrames de riego en el Puangue Medio, esto último durante la temporada de riego. En el Puangue Inferior la existencia de una capa superficial impermeable crea condiciones desfavorable para este tipo de infiltración ~~pero~~ favorece al mismo tiempo la incorporación de los excedentes de agua a los cursos superficiales del sector.

- En el valle de Casablanca el relleno sedimentario más importante (con potencias de cerca de 150 m) se encuentra ubicado aguas arriba de la localidad de Las Dichas y contiene en forma predominante material de textura media a fina (arenas gruesas y finas) con

intercalaciones de limo y arcilla, salvo en la cabecera de los valles donde se encuentra sedimento más grueso producto de la presencia de conos de deyección de las quebradas laterales. Las formaciones acuíferas corresponden a materiales permeables de espesor variable, interestratificados con sedimentos impermeables ubicados a distintas alturas que le dan un carácter lenticular y heterogéneo. La existencia de una capa superficial arcillosa de entre 5 y 10 m de espesor a lo largo de casi todo el valle, salvo en su cabecera, explica la presencia frecuente de napas confinadas. Las transmisibilidades más importantes de este relleno, que superan los 800 m²/día, se encuentran en el valle de La Viñilla y parte superior del valle de Casablanca; les sigue en importancia el valle de Los Perales de Tapihue y la zona media de Casablanca hasta la ciudad del mismo nombre, con transmisibilidades entre 400 y 800 m²/día. Puede decirse que en general a lo largo de todo el valle las napas son relativamente superficiales, ubicándose a profundidades entre 5 y 10 m, con fluctuaciones estacionales que evidencian una recarga predominante pluvial en invierno y una descarga por bombeo y evaporación durante el período de primavera-verano.

- Las cuencas de San Gerónimo, del Rosario y Cartagena tienen la característica común de desarrollarse en gran parte dentro de la Planicie Costera que abarca hasta el litoral central de Chile. Sus valles han sido rellenos por acumulaciones muy localizadas de depósitos litorales y sedimentos alu-

viales, que contienen arena cuarzosa, feldespatos y conchilla los primeros, y sedimentos arcillosos con intercalaciones clásticas de pequeño espesor y características lenticulares, los segundos. En el valle de San Gerónimo la zona que reviste cierta importancia hidrogeológica se localiza cerca de la desembocadura; en ella el relleno presenta una potencia de unos 30 m y una zona acuífera compuesta de arena dentro de los 10 m de profundidad, con transmisibilidades máximas superiores a 2.000 m²/día. En el valle de estero del Rosario reviste importancia la zona ubicada inmediatamente aguas abajo de la confluencia con el estero Carvajal y aquella ubicada aguas arriba de la confluencia con el estero de Las Lagunillas; en la primera, el relleno tiene una potencia máxima de 40 m y acuíferos superficiales compuestos de material granular e intercalaciones de material arcilloso, con transmisibilidades máximas entre 600 y 800 m²/día; en la segunda zona se presentan condiciones similares en cuanto a formaciones acuíferas, pero aquí las transmisibilidades aparecen fuertemente reducidas. En la cuenca del estero Cartagena la zona que reviste mayor interés es aquella que se ubica inmediatamente aguas arriba de la desembocadura; en ella el relleno tiene potencias máximas de hasta 80 m y contiene acuíferos compuestos de arena y ripio a profundidades variables que van desde los 25 m aguas arriba hasta los 60 m cerca de Cartagena; sus transmisibilidades máximas no superan los 450 m²/día. Las napas en todas las cuencas son de naturaleza freática, con niveles estáticos muy superficiales que en promedio se ubican a no más de 5 m de profundidad en ciertos puntos y a 2 a 3 m, en otros.

Aunque durante la sequía estos niveles sufrieron una notable profundización, posterior a ella se observó una recuperación adecuada, lo cual indica que la recarga pluvial y los caudales subterráneos de estas cuencas estarían en consonancia con las descargas medias de los acuíferos, por lo menos durante el período correspondiente a las observaciones.

- La hoya del estero Yali, caracterizada por el típico paisaje de serranías costeras, presenta algunas depresiones montañosas rellenas con sedimentos cuaternarios, que se disponen en estratos arcillosos alternados casi sistemáticamente con capas de arena a veces mezclada con gravas, las cuales definen el sistema acuífero. Dado que la primera capa es de arcilla, la napa se encuentra confinada; por otra parte de acuerdo a los sondajes existentes, se sabe que el relleno en algunos sectores tiene una potencia cercana a los 100 m. Así, por las características anteriores, los pozos no han demostrado tener una gran eficiencia, lo cual se aprecia en sus transmisibilidades que no superan el rango de 100 a 400 m²/día, en las áreas centrales contiguas a los lechos de los diferentes esteros que confluyen al Yali. Respecto a la fluctuación de la napa, se verifica un comportamiento bastante similar en todo el relleno principal de la cuenca, mostrando un régimen estacional claramente dependiente de las lluvias de invierno y del riego de verano. El nivel medio de la napa, se encuentra entre 2 y 3 m de profundidad, llegando ocasionalmente en algunos sectores a ser surgente. Ahora bien, el bajo número

de pozos existentes en la cuenca y su gran capacidad para regular el agua almacenada , ofrece posibilidades de nuevas captaciones.

En la cuenca del estero Alhué, la zona que reviste mayor interés hidrogeológico se ubica aguas arriba de la confluencia con el estero Las Palmas, hasta la localidad de Villa Alhué. El relleno sedimentario que presenta el valle en esta zona tiene una potencia máxima entre 80 y 100 m, estándolo constituido por depósitos producto de la meteorización de la roca granítica, en la forma de estratos riopio-arenosos y lenticulares, con predominio de arenas gruesas y poco fino, que ubicados a distintas profundidades originan napas de carácter confinado o semi-confinado. Estas formaciones acuíferas presentan transmisibilidades máximas comprendidas entre 100 y 400 m²/día, encontrándose los mayores valores cerca de Quilamuta. Los niveles estáticos medios se ubican a profundidades variables entre 1 y 14 m dependiendo de la localización de los sondeos, con fluctuaciones no mayores de 6 m. Estas fluctuaciones son de naturaleza estacional pudiéndose observar que los mayores niveles, que ocurren alrededor de Octubre, responden a recargas pluviales y los menores, que se producen cerca de Febrero, obedecen a descargas por bombeo durante el período de riego. Las fluctuaciones estacionales se repiten año a año sin grandes cambios, evidenciando que las recuperaciones son adecuadas y consistentes con las demandas de riego del valle.

- En relación a las posibilidades, necesidades y conveniencia de efectuar recargas artificiales en las cuencas incluidas en este estudio, solamente resulta pertinente considerarlo en los casos de las cuencas Maipo-Mapocho y Chacabuco-Polpaico, debido a que en ambas se combinan las condiciones favorables por un lado y la necesidad de ello por otro. En el caso de Maipo-Mapocho la recarga artificial debería hacerse aguas arriba de la zona más intensamente explotada, coincidente con parte importante del área urbana, efectuando labores de ampliación del área inundada del río Maipo, o aprovechando excavaciones existentes que se usan para explotación de áridos, o incluso, utilizando pozos de infiltración en el área Oriente; evidentemente el agua utilizada en esta recarga debería estar desprovista de sedimentos finos. En el caso de la cuenca de Chacabuco-Polpaico, el cauce del estero Santa Margarita resultaría atractivo para efectuar la recarga, con agua proveniente de recursos en exceso transportados por el canal Chacabuco-Polpaico desde el Aconcagua, que se incorporarían a la napa con la ayuda de pretils provisorios sobre el lecho del estero que permtirirían un apozamiento y posterior infiltración del agua; una alternativa a considerar podría ser también la del uso de pozos de infiltración en sectores vecinos a la confluencia del estero Quilapilún con el Chacabuco (zona de altas transmisibilidades).

- En relación a las posibilidades de nuevas captaciones, éstas deben considerarse principalmente en las cuencas donde los recursos de aguas subterráneas son fundamentales, y especialmente en aquellos ca-

sos en que cumpliéndose esta condición existe un uso intenso de ellos que con las nuevas captaciones puede alcanzar niveles peligrosos. En estos casos se encuentran las cuencas Maipo-Mapocho, Chacabuco-Polpaico y en menor grado Casablanca. Respecto a la cuenca Colina-Batuco su explotación es en la actualidad también intensa aunque con menor riesgo de sobreexplotación que las anteriores. A fin de planificar un uso racional del recurso de aguas subterráneas, será conveniente recurrir a modelos de simulación hidrogeológicos para las cuatro cuencas señaladas.

- Con respecto a los volúmenes de explotación segura, éstos fueron calculados para todas aquellas cuencas que no se representarán con modelos de simulación hidrogeológicos. Los resultados obtenidos indican que para un período de 4 años seguidos de sequía las cuencas que podrían explotarse más intensamente serían Puangue (628 l/s promedio), Maipo-Mapocho Superior (436 l/s) y Maipo Inferior (360 l/s), mientras que por el contrario las que quedarían en una condición más precaria serían las del Estero Cartagena (14 l/s) y la del Estero Yali (16 l/s).

3.4 CALIDAD DE LAS AGUAS

Esta parte del estudio tiene por finalidad determinar la calidad de los recursos con que cuenta el área del proyecto.

Para su análisis se ha determinado la calidad del recurso en la fuente misma y la degradación que sufre a través de su recorrido hasta el mar.

La calidad del agua se ha analizado desde un punto de vista bacteriológico, físico y químico, con el fin de determinar su grado de aprovechamiento para agua potable, regadío e industria.

Es de interés el análisis de la calidad de los recursos si se consideran los altos índices de morbilidad en enfermedades de origen hídrico atribuibles al consumo de hortalizas regadas con aguas contaminadas y al hecho de existir grupos poblacionales cerca de estos cursos.

Además, existe la posibilidad de concentración en los terrenos de contaminantes químicos tóxicos, pese al lavado natural que se produce por los drenajes.

Se ha determinado, tanto para las aguas superficiales como subterráneas, la cuantía de los diferentes elementos que contienen, los cuales se han comparado con las normas que sobre la materia existen en la legislación chilena.

3.4.1 Antecedentes Disponibles.

Se han utilizado todos los antecedentes que disponen organismos tales como SENDOS (Servicio Nacional de Obras

Sanitarias), EMOS (Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias), EAPLC (Empresa de Agua Potable Lo Castillo) y D.G.A. (Dirección General de Aguas), las tres primeras llevan, fundamentalmente, controles con fines de aprovechamiento de agua potable y la D.G.A. con el propósito de determinar la degradación del recurso agua en los diferentes cauces y a través del tiempo.

En algunos puntos de interés o sin información se realizaron mediciones durante el desarrollo del presente estudio.

3.4.2 Metodología.

En esta etapa del estudio se amplió la estadística recogida con los datos de los últimos años, considerando todas las estaciones de las hoyas de los ríos Maipo y Mapocho.

Conocido el carácter de los diversos tipos de análisis tomados por los organismos encargados, se extrajo, de cada uno, las características propias de cada enfoque en particular.

Además, se revisaron los criterios de clasificación de las aguas y parámetros de diagnóstico, así como las normas actualmente vigentes.

Hecha la clasificación de las aguas y confrontadas sus características con los patrones de calidad correspondientes se efectuó un enjuiciamiento de las contaminaciones actuales con proposiciones de medidas que permitan la reutilización de los recursos.

3 .4.3 Conclusiones y Recomendaciones.

- Calidad de las aguas en las fuentes de abastecimiento.
 - . La calidad física de las fuentes naturales para su utilización es satisfactoria, previo tratamiento convencional.
 - . La calidad química de las mismas fuentes es aceptable, aunque su exceso de sales minerales hace que ésta sea resistida por personas no acostumbradas.
 - . La calidad general para el riego es aceptable en condiciones adecuadas de drenaje. En algunos puntos se presentan bajos contenidos de Boro que hacen aconsejable la implantación de determinados cultivos.
 - . La calidad general para el uso industrial acusa exceso de dureza lo que ocasiona problemas en ciertos procesos y el envejecimiento de las cañerías metálicas, por incrustaciones.
- Degradación de las aguas en cursos que atraviesan la ciudad.

Las fuentes naturales, al discurrir por la ciudad en cursos abiertos, sufre la fuerte degradación que le ocasionan las descargas de aguas servidas en esos cauces :

El Zanjón de la Aguada se ha transformado de curso receptor de aguas lluvias en un curso séptico colector de 38 descargas de aguas negras y residuos industriales.

El río Mapocho aún no está en tan precarias condiciones, pudiendo distinguirse características diferentes en sus tramos :

En el curso superior, desde su nacimiento hasta el canal San Carlos, recibe descargas mineras, las que ocasionalmente le aportan contaminantes químicos tales como Cobre y Arsénico. Recibe además las primeras descargas de aguas negras y los parámetros de contaminación aún no son elevados.

En el curso medio, desde el canal San Carlos hasta el Zanjón de la Aguada, recibe veinte descargas de aguas servidas y algunas industriales. Los parámetros de contaminación suben notoriamente y sólo al final de este tramo la calidad se recupera, en parte, por la incorporación del estero de Lampa.

En el curso inferior, la descarga del Zanjón de la Aguada con su enorme carga contaminante vuelve a degradar la calidad de las aguas.

- Aptitud de las aguas para su uso en diversos fines.

Existen dos posibilidades prácticas para usar el agua de las fuentes de la hoya del río Maipo con fines de agua potable, como son el aprovechamiento de los cur-

sos superficiales con plantas de purificación completas y utilización de los recursos subterráneos mediante pozos o drenes.

. Cursos Superficiales :

Para estimar la aptitud de los cursos superficiales se confrontó su calidad con lo indicado en las Normas para aguas crudas destinadas a agua potable.

Con respecto a las exigencias físicas no hay problemas, salvo en los cursos contaminados con aguas servidas.

En cuanto a la turbiedad las aguas captadas para su tratamiento en Las Vizcachas y Lo Castillo serían deficientes, según las normas, como fuentes de aguas para ser tratadas. Esto parece una exageración por cuanto en las plantas de filtros rápidos, como es el caso, la turbiedad es abatida con buenos rendimientos y a costos normales. A lo largo de los ríos Maipo y Mapocho se requeriría un tratamiento completo, en cualquier punto.

El color es aceptable en ambos ríos. En Las Vizcachas excepcionalmente se sobrepasa el valor 20, límite para agua "buena". En Lo Castillo la fuente es buena durante todo el año.

De los elementos químicos, merece comentario el Cloro. En Lo Castillo el agua es "buena", pero en Las Viscachas es sólo "regular", característica que se mantiene a lo largo de los ríos Maipo y Mapocho aguas abajo del canal San Carlos.

Los parámetros sanitarios registrados en Las Vizcachas indican un Índice Coli correspondiente a una agua "regular". En cambio el Oxígeno disuelto está bien.

En el Mapocho, salvo el punto de control en El Arrayán antes de la urbanización, todos los valores corresponden a fuente deficiente.

En cuanto a los otros cursos, que de todos modos requieren de tratamiento para mejorar condiciones físicas y sanitarias, presentan los siguientes impedimentos en los lugares que se indican:

Los afluentes en el nacimiento del Mapocho, con excepción del río Molina y estero El Arrayán presentan cuantías de Cobre inaceptables. También se presenta Cobre en el río Yeso en proporción mayor que la tolerable.

El Fierro parecería alto en el río Maipo después de los ríos Yeso, Colorado y en el puente San Ramón. En las mismas condiciones estaría el estero Puangue en María Pinto.

Aguas Subterráneas :

A pesar de las ventajas que tiene sobre las aguas superficiales por no requerir tratamientos para eliminar impurezas físicas y bacteriológicas, el agua subterránea tiene la desventaja de su gran dureza que es entre un 50 y un 100% superior a la del agua superficial, con el agravante de ser en la mayor parte del área de carácter permanente, lo que le da un efecto de laxante (sulfatos) a personas no acostumbradas.

El otro parámetro que se presenta en cuantías sobre la Norma de Agua Potable son los nitratos, en especial en las áreas de Santiago, Maipú Norte, San Miguel y Renca Norte. También se sobrepasan los nitritos en Renca Sur, Cisterna, San Miguel, Buin y Paine. Además se detectó exceso de Nitrógeno de Amoníaco en Cisterna, San Miguel y Paine, lo que hace necesario investigar posibles contaminaciones de origen animal.

Desde el punto de vista de la aptitud para riego y a juzgar por la clasificación de la USSLS la calidad dominante en la hoya es la C_3S_1 , por lo cual se comenzará el análisis por dicha calidad.

- . Agua superficial calidad general C_3S_1 en los ríos Maipo, Mapocho y estero Puangue:

La calidad C_3S_1 , dominante en la hoya, significa agua baja en Sodio pero altamente salina y se define como "agua que no puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aún con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de salinidad y en vegetales muy tolerantes a las sales". Esta clasificación es aplicada a todo el Maipo desde el río Volcán hasta la desembocadura, incluyendo sus afluentes Volcán y Yeso, predominando el Sulfato y el Calcio y teniendo como agravantes, en los lugares que se indican, los siguientes elementos :

Boro : en grado bajo en el curso superior hasta el río Colorado; grado alto en la confluencia del Angostura y nuevamente grado bajo en el curso in-

ferior. (Grado bajo significa aptitud general salvo para cultivos sensibles; grado alto significa aptitud sólo para cultivos muy tolerantes).

Fierro : en grado medio en El Ingenio y Las Lajas y en grado alto en el Puente San Ramón. (Grado medio está sobre la norma de concentración para riego; grado alto, más del doble del límite máximo).

Cobre: en grado bajo en el Puente San Ramón.

El río Mapocho está dentro de la calidad general C₃S₁, pero a partir del canal San Carlos se tiene la siguiente situación :

Boro : en grado bajo en la desembocadura (El Monte).

Cobre : en grado bajo desde el puente Resbalón hasta pasado el Estero Lampa.

En el estero Puangue, los elementos contaminantes son :

Boro : sobrepasando apenas el límite de grado bajo en el cruce con el camino a San Antonio.

Fierro : sobrepasando apenas el límite de grado bajo en María Pinto.

- . Aguas superficiales calidad C₂S₁ : Mapocho Alto y sus afluentes, Río Angostura y Estero Colina.

El Mapocho Alto que contiene agua sulfatada-cálcica, y los cursos Angostura y Colina, con agua bi-

carbonatada cálcica, presentan la calidad C_2S_1 que se define como "agua que puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado".

El elemento contaminante en la estación Mapocho antes del estero Arrayán es el cobre, en grado alto (4,42 mgr/l es el máximo registrado), aunque se presenta ocasionalmente en la toma de Lo Castillo. Por el contrario, en los afluentes y sub-afluentes del Mapocho, San Francisco, Yerba Loca, Plano y Dolores se presenta con concentraciones muy grandes, hasta 52 mgr/l.

En los cursos Angostura y Colina no se registran elementos contaminantes en exceso.

. Aguas Subterráneas Calidad C_3S_1 .

Tal como en las aguas superficiales la calidad dominante es la C_3S_1 . Desde el punto de vista del regadío, el elemento nocivo que se presenta es el Boro, con exceso en los grados inferiores:

Boro : en grado medio, 0,75 mgr/l, apto para cultivos tolerantes en Colina Sur, Quilicura Oriente y Maipú.

Boro : en grado bajo, 0,75 a 2 mgr/l, apto para cultivos semitolerantes en Pudahuel Sur Oriente y en parte de Conchalí.

. Aguas Subterráneas Calidad C_2S_1 : Colina Norte, Polpaico, Lampa, Providencia, Las Condes y Pudahuel Nor-poniente.

Esta calidad se presenta con excesos de Boro en su grado bajo, esto es, con aptitud general, salvo para cultivos sensibles, en las áreas de Colina Norte y Lampa. En Polpaico, Providencia, Las Condes y Pudahuel Nor-poniente no hay excesos de boro.

- . Aguas Subterráneas Calidad C₁S₁ : Quilicura Po-niente.

La calidad de las aguas en Quilicura Poniente es óptima de acuerdo con la clase indicada y no tienen exceso de Boro, pero presenta un alto porcentaje de Sodio que no influye en el SAR por el bajo contenido salino general, pero podría tener efecto acumulativo por provenir, como se supone, del contenido del elemento de los suelos.

3.5 SEDIMENTACION.

El arrastre de sedimentos tiene primordial importancia en el diseño de las obras hidráulicas. Está constituido por el arrastre en suspensión y el arrastre por el fondo.

El arrastre en suspensión se puede medir experimentalmente con cierta eficacia, no ocurriendo lo mismo con el de fondo, que se estima teóricamente.

En este caso el arrastre en suspensión se estimará a partir de los datos obtenidos de estaciones que tienen registros de sedimentación, mientras que el arrastre de fondo se ha estimado como un porcentaje del primero, estableciéndose una cifra, superior a lo normal, de 15%.

El arrastre de un río depende de muchos factores, de los cuales el más importante es la precipitación. Siendo el caudal de un río función de la precipitación, deberá existir una relación entre el caudal y el arrastre de sedimentos. Esta relación es exponencial y al realizarla gráficamente se observa una nube de puntos que dificulta una buena correlación, aunque siempre se observa una tendencia que permite adoptar alguna relación entre arrastre de sedimentos y caudal.

3.5.1 Antecedentes Sedimentométricos.

En esta cuenca existen antecedentes sedimentométricos en las siguientes estaciones :

- . Río Maipo en Bocatoma Queltehues
- . Río Volcán en Queltehues
- . Río Colorado en Desembocadura
- . Río Maipo en El Manzano
- . Río Mapocho en Los Almendros
- . Canal San Carlos en Desembocadura (C.C.U.)
- . Río Mapocho en Rinconada Maipú

Los controles empezaron a realizarse en algunas estaciones en el año 1965.

Los antecedentes entregados por la D.G.A. corresponden a las concentraciones diarias de las muestras extraídas del río, en mg/l (g/m³) y los promedios mensuales. Estos promedios no siempre corresponden a un valor medio mensual por no estar completa la estadística de concentraciones diarias. Se han considerado como concentraciones medias mensuales aquellas que sólo le faltaban 4 días de estadística.

Los registros de concentraciones medias mensuales se han transformado a estadística de gasto sólido en suspensión mensual.

3.5.2 Metodología.

Se realizaron las siguientes etapas :

- Se obtuvo la curva de descarga del sólido en suspensión en función del caudal medio mensual. Esta relación se estableció gráficamente en un papel log-log.

Los valores representativos de cada mes forman una nube de puntos, a los que se les ajustó una o dos

rectas para representar la tendencia media de los puntos.

Posteriormente, se calcularon las ecuaciones de las rectas.

- Se calculó el promedio anual del sedimento en suspensión.
- Se relleno la estadística del gasto mensual del sólido en suspensión a partir del caudal medio de la estadística y de la curva de descarga del sedimento en suspensión.
- Se calculó el promedio estadístico del gasto anual del sólido en suspensión.
- El volumen de suelo arrastrado se calculó suponiendo que el peso específico del suelo es de 2,00 ton/m³.

3.5.3 Conclusiones y Recomendaciones.

En el Cuadro N° 5 se han calculado los parámetros característicos del arrastre de sedimento y que permiten comparar el comportamiento de cada cuenca.

En este cuadro puede observarse que :

- El arrastre de fondo estimado para la cuenca del río Maipo en El Manzano aparece como muy alto al compararlo con la de Volcán en Queltehues y Colorado en Desembocadura que se encuentran aguas arriba.

La razón debe encontrarse en la forma como se han tomado las muestras o como han sido analizadas, ya que en el laboratorio de la D.G.A. se han utilizado dos métodos de análisis. El de calcinación, que proporciona valores más bajos y reales, y el del turbidímetro que sobrestima los valores de la concentración.

- Los valores de Volcán en Queltéhues pueden estar igualmente sobrestimados.
- La cuenca del río Mapocho aparece como la que está sufriendo menos el fenómeno de la erosión, especialmente su cuenca baja, debido principalmente a la escasez de precipitaciones.
- En general, las dispersiones de los puntos de la relación entre el gasto sólido en suspensión y los caudales medios mensuales es excesiva, tal vez debido a las razones dadas anteriormente.

De los resultados obtenidos se concluye que cada cuenca tiene erosiones diferentes, en consecuencia las relaciones obtenidas son propias de cada cuenca y no es posible aplicarlas a otras cercanas.

Es así como los caudales específicos de gasto sólido total son mucho menores en el río Mapocho que en el Maipo Alto. A su vez, la cuenca del río Maipo en El Manzano menos las de los ríos Colorado y Volcán es mayor que la de estos ríos solos, ya que se tiene :

	q ton/año/km ²
Volcán en Queltehues	660
Colorado en Desembocadura	398
Maipo en El Manzano -(R.Volcán+R.Colorado)	1.427
Mapocho en Los Almendros	204
Mapocho entre Rinconada Maipú y Los Almen dros	41

Esta es la razón por la cual es indispensable medir el gasto sólido en aquellos puntos donde se piense realizar algún proyecto específico, especialmente si se trata de la construcción de un embalse, ya que el volumen sedimentado puede ser muy grande, si se tiene en cuenta que el peso específico del gasto en suspensión de un embalse es del orden de 1,3 ton/m³ y el de arrastre por el fondo de 2,2 ton/m³.

El punto más conflictivo es en El Manzano, por lo cual es recomendable estudiar el río Maipo aguas arriba de dicho punto. Estos lugares podrían ser Maipo en San Alfonso y Maipo en Las Melosas.

Aguas abajo sería conveniente medir el gasto sólido antes de la junta con el río Mapocho y especialmente en Maipo en Cabimbao que totaliza el sedimento arrastrado y representa, por lo tanto, la erosión total de la cuenca.

También se hace necesario efectuar mediciones en el tramo comprendido entre Maipo en Cabimbao y la desembocadura del río Mapocho para determinar el aporte de gasto sólido en suspensión de esta cuenca intermedia que es de muy baja pluviosidad.

CUADRO N° 5

PARAMETROS DE SEDIMENTACION Y EROSION

	A km ²	Gsa ton/año	Gfa ton/año	G _{Ta} ton/año	V _E m ³ /año	Hs mm/año	qs ton/año/km ²
1.- Volcán en Queltehues	523	300.072	45.011	345.083	172.541	0,330	660
2.- Colorado en desembocadura	1.713	593.520	89.028	682.548	341.274	0,199	398
3.- Maipo en El Manzano	4.968	4.283.000	642.450	4.925.450	2.462.725	0,496	991
4.- Mapocho en Los Almendros	620	110.076	16.511	126.587	62.294	0,102	204
5.- Mapocho en Rinconada Maipú	4.068	234.024	35.104	269.128	134.564	0,033	66

A = Area de la cuenca

Gsa = Gasto anual de sólido en suspensión

Gfa = Arrastre por el fondo

G_{Ta} = Arrastre total igual a Gsa + GfaV_E = Volumen erosionado anualmente $V_E = G_{Ta}/2,0$ Hs = Altura de suelo arrastrado $Hs = V_E/A$ qs = Gasto sólido específico $qs = G_{Ta}/A$

3.6 MODELO HIDROGEOLOGICO

El agua subterránea constituye un recurso de gran magnitud dentro del ámbito general de la cuenca debido a la gran extensión de los acuíferos, su ubicación en sectores de gran demanda y especialmente por su elevada capacidad de regulación interanual.

Conforme al conocimiento hidrogeológico alcanzado hasta la fecha se seleccionaron tres embalses subterráneos. Estos son los de Maipo-Mapocho, Chacabuco-Polpaico y Casablanca.

El objeto de emplear modelos hidrogeológicos corresponde a la necesidad de efectuar en forma rápida análisis y síntesis de un gran número de datos y variables que intervienen en el funcionamiento de los embalses subterráneos para predecir su comportamiento frente a diferentes condiciones de explotación.

La precisión de un modelo matemático depende de la bondad de los datos de entrada y de la calidad de las medidas de terreno que sirven de contraste en el proceso de simulación. Esto en la práctica se logra mediante un proceso dinámico en el que se efectúa un primer ajuste con los datos existentes y posteriormente se continúa operando el sistema de acuerdo con los datos que se obtengan de la explotación simulada del acuífero.

Para modelar hidrogeológicamente las tres cuencas se ha elegido un modelo matemático en régimen transitorio. Esto significa que todas las variables que intervienen son

numéricas, que el proceso de cálculo se hace a nivel diario y que en él se pueden incorporar todas las de mandas que conforman el acuífero.

El programa utilizado (SIMAC 1) ha introducido algunas modificaciones entre las que se destacan aquellas que se refieren a usar la existencia de vertientes co mo un elemento de contraste con la realidad.

3.6.1 Antecedentes Utilizados.

Los modelos hidrogeológicos antes mencionados, se desa rrollaron sobre la base de la siguiente información:

Antecedentes contenidos en los volúmenes V y VII del estudio "El Agua Subterránea de la Cuenca de Santiago" (CORFO-IIG, 1976).

Antecedentes contenidos en la memoria de título "Técni ca Isotrópica en Estudios Hidrogeológicos, Aplicación a la Cuenca Chacabuco-Polpaico", Orfhanopoulos y Cabre ra, 1982.

Antecedentes de terreno recopilados especialmente para este estudio, tales como:

- Encuestas de volúmenes bombeados.
- Localización y aforo de descargas de agua subterránea por medio de vertientes.
- Reconocimiento del acuífero detrítico para definir sus condiciones de borde.

Antecedentes obtenidos del Catastro de Pozos de la Cuenca del Maipo, actualizado para este estudio.

Antecedentes incluídos en el estudio "El Agua Subterránea de Santiago" (IPLA-DGA, 1974).

Antecedentes sobre canales y red de riego contenidos en el "Estudio de Racionalización de la 1a. Sección del Río Maipo" (IPLA-DGA, 1970).

Antecedentes incluídos en la memoria de título "Hidrogeología del Sector Pudahuel" (Fernando Peralta, 1966).

3.6.2 Metodología

El análisis general de los antecedentes existentes permitió definir el modelo más apropiado así como también la escala de trabajo a emplear.

Luego se ha procedido a estructurar matemáticamente el modelo seleccionado, conocido bajo el nombre de SIMAC1. Este es un modelo matemático en régimen transitorio en que las variables de simulación son numéricas y pueden cambiar sus valores a lo largo del período de simulación. El modelo utiliza la técnica de diferencias finitas para resolver las ecuaciones del flujo subterráneo y se basa en el trabajo desarrollado por Prickett y Lonquistt para el Illinois State Water Survey (USA) en 1971.

Sobre esta base, y la geomorfología de las áreas a modelar, se ha discretizado los embalses subterráneos en elementos rectangulares, dimensionados de acuerdo con las condiciones de borde identificadas y con la cantidad de información disponible. De esta forma se ha elegido también la unidad de tiempo a emplear.

El objetivo del modelo consiste en representar lo más fielmente posible la realidad física del funcionamiento de los embalses subterráneos estudiados lo que se consigue al comparar los resultados que entrega con la realidad observada. Estos resultados dependen de los datos de entrada que se asignen a las distintas unidades físicas e intervalos de tiempo en que se ha discretizado cada embalse subterráneo.

Para la obtención de los datos de entrada se ha analizado en primer lugar los antecedentes existentes, los que se han sintetizado y elaborado de forma que se ajusten al formato de entrada de información del modelo. Adicionalmente ha sido necesario efectuar algunos trabajos de terreno para completar estos antecedentes, como son una encuesta de los volúmenes bombeados, tanto en riego como en industrias y agua potable, y el catastro, ubicación y medición de vertientes.

Completada esta etapa se ha procedido al ajuste de los modelos, proceso que se logra mediante la modificación de los datos de entrada que son susceptibles de ser cambiados. Estos son aquellos como las infiltraciones por lluvias y de riego, que se apoyan en hipótesis cuya validez se comprueba con las respuestas que da el modelo.

Una vez que las salidas del modelo han concordado razonablemente con la realidad registrada, se ha simulado diferentes condiciones de explotación para estudiar las reacciones de los embalses subterráneos frente a ellas.

De esta manera se ha construido una eficaz herramienta de estudio y evaluación de las posibilidades de explotación de los recursos hídricos subterráneos.

3.6.3 Conclusiones y Recomendaciones

Los modelos matemáticos construídos para reproducir las características hidrogeológicas de los acuíferos de Maipo-Mapocho, Chacabuco-Polpaico y Casablanca, son herramientas adecuadas y útiles para estudiar el comportamiento actual y futuro de los embalses subterráneos frente a diversas condiciones de explotación.

Por ser el proceso de modelación por naturaleza dinámico, requiere de datos de terreno más completos y abundantes para mejorar la representación matemática de un acuífero.

En este sentido es particularmente importante el conocimiento de los acuíferos que otorgan los modelos desarrollados que, por necesitar de un análisis muy profundo para su implementación, han permitido determinar con bastante certeza la información que hace falta para completar el estudio de los embalses subterráneos. Por ello es que se presentan también una serie de recomendaciones sobre los trabajos de terreno requeridos para cada uno de los acuíferos estudiados.

A continuación se resume las principales conclusiones que derivan del trabajo desarrollado, presentándose separadas para cada uno de los embalses subterráneos estudiados.

3.6.3.1 Area Maipo-Mapocho

El acuífero del Maipo-Mapocho conforma uno de los principales embalses subterráneos del país, tanto por su extensión y volumen almacenado como por su ubicación

geográfica, ya que se localiza en un gran centro de demanda tanto para usos domésticos, industriales y agrícolas. Tiene una superficie de 2.000 km² y una potencia media de relleno de 150 m, con un volumen aproximado de 10.000 millones de m³ de agua.

A pesar de tener todas estas ventajas, no se encuentra intensivamente explotado, ni empleado como embalse regulador; esto probablemente se deba a que existe un desconocimiento de sus características y posibilidades de mayor uso.

Existen extensas zonas con afloramientos de aguas subterráneas, las que debidamente saneadas se pueden recuperar para su empleo en la agricultura. Para ello se puede recurrir a dos acciones en paralelo como son la explotación de agua subterránea y la construcción de zonas de drenaje.

Por otra parte existe una serie de sondeos para extracción de agua potable, explotación que podría ser incrementada sin perjuicio aparente para el embalse subterráneo.

Como resultado del proceso de ajuste se ha identificado para el acuífero, tres grandes zonas de comportamiento hidrogeológico relativamente homogéneo. Estas se han denominado Norte, Oriente y Sur, localizándose la primera al Norte del río Mapocho, la segunda abarcando toda la ciudad de Santiago hasta San Bernardo, incluidos los faldeos precordilleranos, y la última tomando la superficie que está al Sur de los cerros de Chena y al Poniente de dicha ciudad.

La zona Norte se caracteriza por sus niveles subterráneos poco profundos y el confinamiento a que está sometida.

tida la napa en gran parte de su extensión. Las recargas ocurren fundamentalmente por las infiltraciones desde los esteros Lampa y Colina y las producidas por las lluvias que ingresan al acuífero esencialmente por el piedemonte. Las descargas se manifiestan tanto por bombeos, destinados principalmente al riego, como salidas por vertientes, evapotranspiración directa y escurrimientos subterráneos hacia las zonas más bajas de la cuenca.

La zona Oriente presenta niveles estáticos más bien profundos, recargando el acuífero las lluvias, las infiltraciones de riego y las provenientes de los ríos Maipo y Mapocho, y las pérdidas desde la red de agua potable. Las descargas principales son el bombeo para agua potable e industrias y las salidas subterráneas al resto de la cuenca.

La zona Sur tiene niveles estáticos superficiales en su mayor parte. Su principal característica hidrogeológica es, sin embargo, la de constituir la región de descarga del embalse subterráneo, la que se manifiesta a través de numerosas vertientes. Como aportes al acuífero se cuentan las infiltraciones por lluvias y regadío, éstas últimas muy importantes y los aportes subterráneos provenientes del resto de la cuenca. Además de las vertientes, se cuentan como salidas desde el acuífero, los bombeos para regadío, y los efluentes subterráneos hacia el Poniente.

En cuanto al comportamiento global del embalse subterráneo, el proceso de ajuste ha indicado que para el período 1974/75 el balance másico se desglosa en 1.226 millones de m³ anuales entrando al acuífero y 982 millones de m³ anuales saliendo de él, lo que significa un embalsamiento neto de 244 millones de m³ en el año.

Las entradas al acuífero, expresadas en millones de m³ anuales, se dividen en 197 Mm³ provenientes de las infiltraciones por lluvias, 687 Mm³ de las infiltraciones de riego, 136 Mm³ producto de las infiltraciones desde la red de agua potable, 174 Mm³ por infiltración desde ríos y esteros, y 32 Mm³ como entradas subterráneas desde otros acuíferos o el piedemonte.

A su vez las salidas desde el acuífero, expresadas también en millones de m³ anuales, se componen de 76 Mm³ en salidas subterráneas hacia otros acuíferos, 208 Mm³ en descargas directas a cauces superficiales, 491 Mm³ en afloramientos de la napa por vertientes y 206 Mm³ en bombeos.

En el proceso de simulación se ha estudiado simultáneamente una explotación más intensiva del acuífero en la zona Norte con fines de riego, el abastecimiento de futuras demandas de agua potable con recursos provenientes de embalse subterráneo, y el drenaje de tierras agrícolas en las localidades de Paine y Viluco, en el extremo Sur de la cuenca.

Esta explotación más intensiva del acuífero significa triplicar los actuales bombeos de agua potable y multiplicar por 2,3 los bombeos de riego, con lo que el bombeo total se eleva de 206 a 504 millones de m³ anuales.

Como resultado se ha obtenido que el acuífero admite sin dificultades las nuevas explotaciones, provocando el riego de la zona Norte un descenso de niveles que fluctúa entre los 3 y 16 metros con un promedio cercano a los 7 metros, mientras que el abastecimiento adicional de agua potable significa un descenso de niveles promedio de 3 a 4 metros.

En cuanto al saneamiento del sector Sur, los drenes exis

tentes con este fin son claramente insuficientes. Esto indicaría la necesidad de una red de drenaje mucho más amplia, extensa y profunda que la actualmente existente.

3.6.3.2 Area Chacabuco-Polpaico

El acuífero de Chacabuco-Polpaico se encuentra localizado en el relleno aluvial de los esteros del mismo nombre, Quilapilún y Peldehue. Por su cercanía a Santiago, principal centro consumidor del país, y por la bondad de su clima, se ha ido desarrollando una floreciente agricultura, principalmente de carácter frutícola. Dado que los esteros no tienen escurrimiento permanente, la agricultura de regadío ha debido establecerse con aguas trasvasadas desde el río Aconcagua a través del canal Chacabuco-Polpaico y por medio de la extracción de agua subterránea.

La superficie regada actualmente alcanza a las 9.000 hás, sin embargo, existen años de déficit hidrológico en los que los recursos de agua superficial son insuficientes lo cual, unido al temor de la insuficiencia de los recursos de agua subterránea, han creado un ambiente de inseguridad en los usuarios.

Como resultado del proceso de ajuste, se han reconocido para el acuífero dos grandes sectores de comportamiento hidrogeológico relativamente homogéneo. Uno corresponde a la zona ubicada desde la parte alta de la cuenca hasta la Angostura de Quilapilún. El otro involucra la región comprendida entre la angostura anterior y la junta de los esteros Chacabuco y Til-Til, en Chicauma.

El primero se recarga fundamentalmente por infiltraciones de riego y aquellas que ocurren desde los esteros

en Invierno y el canal Chacabuco-Polpaico en la época de riego. La explotación de esta área es bastante me
nos intensa que el resto de la cuenca.

En el segundo sector juegan un papel muy importante las infiltraciones de riego y por lluvias, intensificándose fuertemente además los volúmenes bombeados para riego.

El proceso de ajuste ha determinado que globalmente el embalse subterráneo, durante el período 1974/75, habría recibido una recarga de 42,5 millones de m³ por año mien
tras que las descargas serían de 31,2 millones de m³ anua
les. Por su parte el embalsamiento alcanzaría a los 10,6 millones de m³ por año, cifra que se aleja ligeramente de la diferencia entre las entradas y salidas al embalse. La razón de este desajuste está en la precisión de la aproxi
mación matemática, pero su valor no supera los límites de precisión del modelo.

Desglosando en los elementos de recarga y descarga del acuífero se tiene, en millones de m³ por año, que a la recarga aportan 11,8 Mm³ las infiltraciones por lluvias, 5,2 Mm³ las infiltraciones desde esteros, 17,8 Mm³ las infiltraciones de riego y 7,7 Mm³ las entradas subterr
neas desde otros acuíferos o el piedemonte. En cuanto a las descargas, 6,1 Mm³ salen subterráneamente fuera de los límites del área modelada y 25,1 Mm³ se extraen por bombeo.

Para la simulación se han planteado dos posibilidades de explotación futura.

La primera significó reemplazar el riego superficial de la cuenca por uno con aguas subterráneas, suponiendo una falla del canal Chacabuco-Polpaico. La simulación, efec
tuada durante dos años, significó un bombeo casi tres ve
ces el actual lo que permite establecer que el acuífero puede soportar sin mayores problemas esta situación, res

pondiendo con descensos que en promedio son de 4,5 m. Sólo la región alta del sector Chacabuco presenta descensos más violentos, pero que en ningún caso superan los 20 m. En cambio, la región ubicada aguas abajo de la Carretera Panamericana, y que corresponde a la más fuertemente explotada en la actualidad, tiene descensos máximos de sólo 6 m, y de no más de 2 m en gran parte de su extensión.

La segunda simulación ha estudiado el comportamiento del embalse subterráneo al incorporar al riego las zonas actualmente consideradas de secano arable. Esto lleva a un bombeo total que supera en 40% el actual, obteniéndose como resultado que el acuífero prácticamente no siente el cambio, y que el área realmente afectada por la explotación futura no va más allá de los límites de los nuevos sectores de riego.

En definitiva, tanto la primera como la segunda simulación indican claramente que el acuífero es capaz de soportar demandas mucho mayores que las actuales.

En todo caso en el futuro el acuífero deberá funcionar efectivamente como embalse subterráneo, con descensos de niveles en los años con poca recarga y recuperaciones en períodos de abundancia de aguas superficiales.

3.6.3.3 Area Casablanca

El acuífero llamado Casablanca corresponde a los rеллenos aluviales del valle del Estero Casablanca y de sus afluentes, los esteros Tapihue, Lo Ovalle y Lo Orozco. El valle de Casablanca tiene una dirección Oriente-Occidente aproximadamente y los valles laterales, sentido perpendicular a él.

El desarrollo agrícola del valle de Casablanca, con 7.500 hás regadas actualmente, está basado en un uso combinado de los embalses subterráneos y superficiales. Existen 4 embalses de acumulación de aguas lluvias de temporada en las cabeceras de dichos esteros los cuales permiten el regadío de los valles el que se complementa con agua subterránea extraída por medio de pozos y sondeos.

Uno de los factores limitantes del desarrollo agrícola del valle, lo constituyen la falta de recursos hídricos propios en el área.

El proceso de ajuste ha permitido establecer que gran parte de las recargas del acuífero se verifican por los bordes y a través de los piedemontes de las numerosas cadenas de cerros que encierran el valle. Las descargas principales son por vertientes, evapotranspiración directa y bombeos.

El balance másico para el período 1974/75, ha señalado que al embalse subterráneo entran como recarga un total de 36,1 millones de m³ anuales y salen como descarga 27,6 millones de m³ anuales. La diferencia entre estas cifras da 8,5 millones de m³ por año como embalsamiento, valor que difiere ligeramente de los 8,1 Mm³/año entregados por el modelo. Esta pequeña diferencia está dentro de los límites de precisión del modelo.

Desglosando los elementos de recarga se obtuvo que anualmente 14,7 Mm³ provienen de las infiltraciones por lluvias, 9,9 Mm³ de las infiltraciones de riego y 11,5 Mm³ de las entradas subterráneas por el piedemonte y pequeños acuíferos laterales.

Por su parte las descargas anuales provienen de 1,1 Mm³ por salidas subterráneas hacia otros acuíferos, 8,4 Mm³ por afloramientos de vertientes y 18,1 Mm³ por bombeo.

Para la simulación se ha planteado dos posibilidades:

La primera consistió en suponer un año de sequía, reemplazando en los sectores de riego permanente, las aguas superficiales por el regadío con agua de pozo. Para este caso se ha suprimido el riego en las zonas catalogadas como de riego eventual, requiriéndose un bombeo total que supera en 67% el actual.

La segunda simulación incorpora al riego permanente las zonas actualmente consideradas como sin riego o riego eventual, con lo cual el bombeo aumenta a 2,5 veces el valor actual.

Los resultados para ambos casos indican que el acuífero es plenamente capaz de proveer el abastecimiento requerido, sin sobrepasar en ninguno de los dos casos los 6 m para los descensos de nivel. El descenso promedio fue de 2,5 y 3,5 m, para la primera y segunda simulación, respectivamente.

Con esto podría asegurarse el riego actual e incorporar nuevos sectores al regadío, en un valle estratégicamente bien ubicado respecto de los mayores centros de consumo del país, a lo que se suma su cercanía al puerto de Valparaíso para el caso de exportaciones agropecuarias.

RECOMENDACIONES

Con el propósito de ampliar la información existente en las áreas estudiadas y en otras zonas que no disponen de antecedentes, se recomienda realizar las siguientes actividades:

- Ubicación de la roca basal e identificación de sectores de mayor y menor permeabilidad dentro del acuífero. Para esto lo más adecuado es una campaña de geofísica de resistividad eléctrica.
- Localización exhaustiva de norias y vertientes en las zonas del acuífero con la napa cercana a la superficie, para luego aforar y medir niveles estáticos en un número seleccionado de ellas.
- Determinación de cotas de terreno precisas y concordantes para sondeos, pozos, norias, vertientes y fondos de ríos y esteros. Para ello será necesario el desarrollo de una campaña de nivelación.
- Medición sistemática de niveles estáticos en un número seleccionado de pozos y norias, distribuidos lo más uniformemente posible sobre el área de la cuenca y en especial en aquellos sectores de características muy singulares.
- Perforación de algunos sondeos y norias de reconocimiento en los sectores que cuentan con escasa información hidrogeológica.
- Campaña de mediciones de los caudales derivados por canales y los aplicados a los predios, además de experiencias de infiltraciones en predios tipo.
- Encuesta exhaustiva de los volúmenes extraídos por pozos, tanto en aquellos destinados a regadío como los que se emplean en el abastecimiento de agua potable e industrias.

Las campañas de aforos de vertientes, de medida de niveles estáticos, análisis de riego y encuesta de los volúmenes bombeados deberán hacerse en forma simultánea y continuada, y por un período no inferior a un año.

3.7 ESTUDIO DE PERDIDAS Y RECUPERACIONES.

La recuperación de un río es un fenómeno frecuente en la zona central y norte de Chile que consiste en un incremento o recuperación del caudal del mismo, a pesar de haber sido agotado por las extracciones de canales en secciones de más aguas arriba y sin que existan nuevos afluentes superficiales.

A su vez, las pérdidas de un río consisten en la disminución del caudal del río, a pesar de no haber sido agotado en secciones de aguas arriba y de recibir aportes intermedios de caudal. Las pérdidas suelen ocurrir en los primeros tramos del río, ubicados en la zona comúnmente llamada primera sección de regadío del valle, donde el nivel freático se encuentra profundo y los materiales suelen ser de granulometría más gruesa favoreciendo la infiltración, sobretodo en épocas de grandes escurrimientos.

En las secciones más bajas de los ríos suelen presentar se recuperaciones debido a la presencia de menores transmisibilidades causadas por materiales más finos que ocasionan afloramientos de la napa subterránea. También se producen retornos de riego y sobrantes causados por dotaciones altas empleadas en las secciones de más arriba y por no existir suficiente capacidad de regulación dando origen a sobrantes nocturnos y de fin de semana.

Todo lo anterior indicó la necesidad de analizar este fenómeno en particular, lo que fue de gran utilidad para el estudio y planificación de los recursos hidráulicos en la hoya del río Maipo, ya que incide directamente en la determinación de los recursos de agua disponibles.

3.7.1 Antecedentes Disponible:

Un análisis completo de este fenómeno exige contar con experiencias de aforos sistemáticas, periódicas y bien planificadas, además de antecedentes complementarios sobre los acuíferos y áreas de riego de la zona en estudio.

En el caso de los aforos se contó con los antecedentes de experiencias realizadas por la D.G.A. en el río Mapocho, entre los años 1952-1955. Además se contó con corridas de aforos a nivel de sección de dicho río, efectuadas entre los años 1947 y 1952.

Para el río Maipo se contó con las experiencias realizadas por la D.G.A. en conjunto con la Ex-División de Recursos Hidráulicos de CORFO, durante el año 1975.

Toda esta información se complementó con los antecedentes sobre el acuífero de la cuenca de Santiago incluidos en el estudio "Aguas Subterráneas de Santiago" efectuado por IPLA el año 1974.

3.7.2 Metodología.

Se ha formulado un planteamiento teórico general que permite determinar los retornos de riego sobre la base de lo que se ha denominado la tasa efectiva, concepto que corresponde a los consumos efectivos de agua incluyendo pérdidas en la conducción y aplicación del agua a los terrenos pero tal, que si se aplicara, no se producirían retornos de riego.

Se ha planteado la ecuación de continuidad para los tramos de ríos, para un acuífero y para una cuenca completa a nivel de valle estableciéndose el rol y relación entre las variables que intervienen en cada elemento.

De esta forma el análisis de los tramos de río con los datos de las corridas de aforo y el conocimiento de los niveles freáticos así como de la red de riego permite caracterizar cada tramo en cuanto a pérdidas y recuperaciones.

El balance de la cuenca a nivel de piso del valle permite obtener la evapotranspiración y la tasa efectiva del valle, la cual resulta de 13.000 m³/há/año concordando así con las obtenidas en estudios anteriores.

Los antecedentes sobre el agua subterránea permiten obtener valores para los diferentes términos que intervienen en el balance hídrico de los acuíferos, considerándolos como embalses de agua subterránea. Ha sido posible estimar una relación para las recargas provenientes del río Maipo en función del caudal del mismo y obtener una relación aproximadamente lineal, lo que es de gran ayuda para la posterior simulación del acuífero con fines de planificación de recursos hidráulicos.

3.7.3 Conclusiones y Recomendaciones.

- Río Mapocho :

En el río Mapocho, desde Rinconada de Maipú hasta su confluencia con el río Maipo, se presentan recupe

raciones que varían entre 6 y 22 m³/s, siendo su valor promedio del orden de 13 m³/s.

Las recuperaciones señaladas incluyen tanto afloramientos de agua subterránea como retornos de riego superficiales que no fueron medidos en las corridas de aforo.

Los afloramientos de agua subterránea son bastante permanentes, fluctuando solamente entre 6 y 7 m³/s. Los retornos de riego superficiales no aforados explicarían la variación obtenida.

Los retornos de riego de la ribera izquierda del río provienen en parte importante de áreas regadas con recursos de la primera sección del río Maipo.

- Río Maipo :

El primer sector del río Maipo, desde El Manzano hasta el puente del ferrocarril Paine-Talagante, es un sector de pérdidas. Ellas fluctuaron entre 0,1 y 6,7 m³/s. Puede afirmarse que si se relacionan estas pérdidas del río en su lecho con el caudal del río a la entrada del tramo, se llega a conclusiones similares a las obtenidas por IPLA en el estudio mencionado.

El segundo sector del río Maipo, desde el puente del ferrocarril Paine-Talagante hasta el puente Naltahua, presenta recuperaciones de agua. Ellas provienen tanto de afloramientos de la napa subterránea, que ya se encuentra muy superficial, como de retornos de riego de áreas regadas con canales del río Mapocho. En las experiencias efectuadas se obtuvieron recuperaciones entre 4,5 y 11,0 m³/s.

El tercer sector del río Maipo, que se inicia en el puente Naltahua y termina en Melipilla, mostró importantes recuperaciones que variaron entre 13 y 19 m³/s. Los afloramientos de agua subterránea son del orden de 5 m³/s, por lo que los retornos de riego deben ser bastante relevantes.

Mediante la aplicación de un balance hidrológico al sistema definido por el valle propiamente tal, entre la salida del área andina y Maipo en Cabim_{ba}o, fue posible determinar una demanda evapotranspirativa anual del orden de 7.400 m³/ha y una tasa efectiva anual en bocatoma de 13.000 m³/há.

- La existencia de este fenómeno y su incidencia en la determinación de los recursos disponibles hace necesario planificar la realización de corridas de aforos en forma sistemática y periódica, en especial, en las primeras secciones legales de los ríos.

3.8 MODELO DE SIMULACION DEL SISTEMA DE RECURSOS HIDRAULICOS.

La gran superficie del área en estudio y la complejidad del funcionamiento propio de cada cuenca o subcuenca que conforman dicha área hizo necesario su análisis mediante balances hídricos parciales y totales en diversos puntos del área.

Para efectuar dicho análisis fue necesario elaborar un modelo de simulación del sistema el cual, no sólo facilita el manejo de la información que requiere sino que además permite analizar el efecto que producirían eventuales mejoramientos en las prácticas de riego actuales.

Este modelo se estructuró de modo que en su operación considera solamente las obras existentes. No obstante su elaboración permite que en etapas futuras se le puedan incorporar aquellos proyectos de obras que sea necesario desarrollar.

3.8.1 Antecedentes Utilizados.

Para la operación del modelo de simulación desarrollado se contó con todas las estadísticas hidrológicas e información hidrogeológica analizadas durante el desarrollo del estudio.

Se consideró además toda la información complementaria contenida en estudios realizados anteriormente.

Del estudio de pérdidas y recuperaciones se han obtenido los mecanismos que rigen dicho fenómeno así como el comportamiento de los distintos embalses subterráneos.

De igual modo el modelo hidrogeológico proporcionó los posibles volúmenes de explotación de aguas subterráneas en diversos puntos y para los distintos usos.

3.8.2 Metodología.

Se estudió el sistema de recursos hidráulicos de los valles de Maipo, Casablanca, Yali y Alhué, representándolo como un conjunto de elementos vinculados entre sí que permiten simular el flujo de agua a través de él. La simulación se efectuó a una escala de tiempo mensual.

Los elementos componentes del sistema son los sectores de riego en que se dividió el área bajo canal, los emballes de regulación, los embalses subterráneos o acuíferos, los tramos de río con sus respectivos nodos de distribución y los canales de trasvase.

Los sectores de riego se definieron después de un detallado análisis de la red de canales indicados en los mosaicos de IREN a escala 1:50.000. Las cuencas o subcuencas hidrográficas asociadas a cada sector se delimitaron en las planchetas del I.G.M. a escala 1:50.000 y en la carta preliminar del I.G.M. a escala 1:250.000.

Se tuvo presente la división legal del río, la ubicación de las bocatomas de los canales de riego, las zonas de pérdidas y recuperaciones del río, la ubicación de los embalses y los canales de trasvase existentes.

Los ríos y esteros se dividieron en tramos con nodos en sus extremos, los cuales se emplean para representar puntos donde interesa conocer el caudal disponible ya sea para un sector de riego, para un trasvase, para un embalse o para comparar caudales generados por el modelo con valores históricamente observados.

Se identificaron 52 sectores de riego. En el valle del río Maipo, 46 sectores, en el valle de Casablanca 4 sectores, uno en el valle de Yali y otro en el valle de Alhué.

Se incluyeron 8 embalses de regulación, además de los embalses de regulación nocturna propios de cada sector de riego. Ellos son el embalse El Yeso, la laguna de Aculeo, el embalse Huechún, el embalse Runque y los embalses de Casablanca, Viñilla, Perales, Ovalle y Orozco.

Los acuíferos considerados están localizados en el valle del estero Chacabuco, en el río Colina, en el río Mapocho y en el río Maipo.

En cuanto a los canales de trasvase, ellos son el canal San Carlos, el canal Chacabuco-Polpaico, el trasvase representado por los canales provenientes de la primera sección legal del río Cachapoal, el canal Las Mercedes y el canal Mallarauco.

El esquema comprende 62 nodos que definen sus respectivos tramos de ríos y esteros.

La Figura N° 7 representa un esquema del sistema con todos sus elementos.

FIGURA № 7

PROYECTO MAIPO
MODELO DE SIMULACION
ESQUEMA DEL SISTEMA

3.8.3 Conclusiones y Recomendaciones.

La primera sección legal del río Maipo presenta seguridades de riego superiores a 60% en los sectores S1 a S5 y seguridades bastante más bajas en los sectores S6 a S8, siendo el sector S7 uno de los más mal regados.

La segunda sección legal del río no presenta problemas en los sectores que se ubican fuera de la cuenca del río Angostura. Los sectores de Chada, río Peuco y estero Codegua presentan déficits regularmente con excepción del sector S14 que es regado por los canales que provienen del río Cachapoal.

Los sectores altos del río Mapocho presentan problemas de falta de agua con cierta frecuencia, no así los sectores bajos que aprovechan los sobrantes de las áreas superiores. La falta de regulación nocturna y un bajo reuso determina demandas altas en las áreas de riego y también sobrantes importantes que son aprovechados por sectores más bajos que en consecuencia presentan mayores seguridades.

El sector S32 del estero Lampa, a partir del año 1960 con excepción de los años 1967-68, 1972-73 y 1980-81, no es capaz de regar su superficie.

Los sectores del curso inferior del río Mapocho resultan con seguridades insuficientes, siendo el mejor regado el sector S35 (44% de seguridad), probablemente por que puede aprovechar también los retornos del sector S6.

Los sectores de la tercera sección legal del río Maipo, sectores S39 a S42 y S46 aparecen bastante mejor regados y con seguridades superiores a 70%.

Los sectores de Las Mercedes S44 y Mallarauco S45 no pueden regar toda su superficie bajo canal. El sector de Las Mercedes se ve limitado por la capacidad del canal Las Mercedes que es de 11 m³/s. El sector de Mallarauco aparece limitado por la capacidad del canal que es de 12 m³/s, o bien, los reus internos del sector son más altos, por alguna condición local, que los considerados en el modelo.

Los sectores de Casablanca, S47 a S50, presentan déficits regularmente a pesar de los embalses con que cuentan. Esto se debe por una parte a que la capacidad de estos embalses es insuficiente y por otra a que las hoyas de estos embalses no producen los recursos necesarios para llenarlos si fueran más grandes. Por lo tanto, la solución a futuro sería ampliar estos embalses y alimentarlos mediante un trasvase desde el río Maipo.

Los valles de Yali y Alhué requieren de recursos adicionales para poder regar toda su superficie, ya sea por medio de la construcción de embalses, canales de trasvase provenientes de zonas que posean excedentes o de una combinación de ambas soluciones.

El modelo empleado en la simulación permite generar estadísticas de caudales medios mensuales en puntos de interés que no disponen de control fluviométrico o bien sus registros son incompletos.

Desde el punto de vista del aprovechamiento integral de los recursos dé la hoya del río Maipo, sería de interés que se efectuara en un corto plazo las obras que permitan su regulación.

A N E X O

INDICE GENERAL DEL ESTUDIO

VOLUMEN I.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

Pág. Nº

1	INTRODUCCION	1
2	EQUIPO PROFESIONAL PARTICIPANTE	4
3	RESUMEN Y CONCLUSIONES	6
3.1	Precipitaciones	6
3.1.1	Antecedentes Fluviométricos	7
3.1.2	Metodología	10
3.1.3	Análisis, Corrección y Ampliación de las Estadísticas	11
3.1.4	Conclusiones y Recomendaciones	13
3.2	Escorrentía Superficial	16
3.2.1	Antecedentes Fluviométricos	17
3.2.2	Metodología	19
3.2.3	Análisis de los Resultados	21
3.2.4	Análisis y Caracterización del Régimen Hídrico	23
3.2.5	Análisis de la Distribución Espacial del Caudal	25
3.2.6	Duración General de los Caudales Medios Clasi- ficados	29
3.2.7	Estudio de Crecidas	29
3.2.8	Conclusiones y Recomendaciones	30
3.3	Aguas Subterráneas	33
3.3.1	Geología y Geomorfología	33
3.3.2	Captaciones Existentes y Explotación de Aguas Subterráneas	36
3.3.3	Conclusiones y Recomendaciones	48
3.4	Calidad de las Aguas	65
3.4.1	Antecedentes Disponibles	65
3.4.2	Metodología	66
3.4.3	Conclusiones y Recomendaciones	67
3.5	Sedimentación	75
3.5.1	Antecedentes Sedimentométricos	75
3.5.2	Metodología	76

3.5.3	Conclusiones y Recomendaciones	77
3.6	Modelo Hidrogeológico	81
3.6.1	Antecedentes Utilizados	82
3.6.2	Metodología	83
3.6.3	Conclusiones y Recomendaciones	85
3.6.3.1	Area Maipo-Mapocho	85
3.6.3.2	Area Chacabuco-Polpaico	89
3.6.3.3	Area Casablanca	91
3.7	Estudio de Pérdidas y Recuperaciones	95
3.7.1	Antecedentes Disponibles	96
3.7.2	Metodología	96
3.7.3	Conclusiones y Recomendaciones	97
3.8	Modelo de Simulación del Sistema de Recursos Hidráulicos	100
3.8.1	Antecedentes Utilizados	100
3.8.2	Metodología	101
3.8.3	Conclusiones y Recomendaciones	104

ANEXO: INDICE GENERAL DEL ESTUDIO

V O L U M E N II.- PRECIPITACIONES

Pág. N°

1.-	INTRODUCCION	1
2.-	ESTUDIOS ANTERIORES	1
3.-	ANTECEDENTES PLUVIOMETRICOS	2
4.-	PLAN DE ESTUDIOS	7
5.-	ANALISIS, CORRECCION Y AMPLIACION DE LAS ESTADISTICAS	8
5.1.-	Zona Cordillerana	9
5.1.1.-	Cálculo del Patrón de Precipitaciones (P.P.C.)	9
5.1.2.-	Análisis, relleno y corrección de las estadísticas con más de 26 años	11
5.1.2.1.-	Planta Maitenes	11
5.1.3.-	Análisis, corrección y ampliación de estadísticas con más de 14 años y menos de 26 años	12
5.1.3.1.-	Embalse El Yeso	13
5.1.3.2.	El Volcán	13
5.1.3.3.-	Las Melosas	13
5.1.4.-	Análisis de las Estadísticas con menos de 15 años	14
5.2.-	Zona Media y Baja	15
5.2.1.-	Cálculo del Patrón de Precipitaciones (PFMB)	15
5.2.2.-	Análisis, relleno y corrección de las estadísticas con más de 26 años	16
5.2.2.1.-	Til-Til	17
5.2.2.2.-	Colliguay	18
5.2.2.3.-	Esmeralda de Colina	19
5.2.2.4.-	Curacaví	19
5.2.2.5.-	Tobalaba	20
5.2.2.6.-	Los Cerrillos	21
5.2.2.7.-	Carmen de Las Rosas	21
5.2.2.8.-	Fundo El Tránsito	22
5.2.2.9.-	Aculeo	22
5.2.2.10-	Punta Panul. San Antonio	23

5.2.3.-	Análisis, corrección y ampliación de las estadísticas con más de 14 y menos de 26 años	24
5.2.3.1.-	Rincón de Los Valles	25
5.2.3.2.-	Caleu	25
5.2.3.3.-	Rungue	25
5.2.3.4.-	Polpaico	26
5.2.3.5.-	Fundo Valle Hermoso	27
5.2.3.6.-	Terraza DGA (Santiago)	27
5.2.3.7.-	El Bosque	28
5.2.3.8.-	Las Majadas	28
5.2.3.9.-	Melipilla	29
5.2.3.10.-	Jahuel Alto	29
5.2.3.11.-	Paine-Fdo. Viluco	30
5.2.3.12.-	Colonia Paine	30
5.2.3.13.-	Fundo Huinganal	31
5.2.4.-	Análisis de las Estadísticas con menos de 15 años	31a
5.3.-	Zona al Norte de la Cuenca del Maipo	32
5.3.1.-	Análisis, corrección y ampliación de las estadísticas con más de 15 años	32
5.3.1.1.-	San Felipe	32
5.3.1.2.-	Río Blanco	33
5.3.1.3.-	Vilcuya	34
5.3.1.4.-	El Tabón	34
5.3.1.5.-	Riecillos	35
5.3.1.6.-	Cuesta Chacabuco	35
5.3.1.7.-	Limache	36
5.3.1.8.-	Villa Alemana	36
5.3.1.9.-	Lago Peñuelas	37
5.3.1.10.-	Hda. San Gerónimo	37
5.3.1.11.-	El Tabo	38
5.3.1.12.-	Casablanca	38
5.3.2.-	Análisis de las estadísticas con menos de 15 años	39
5.4.-	Zona al Sur de la Cuenca del Río Maipo	40
5.4.1.-	Santo Domingo	40
5.4.2.-	Hda. Longovilo	40
5.4.3.-	Hda. El Peumo	41
5.4.4.-	San Enrique Bucalemu	41

	Pág. N°
6.- REGIMEN PLUVIAL DE LA CUENCA	42
7.- MAPAS DE ISOYETAS ANUALES	204
8.- RECURSOS NIVALES	217
8.1 Antecedentes Existentes	217
9.- RECURSOS GLACIARES	222
9.1 Introducción	222
9.2 Características Generales de los Glaciares de la Zona	223
9.3 Inventario de Glaciares	225
10.- ESTUDIO DE LAS PRECIPITACIONES MAXIMAS DE 24, 48 y 72 HORAS	233
10.1 Antecedentes Existentes	233
10.2 Método de Trabajo	233
10.3 Determinación de las Probabilidad de las P24, P48 y P72 horas	236

ANEXOS:

- A - I ESTADISTICAS OBSERVADAS
- A - II CUADROS PARA EL ANALISIS CON CURVAS DOBLE
ACUMULADAS Y CORRELACIONES
- A - III ESTADISTICAS DE PRECIPITACIONES ANUALES
CORREGIDAS Y AMPLIADAS
- B - I CURVAS DOBLE ACUMULADAS Y CORRELACIONES
GRAFICAS
- C - I ESTADISTICAS DE LAS SERIES ANUALES DE
PRECIPITACIONES DE 24, 48 y 72 HORAS
- C - II PROBABILIDAD DE LA PRECIPITACION MAXIMA

V O L U M E N III.- ESCORRENTIA SUPERFICIAL

Pág. N°

1.-	INTRODUCCION	1
2.-	ANTECEDENTES FLUVIOMETRICOS	2
3.-	METODO DE TRABAJO	4
3.1.-	Análisis y Ampliación de las Estadísticas	4
3.1.1.-	Maipo Alto	4
3.1.2.-	Mapocho Alto	6
3.1.3.-	Maipo Medio y Bajo	6
3.2.-	Determinación del Régimen Hídrico	7
4.-	RECURSOS HIDRICOS DEL MAIPO ALTO	8
4.1	Determinación de una Estadística Base	8
4.2.-	Maipo en Las Melosas	15
4.3.-	Volcán en Queltehues	17
4.4.-	Afluentes Utiles al Embalse El Yeso	19
4.5.-	Yeso en Desembocadura	21
4.6.-	Cuenca Río Colorado	22
4.6.1.-	Colorado en Desembocadura	22
4.6.2.-	Colorado antes junta Olivares	23
4.6.3.-	Olivares antes junta Colorado	24
4.6.4.-	Análisis de los Resultados en la Cuenca del Río Colorado	25
4.7.-	Análisis de los Resultados Obtenidos en el Maipo Alto	27
5.-	RECURSOS HIDRICOS DEL MAPOCHO ALTO	29
5.1.-	Mapocho en Los Almendros	29
5.2.-	Arrayán en La Montosa	32
5.3.-	Canal San Carlos	32
6.-	RECURSOS HIDRICOS DEL MAIPO MEDIO Y BAJO	33
6.1.-	Maipo en Cabimbao	35

6.2	Zona SUR-ESTE	36
6.2.1	Angostura en Angostura	36
6.2.2	Paine en Longitudinal	40
6.2.3	Clarillo en Desembocadura	40
6.3	Cuenca Río Mapocho Medio	41
6.3.1	Mapocho en Rinconada de Maipú	42
6.3.2	Canal Colina en Compuerta Vargas	44
6.3.3	Polpaico en Chicauma	45
6.4	Maipo en Chiñigüe	47
6.5	Estero Puangue	48
6.5.1	Puangue en Puangue	48
6.5.2	Puangue en Boquerón	49
6.6	Otras Estadísticas	50
6.7	Análisis de los Resultados Obtenidos en el Maipo Medio y Bajo	51
7.-	DETERMINACION DEL REGIMEN HIDRICO	52
7.1	Análisis del Carácter Nival o Pluvial de las Cuencas	53
7.2	Análisis de la Repartición Espacial del Caudal. Caudal Específico	56
7.3	Cuadros y Láminas Regimen Hídrico	60
8.-	DURACION GENERAL DE LOS CAUDALES MEDIOS DIARIOS	197
8.1	Introducción	197
8.2	Maipo en San Alfonso	197
8.3	Maipo en El Manzano	198
8.4	Mapocho en Los Almendros	198
8.5	Maipo en Cabimbao	198
9.-	ESTUDIO DE CRECIDAS	218
9.1	Introducción Método de Trabajo	218
9.2	Estudio de la Prefactibilidad de los QMd y QMi	219
9.2.1	Crecida del Período Pluvial	219
9.2.1.1	Maipo en San Alfonso	220
9.2.1.2	Maipo en El Manzano	222

9.2.1.3	Maipo en La Obra	227
9.2.1.4	Colorado en Desembocadura	227
9.2.1.5	Mapocho en Los Almendros	230
9.2.1.6	Maipo en Cabimbao	233
9.2.1.7	Puangué en Boquerón	234
9.2.2	Crecida en Período de Deshielo	236
9.2.2.1	Maipo en San Alfonso	236
9.2.2.2	Maipo en El Manzano	239
9.2.2.3	Colorado en Desembocadura	242
9.2.2.4	Mapocho en Los Almendros	245
9.2.2.5	Maipo en Cabimbao	248
10.-	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	250

C U A D R O S

- 1 Maipo Alto. Verificación de la Bondad de los
Coeficientes de Regresión.
- 2 Maipo en San Alfonso(RN). Estadística Fluviomé
trica
- 3 Maipo en San Alfonso. Caudales Medios y Duracioo
nes Generales.
- 4 Maipo en San Alfonso. Variación estacional del
 $\bar{Q}_m$
- 5 Maipo en El Manzano (RN). Estadística Fluviomé
trica.
- 6 Maipo en El Manzano. Caudales Medios y Duracioo
nes Generales.
- 7 Maipo en El Manzano. Variación Estacional del
 $\bar{Q}_m$.
- 8 Maipo en La Obra (RN). Estadística Fluviométri
ca.
- 9 Maipo en La Obra. Caudales Medios y Duraciones
Generales.
- 10 Maipo en La Obra. Variación Estacional del $\bar{Q}_m$.
- 11 Volcán en Queltehues(RN). Estadística Fluvio-
métrica.
- 12 Volcán en Queltehues. Caudales Medios y Duraa
ciones Generales.
- 13 Volcán en Queltehues. Variación Estacional del
 $\bar{Q}_m$.
- 14 Afluente Util Embalse El Yeso. Estadística
Fluviométrica
- 15 Afluente Util Embalse El Yeso. Caudales Medios
y Duraciones Generales.
- 16 Afluente Util Embalse El Yeso. Variación Esta-
cional del $\bar{Q}_m$.
- 17 Colorado en Desembocadura. Estadística Fluvio-
métrica.
- 18 Colorado en Desembocadura. Caudales Medios y
Duraciones Generales.
- 19 Colorado en Desembocadura. Variación Estacional
del $\bar{Q}_m$.

- 20 Mapocho en Los Almendros. Estadística Fluviométrica.
- 21 Mapocho en Los Almendros. Caudales Medios y Duraciones Generales.
- 22 Mapocho en Los Almendros. Variación Estacional del $\bar{Q}_m$.
- 23 Arrayán en La Montosa. Estadística Fluviométrica
- 24 Arrayán en La Montosa. Caudales Medios y Duraciones Generales.
- 25 Arrayán en La Montosa. Variación Estacional del $\bar{Q}_m$.
- 26 Maipo en Cabimbao. Estadística Fluviométrica.
- 27 Maipo en Cabimbao. Caudales Medios y Duraciones Generales.
- 28 Maipo en Cabimbao. Variación Estacional del $\bar{Q}_m$.
- 29 Angostura en Angostura. Estadística Fluviométrica
- 30 Angostura en Angostura. Caudales Medios y Duraciones Generales.
- 31 Angostura en Angostura. Variación Estacional del $\bar{Q}_m$.
- 32 Paine en Longitudinal. Estadística Fluviométrica.
- 33 Paine en Longitudinal. Caudales Medios.
- 34 Clarillo en Desembocadura. Estadística Fluviométrica.
- 35 Clarillo en Desembocadura. Caudales Medios.
- 36 Mapocho en Rinconada de Maipú. Estadística Fluviométrica.
- 37 Mapocho en Rinconada de Maipú. Caudales Medios y Duraciones Generales.
- 38 Mapocho en Rinconada de Maipú. Variación Estacional del $\bar{Q}_m$.
- 39 Colina en Compuerta Vargas. Estadística Fluviométrica.
- 40 Colina en Compuerta Vargas. Caudales Medios.
- 41 Polpaico en Chicauma. Estadística Fluviométrica.
- 42 Polpaico en Chicauma. Caudales Medios
- 43 Maipo en Chiñihue. Estadística Fluviométrica.
- 44 Maipo en Chiñihue. Caudales Medios y Duraciones Generales.
- 45 Maipo en Chiñihue. Variación Estacional del $\bar{Q}_m$.
- 46 Puangue en Puangue. Estadística Fluviométrica.
- 47 Puangue en Puangue. Caudales Medios.
- 48 Puangue en Boquerón. Estadística Fluviométrica.
- 49 Puangue en Boquerón. Caudales Medios.

L A M I N A S

- 1 Cronograma de las Estadísticas Fluviométricas
- 2 Esquema del Maipo Alto
- 3 Curvas de Capacidad y Superficie Embalse El Yeso
- 4 Esquema del Maipo Medio y Bajo
- 5 Maipo en San Alfonso (RN) Duración General del $\bar{Q}_a$
- 6 Maipo en San Alfonso(RN) Duración General del $\bar{Q}_m$
- 7 Maipo en San Alfonso (RN) Duración General del Período Pluvial
- 8 Maipo en San Alfonso (RN) Duración General del Período de Deshielo
- 9 Maipo en San Alfonso (RN) Variación Estacional del $\bar{Q}_m$
- 10 Maipo en El Manzano (RN) Duración General del $\bar{Q}_a$
- 11 Maipo en El Manzano (RN) Duración General del $\bar{Q}_m$
- 12 Maipo en El Manzano Duración General del Período Pluvial
- 13 Maipo en El Manzano Duración General del Período de Deshielo
- 14 Maipo en El Manzano Variación Estacional del $\bar{Q}_a$
- 15 Maipo en La Obra (RN) Duración General del $\bar{Q}_a$
- 16 Maipo en La Obra Duración General del $\bar{Q}_m$
- 17 Maipo en La Obra. Duración General del Período Pluvial
- 18 Maipo en La Obra. Duración General del Período de Deshielo
- 19 Maipo en La Obra. Variación Estacional del $\bar{Q}_m$
- 20 Volcán en Queltehues(RN) Duración General del $\bar{Q}_a$
- 21 Volcán en Queltehues. Duración General del $\bar{Q}_m$
- 22 Volcán en Queltehues. Duración General del Período Pluvial
- 23 Volcán en Queltehues. Duración General del Período de Deshielo.
- 24 Volcán en Queltehues. Variación Estacional del $\bar{Q}_m$

- 25 Afluente Util Embalse El Yeso. Duración General del $\bar{Q}_a$.
- 26 Afluente Util Embalse El Yeso. Duración General del $\bar{Q}_m$
- 27 Afluente Util Embalse El Yeso. Duración General del Período Pluvial.
- 28 Afluente Util Embalse El Yeso. Duración General del Período de Deshielo.
- 29 Afluente Util Embalse El Yeso. Variación Estacional del $\bar{Q}_m$
- 30 Colorado en Desembocadura. Duración General del $\bar{Q}_a$
- 31 Colorado en Desembocadura. Duración General del $\bar{Q}_m$
- 32 Colorado en Desembocadura. Duración General del Período Pluvial
- 33 Colorado en Desembocadura. Duración General del Período de Deshielo.
- 34 Colorado en Desembocadura. Variación Estacional del $\bar{Q}_m$
- 35 Mapocho en Los Almendros. Duración General del $\bar{Q}_a$
- 36 Mapocho en Los Almendros. Duración General del $\bar{Q}_m$
- 37 Mapocho en Los Almendros. Duración General del Período Pluvial.
- 38 Mapocho en Los Almendros. Duración General del Período de Deshielo.
- 39 Mapocho en Los Almendros. Variación Estacional del $\bar{Q}_m$
- 40 Arrayán en La Montosa. Duración General del $\bar{Q}_a$
- 41 Arrayán en La Montosa. Duración General del $\bar{Q}_m$
- 42 Arrayán en La Montosa. Duración General del Período Pluvial.
- 43 Arrayán en La Montosa. Duración General del Período de Deshielo
- 44 Arrayán en La Montosa. Variación Estacional del $\bar{Q}_m$
- 45 Maipo en Cabimbao. Duración General del $\bar{Q}_a$.
- 46 Maipo en Cabimbao. Duración General del $\bar{Q}_m$
- 47 Maipo en Cabimbao. Duración General del Período Pluvial.

- 48 Maipo en Cabimbao. Duración General del Período de Deshielo.
- 49 Maipo en Cabimbao. Variación Estacional del $\bar{Q}_m$.
- 50 Angostura en Angostura. Duración General del $\bar{Q}_a$
- 51 Angostura en Angostura. Duración General del $\bar{Q}_m$
- 52 Angostura en Angostura. Duración General del Período Pluvial.
- 53 Angostura en Angostura. Duración General del Período de Deshielo.
- 54 Angostura en Angostura. Variación Estacional del $\bar{Q}_m$
- 55 Mapocho en Rinconada de Maipú. Duración General del $\bar{Q}_a$
- 56 Mapocho en Rinconada de Maipú. Duración General del $\bar{Q}_m$
- 57 Mapocho en Rinconada de Maipú. Duración General del Período Pluvial.
- 58 Mapocho en Rinconada de Maipú. Duración General del Período de Deshielo.
- 59 Mapocho en Rinconada de Maipú. Variación Estacional del $\bar{Q}_m$.
- 60 Maipo en Chiñihue. Duración General del Caudal Medio Anual.
- 61 Maipo en Chiñihue. Duración General del Caudal Medio Mensual.
- 62 Maipo en Chiñihue. Duración General del Período Pluvial.
- 63 Maipo en Chiñihue. Duración General del Período de Deshielo.
- 64 Maipo en Chiñihue. Variación Estacional del Caudal Medio Mensual.

V O L U M E N IV.- AGUAS SUBTERRANEAS

Pág. N°

1.-	INTRODUCCION	1
2.-	ANALISIS DE LA GEOLOGIA DEL CUATERNARIO	3
2.1.-	Antecedentes Existentes	3
2.2.-	Análisis Crítico	22
2.3.-	Conclusiones sobre la Geología del Cuaternario	24
3.-	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO	30
3.1.-	Geología y Geomorfología	32
3.1.1.-	Generalidades	32
3.1.2.-	Cuencas Maipo-Mapocho	34
3.1.3.-	Cuenca Tilttil-Lampa	39
3.1.4.-	Cuenca Chacabuco - Polpaico	41
3.1.5.-	Cuenca Colina - Batuco	42
3.1.6.-	Cuenca del Río Angostura	44
3.1.7.-	Cuenca del Estero Puangue	45
3.1.8.-	Cuenca del Estero Casablanca	46
3.1.9.-	Cuencas de los Esteros San Gerónimo, del Rosario y Cartagena	48
3.1.10.-	Cuenca del Estero Yali	50
3.1.11.-	Cuenca del Estero Alhué	51
3.2.-	Captaciones Existentes y Explotación de Aguas Subterráneas	52
3.3.-	Formaciones Acuíferas	63
3.3.1.-	Maipo-Mapocho Superior	63
3.3.2.-	Maipo-Mapocho	64
3.3.3.-	Maipo Inferior	69
3.3.4.-	Tilttil-Lampa	71
3.3.5.-	Chacabuco-Polpaico	73
3.3.6.-	Colina Batuco	77
3.3.7.-	Angostura	80
3.3.8.-	Puangue	82
3.3.9.-	Casablanca	85

3.3.10.-	San Gerónimo, del Rosario y Cartagena	88
3.3.11.-	Yali	90
3.3.12.-	Alhué	92
3.4.-	Transmisibilidad y Almacenamiento	94
3.4.1.-	Maipo-Mapocho Superior	96
3.4.2.-	Maipo-Mapocho	97
3.4.3.-	Maipo-Inferior	100
3.4.4.-	Tilttil-Lampa	101
3.4.5.-	Chacabuco-Polpaico	103
3.4.6.-	Colina-Batuco	105
3.4.7.-	Angostura	107
3.4.8.-	Puangué	109
3.4.9.-	Casablanca	110
3.4.10.-	San Gerónimo, del Rosario y Cartagena	112
3.4.11.-	Yali	113
3.4.12.-	Alhué	114
3.5.-	Niveles de Aguas Subterráneas y Curvas Equipotenciales	115
3.5.1.-	Maipo-Mapocho Superior	116
3.5.2.-	Maipo-Mapocho	117
3.5.3.-	Maipo Inferior	122
3.5.4.-	Tilttil-Lampa	123
3.5.5.-	Chacabuco-Polpaico	126
3.5.6.-	Colina-Batuco	131
3.5.7.-	Angostura	135
3.5.8.-	Puangué	137
3.5.9.-	Casablanca	139
3.5.10.-	San Gerónimo, del Rosario y Cartagena	142
3.5.11.-	Yali	144
3.5.12.-	Alhué	145
3.6.-	Recarga, Movimiento y Descarga de las Aguas Subterráneas	146
3.6.1.-	Maipo-Mapocho Superior	147
3.6.2.-	Maipo-Mapocho	147
3.6.3.-	Maipo Inferior	151
3.6.4.-	Tilttil-Lampa	152
3.6.5.-	Chacabuco-Polpaico	153
3.6.6.-	Colina-Batuco	156
3.6.7.-	Angostura	158
3.6.8.-	Puangué	159
3.6.9.-	Casablanca	162
3.6.10.-	San Gerónimo, del Rosario y Cartagena	164

3.6.11.-	Yali	165
3.6.12.-	Alhué	166
3.7.-	Posibilidades de Recarga Artificial	167
3.7.1.-	Maipo-Mapocho Superior	168
3.7.2.-	Maipo-Mapocho	168
3.7.3.-	Maipo Inferior	170
3.7.4.-	Tilttil-Lampa	170
3.7.5.-	Chacabuco-Polpaico	171
3.7.6.-	Colina-Batuco	171
3.7.7.-	Angostura	172
3.7.8.-	Puangué	172
3.7.9.-	Casablanca	173
3.7.10.-	San Gerónimo, del Rosario y Cartagena	173
3.7.11.-	Yali	174
3.7.12.-	Alhué	174
3.8.-	Posibilidades de Nuevas Captaciones	175
3.8.1.-	Maipo-Mapocho Superior	175
3.8.2.-	Maipo-Mapocho	176
3.8.3.-	Maipo Inferior	177
3.8.4.-	Tilttil-Lampa	177
3.8.5.-	Chacabuco-Polpaico	178
3.8.6.-	Colina Batuco	179
3.8.7.-	Angostura	180
3.8.8.-	Puangué	180
3.8.9.-	Casablanca	181
3.8.10.-	San Gerónimo, del Rosario y Cartagena	182
3.8.11.-	Yali	182
3.8.12.-	Alhué	183
3.9.-	Volúmenes de Explotación Segura	184
3.10.-	Conclusiones y Recomendaciones	188
4.-	COSTOS DE EXPLOTACION	
4.1.-	Generalidades	201
4.2.-	Características de las Captaciones	201
4.3.-	Bases de Cálculo	201
4.4.-	Conclusiones	213

ANEXO:

CATASTRO DE POZOS

V O L U M E N V.- CALIDAD DE LAS AGUAS Y SEDIMENTACION.

CALIDAD DE LAS AGUAS.-		Pág. N°
1.-	INTRODUCCION	1
1.1	Resumen sobre la Calidad de las Aguas en las Fuentes de Abastecimiento	1
1.2	Los Cursos Abiertos que Atraviesan la Ciudad	1
1.3	Efectos de la Calidad de los Cursos Urbanos	2
1.4	Ampliación de la Estadística y Nuevo Enfoque de su Análisis	3
2.-	CRITERIOS DE CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARAMETROS DE DIAGNOSTICO. NORMAS	4
2.1	Tipos de Análisis	4
2.2	Clasificación General	5
2.3	Aguas de Riego	5
2.3.1	Clasificación U.S.S.L.	5
2.3.2	Clasificación de la Norma Chilena	6
2.3.3	Contenido de Boro	9
2.3.4	Otros Elementos dañinos para la Agricultura	10
2.3.5	Requisitos Bacteriológicos para Aguas de Riego	12
2.4	Agua Potable	12
2.4.1	Clasificación de las Fuentes de Agua Potable	12
2.4.2	Clasificación de las Aguas por su Dureza	14
2.4.3	Norma Chilena sobre Agua Potable	14
2.5	Otros Usos del Agua	17
2.5.1	Requisitos para Usos Recreativos	18
2.5.2	Requisitos para Aguas destinadas a la vida acuática	20
3.-	AGUAS SUPERFICIALES	21
3.1	Calidad Química General	21
3.1.1	Los Antecedentes y su Selección	21
3.1.2	Parámetros Generales y Macroelementos	29
3.1.3	Clasificación General de las Aguas	34
3.1.3.1	Río Maipo	34
3.1.3.2	Río Mapocho	34
3.1.3.3	Corrientes Menores	36

3.2	La Dureza, Característica Dominante	37
3.2.1	Perfil de Calidad a lo largo del Maipo	37
3.2.2	Variaciones a lo largo del año	42
3.2.3	La Dureza en Otros Cursos	45
3.2.3.1	En el Río Mapocho	45
3.2.3.2	En Cursos Menores	50
3.3	Microelementos, Análisis Específicos de Elementos Nocivos	50
3.3.1	Elementos Nocivos en el Río Maipo	53
3.3.2	Elementos Nocivos en el Río Mapocho	53
3.3.3	Elementos Nocivos en otros Cursos	55
3.4	Las Zonas Críticas por su Contenido en Elementos Nocivos	56
3.4.1	Boro	61
3.4.2	Cobre	61
3.4.3	Fierro	62
3.5	Características Físicas del Agua	62
3.5.1	En el Río Maipo	62
3.5.2	En el Río Mapocho	65
3.6	La Degradación en Calidad de Agua de los Cursos que atraviesan Santiago	65
3.6.1	Degradación a lo largo del Curso del Mapocho	67
3.6.1.1	Carácter y Macroelementos de las Aguas	67
3.6.1.2	Degradación por Residuos Industriales	71
3.6.1.3	Degradación por Aguas Servidas Domésticas	73
3.6.2	La Degradación a través del Tiempo. Ultimos Análisis	75
3.6.2.1	Análisis para el "Plan Maestro del Alcantarillado del Gran Santiago"	75
3.6.2.2	Análisis realizados por IPLA	79
3.6.2.3	Proceso de la Degradación. Comparación de Análisis 1962 - 1972 - 1982	86
3.6.2.4	La degradación a través del año	88
3.6.2.5	Conclusiones preliminares del estudio Plan Maestro del Alcantarillado de Santiago	91
4.-	AGUAS SUBTERRANEAS	94
4.1	Metodología del Estudio	94
4.2	Material Disponible	98

	Pág. N°
4.3	Presentación de los Análisis, por Comunas 98
4.4.	Calidad Química de las Aguas 100
4.4.1	Calidad Química General. Macroelementos y Salinidad General 100
4.4.2	Los demás Parámetros Generales 103
4.4.3	La Dureza Total 104
4.4.3.1	Antecedentes 104
4.4.3.2	El Panorama General de la Dureza 107
4.5	Presencia de Elementos Nocivos 113
4.5.1	Elementos Ausentes o Presentes en Cuantías Aceptables 113
4.5.2	Elementos en Cuantías Excesivas 113
4.5.2.1	Boro 113
4.5.2.2	Compuestos Nitrogenados 114
4.5.2.3	Sílice 116
4.6	La Degradación de las Aguas Subterráneas 116
5.-	USO ACTUAL Y FUTURO DE LAS AGUAS 120
5.1	Aptitud de las Aguas para su Uso en Diversos Fines 120
5.1.1	Agua Potable 120
5.1.1.1	Cursos Superficiales 120
5.1.1.2	Aguas Subterráneas 121
5.1.2	Riego 122
5.1.2.1	Calidad General C ₃ S ₁ en el Maipo, el Mapocho y el Puangue 122
5.1.2.2	Calidad C ₂ S ₁ : Mapocho Alto y sus Afluentes, río Angostura y Estero Colina 123
5.1.2.3	Aguas Subterráneas, Calidad C ₃ S ₁ 124
5.1.2.4	Aguas Subterráneas, Calidad C ₂ S ₁ : Colina, Polpaico y Lampa, Providencia y Las Condes; Pudahuel Nor-Poniente 124
5.1.2.5	Aguas Subterráneas. Calidad C ₁ S ₁ : Quilicura Poniente 124
5.1.3	Industrias 125
5.2	Contaminación de las Aguas 125
5.2.1	Efectos de la Contaminación en las Aguas Superficiales 126
5.2.2	Efectos de la Contaminación en las Aguas Subterráneas 126

5.3	Medidas para el Saneamiento y la Reutilización de Aguas Contaminadas	127
5.3.1	Obras de Saneamiento	127
5.3.2	Plantas de Tratamiento	128
5.3.3	Aguas Industriales	128

SEDIMENTACION.

	Pág. N°
1.- INTRODUCCION	1
2.- ANTECEDENTES SEDIMENTOMETRICOS	1
3.- METODO DE TRABAJO	3
4.- ESTACIONES ANALIZADAS	
4.1 MAIPO EN BOCATOMA QUELTEHUES	6
4.2 VOLCAN EN QUELTEHUES	6
4.3 COLORADO EN DESEMBOCADURA	7
4.4 MAIPO EN EL MANZANO	8
4.5 MAPOCHO EN LOS ALMENDROS	9
4.6 MAPOCHO EN RINCONADA DE MAIPU	10
4.7 CANAL SAN CARLOS EN DESEMBOCADURA (CCU)	11
5.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS	11
6.- CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES	13

V O L U M E N VI.- MODELOS HIDROGEOLOGICOS

1.-	INTRODUCCION Y OBJETO DEL MODELO	
1.1	INTRODUCCION	1
1.1.1	Cuenca Maipo-Mapocho	1
1.1.2	Cuenca Chacabuco-Polpaico	1
1.2.3.	Cuenca Casablanca	2
1.2	OBJETO DEL MODELO	3
2.-	SELECCION DEL MODELO A EMPLEAR	4
3.-	DISCRETIZACION Y CONDICIONES DE BORDE	
3.1	DISCRETIZACION ESPACIAL	6
3.1.1	Cuenca Maipo-Mapocho	6
3.1.2	Cuenca Chacabuco-Polpaico	7
3.1.3	Cuenca Casablanca	8
3.2	DISCRETIZACION TEMPORAL	8
3.3	CONDICIONES DE BORDE	9
3.3.1	Cuenca Maipo-Mapocho	9
3.3.2	Cuenca Chacabuco-Polpaico	10
3.3.3	Cuenca Casablanca	10
4.-	PREPARACION DEL MODELO MATEMATICO	
4.1	INTRODUCCION	12
4.2	DEFINICION DE VARIABLES Y PARAMETROS DE ENTRADA	13
4.2.1	Datos Generales	13
4.2.2	Datos sobre Mallas Exteriores	14
4.2.3	Datos para el Contraste Piezométrico	15
4.2.4	Datos para la Simulación de la Relación Río-Acuífero	16
4.2.5	Datos sobre Vertientes	16
4.2.6	Datos sobre Bombeos e Infiltraciones	17

4.3	FORMATO DE ENTRADA DE DATOS	18
5.-	APLICACION DEL MODELO A LA CUENCA MAIPO-MAPOCHO	
5.1	DATOS DE ENTRADA	24
5.1.1	Aspectos Generales	24
5.1.2	Piezometría Inicial	24
5.1.3	Valores de T y S	26
5.1.3.1	Valores de T	26
5.1.3.2	Valores de S	27
5.1.4	Condiciones Topográficas	28
5.1.5	Infiltración por Regadío	28
5.1.5.1	Desde Aguas Superficiales	28
5.1.5.2	Desde Aguas Subterráneas	30
5.1.6	Infiltración por Lluvias	30
5.1.6.1	En Area Rural	30
5.1.6.2	En Area Urbana	32
5.1.7	Infiltración Proveniente de las Redes de Agua Potable y Alcantarillado	33
5.1.8	Bombeo de Pozos Profundos	34
5.1.8.1	Bombes para Agua Potable	35
5.1.8.2	Bombes para Regadío	35
5.1.8.3	Bombes para Industrias	37
5.2	PROCESO DE AJUSTE	48
5.2.1	Introducción	48
5.2.2	Relación de Pasadas	50
5.2.2.1	Pasada Nº 1	50
5.2.2.2	Pasada Nº 2	57
5.2.2.3	Pasada Nº 3	63
5.2.2.4	Pasada Nº 4	72
5.2.2.5	Pasada Nº 5	85
5.2.2.6	Pasada Nº 6	95
5.2.2.7	Pasada Nº 7	104

	Pág.Nº
5.2.3 Conclusiones	113
5.2.3.1 Esquema de Funcionamiento del Acuífero	113
5.2.3.2 Proposición de Pasadas de Simulación	129
5.2.3.3 Sugerencias para la Recopilación de Antecedentes del Acuífero	129
5.3 PROCESO DE SIMULACION	131
5.3.1 Introducción	131
5.3.2 Metodología de Cálculo	131
5.3.2.1 Riego para el Sector Norte	131
5.3.2.2 Nuevas Extracciones para Agua Potable	136
5.3.2.3 Drenaje de Paine y Viluco	136
5.3.3 Relación de Pasadas	141
5.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	148
5.4.1 Conclusiones	148
5.4.2 Recomendaciones	149
6.- APLICACION DEL MODELO A LA CUENCA CHACABUCO-POLPAICO	
6.1 DATOS DE ENTRADA	152
6.1.1 Aspectos Generales	152
6.1.2 Piezometría Inicial	152
6.1.3 Valores de T y S	153
6.1.3.1 Valores de T	153
6.1.3.2 Valores de S	154
6.1.4 Condiciones Topográficas	155
6.1.5 Infiltraciones por Regadío	155
6.1.6 Infiltraciones por Lluvias	157
6.1.7 Extracción por Bombeo	158

6.2	PROCESO DE AJUSTE	167
6.2.1	Introducción	167
6.2.2	Relación de Pasadas	168
6.2.2.1	Pasada Nº 1	168
6.2.2.2	Pasada Nº 2	173
6.2.2.3	Pasada Nº 3	179
6.2.2.4	Pasada Nº 4	183
6.2.2.5	Pasada Nº 5	188
6.2.2.6	Pasada Nº 6	194
6.2.2.7	Pasada Nº 7	201
6.2.2.8	Pasada Nº 8	210
6.2.3	Conclusiones	218
6.2.3.1	Esquema de Funcionamiento del Acuífero	218
6.2.3.2	Proposición de Pasadas de Simulación	230
6.2.3.3	Sugerencias para la Recopila- ción de Antecedentes del Acuí- fero	230
6.3	PROCESO DE SIMULACION	231
6.3.1	Introducción	231
6.3.2	Metodología de Cálculo	232
6.3.3	Relación de Pasadas	244
6.3.3.1	Pasada de Simulación Nº1	244
6.3.3.2	Pasada de Simulación Nº2	251
6.4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	254
6.4.1	Conclusiones	254
6.4.2	Recomendaciones	256

7.-	APLICACION DEL MODELO A LA CUENCA DE CASABLANCA	
7.1	DATOS DE ENTRADA	257
7.1.1	Aspectos Generales	257
7.1.2	Piezometría Inicial	257
7.1.3	Valores de T y S	259
	7.1.3.1 Valores de T	259
	7.1.3.2 Valores de S	260
7.1.4	Condiciones Topográficas	260
7.1.5	Infiltración por Regadío	261
7.1.6	Infiltración por Lluvias	264
7.1.7	Extracción por Bombeo	266
7.2	PROCESO DE AJUSTE	275
7.2.1	Introducción	275
7.2.2	Relación de Pasadas	276
	7.2.2.1 Pasada Nº 1	276
	7.2.2.2 Pasada Nº 2	282
7.2.3	Conclusiones	287
	7.2.3.1 Esquema de Funcionamiento del Acuífero	287
	7.2.3.2 Proposición de Pasadas de Simulación	296
	7.2.3.3 Sugerencias para la Recopilación de Antecedentes del Acuífero	296
7.3	PROCESO DE SIMULACION	298
7.3.1	Introducción	298
7.3.2	Metodología de Cálculo	299
	7.3.2.1 Simulación Nº 1	299
	7.3.2.2 Simulación Nº 2	304
7.3.3	Relación de Pasadas	308
	7.3.3.1 Pasada de Simulación Nº 1	308
	7.3.3.2 Pasada de Simulación Nº 2	315

7.4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	322
7.4.1	Conclusiones	322
7.4.2	Recomendaciones	323

A N E X O S :

ANEXO Nº 1	: LOCALIZACION DE AFOROS Y VERTIENTES
ANEXO Nº 2	: LISTADO DEL SIMAC-1
ANEXO Nº 3	: DISCRETIZACION MATEMATICA DE LAS ECUACIONES QUE RIGEN EL ESCURRI- MIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

V O L U M E N VII.- ESTUDIO DE PERDIDAS Y RECUPERACIONES
Y MODELO DE SIMULACION DEL SISTEMA
DE RECURSOS HIDRAULICOS

Pág. N°

ESTUDIO DE PERDIDAS Y RECUPERACIONES.-

1.-	INTRODUCCION	1
2.-	PLANTEAMIENTO TEORICO	4
2.1.-	Tramo de Río	4
2.2.-	Areas de Riego	7
2.3.-	Piso del Valle	10
2.4.-	Acuífero	12
3.-	ANALISIS DE RECUPERACIONES	14
3.1.-	Experiencia en el Río Mapocho	14
3.2.-	Experiencia en el Río Maipo	21
3.3.-	Consumo Efectivo en el Valle del Río Maipo	30
3.4.-	Acuífero de la Zona de Santiago	43
4.-	CONCLUSIONES	48
4.1.-	Río Mapocho	48
4.2.-	Río Maipo	48
4.3.-	Consumo Efectivo	49
4.4.-	Acuífero de Santiago	50
	REFERENCIAS	51

MODELO DE SIMULACION DEL SISTEMA DE RECURSOS
HIDRAULICOS.-

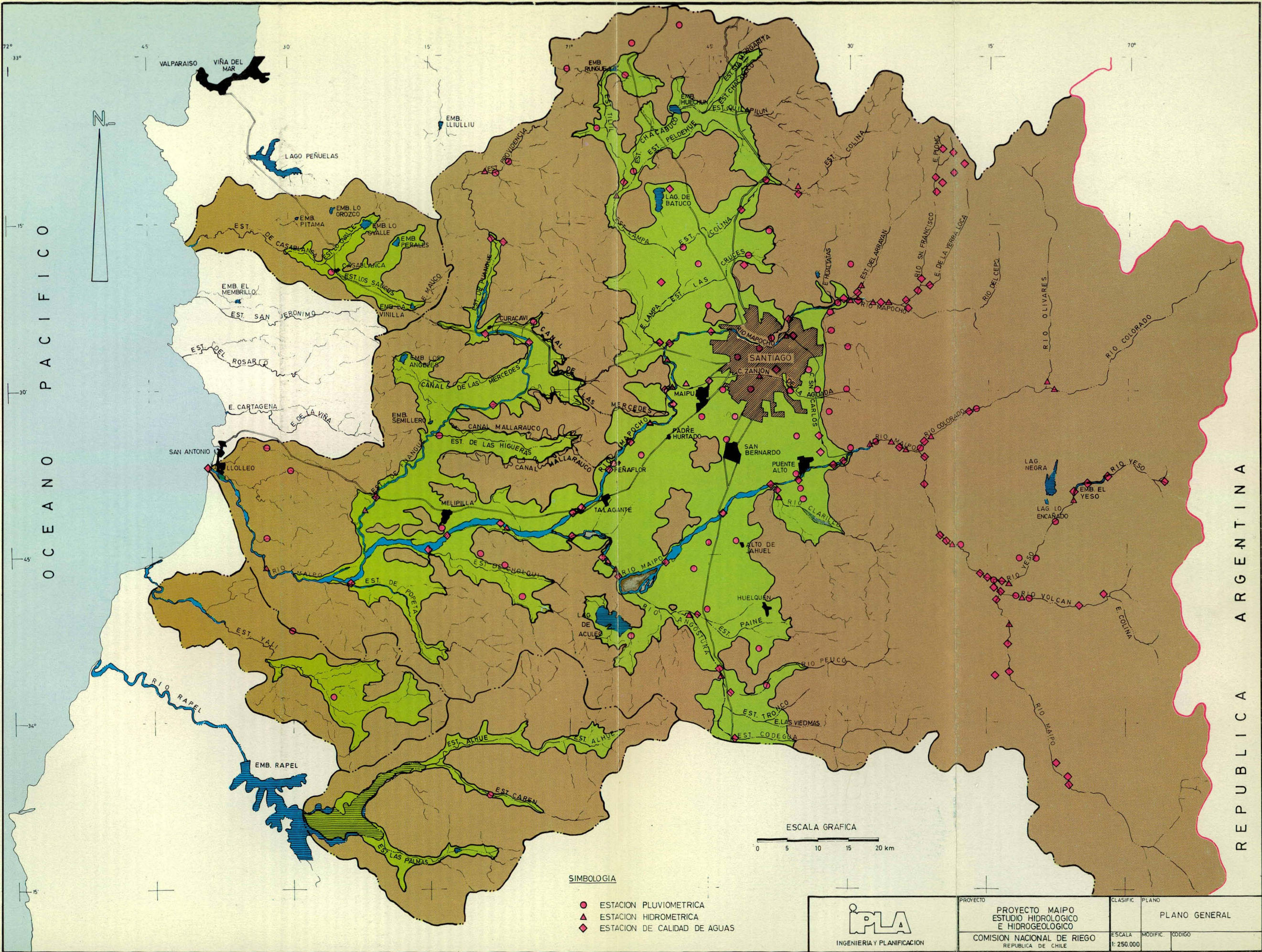
1.-	INTRODUCCION	1
2.-	REPRESENTACION DEL SISTEMA	2
2.1.-	Esquema	3
2.2.-	Representación de los Elementos	11

2.2.1	Sectores de Riego	11
2.2.2	Embalses Subterráneos	21
2.2.3	Embalses Superficiales	23
2.2.4	Tramos de Río y Nodos	23
2.3	OPERACION DEL SISTEMA	25
2.3.1	Valle del Río Maipo	25
2.3.2	Valle Casablanca	37
2.3.3	Valle de Yali	38
2.3.4	Valle de Alhué	38
2.4	RESUMEN DE VARIABLES UTILIZADAS	39
2.4.1	Sectores de Riego	39
2.4.2	Embalses Subterráneos o Acuíferos	41
2.4.3	Embalses Superficiales	42
2.4.4	Tramos de río y nodos	43
2.4.5	Agua Potable de Santiago y Area Urbana	44
3.-	PROGRAMA DE COMPUTACION	45
3.1	ESTRUCTURA DEL PROGRAMA	46
3.2	ORGANIZACION DE ARCHIVOS	50
3.3	PRESENTACION DE RESULTADOS	55
4.-	DATOS UTILIZADOS	56
4.1	ESTADISTICAS DE CAUDALES Y LLUVIAS	57
4.1.1	Estadísticas de Cuencas Controladas	57
4.1.2	Estadísticas de Canales	58
4.1.3	Estadísticas de Lluvias	61
4.1.4	Estadísticas de Cuencas no Controladas	61
4.2	EMBALSES	63
4.3	SECTORES DE RIEGO	70
4.4	OTRA INFORMACION	75
5.-	APLICACION	77
5.1	PROCESO DE AJUSTE DEL MODELO	78
5.2	APLICACION DEL MODELO	86
5.3	ESTADISTICAS EN CUENCAS NO CONTROLADAS	87
5.4	CONCLUSIONES	88

XXX

A N E X O S:

- A.1 PROGRAMA DE COMPUTACION
- A.2 ESTADISTICAS
- A.3 ARCHIVOS DE DATOS
- A.4 RESUMEN DE LOS RESULTADOS



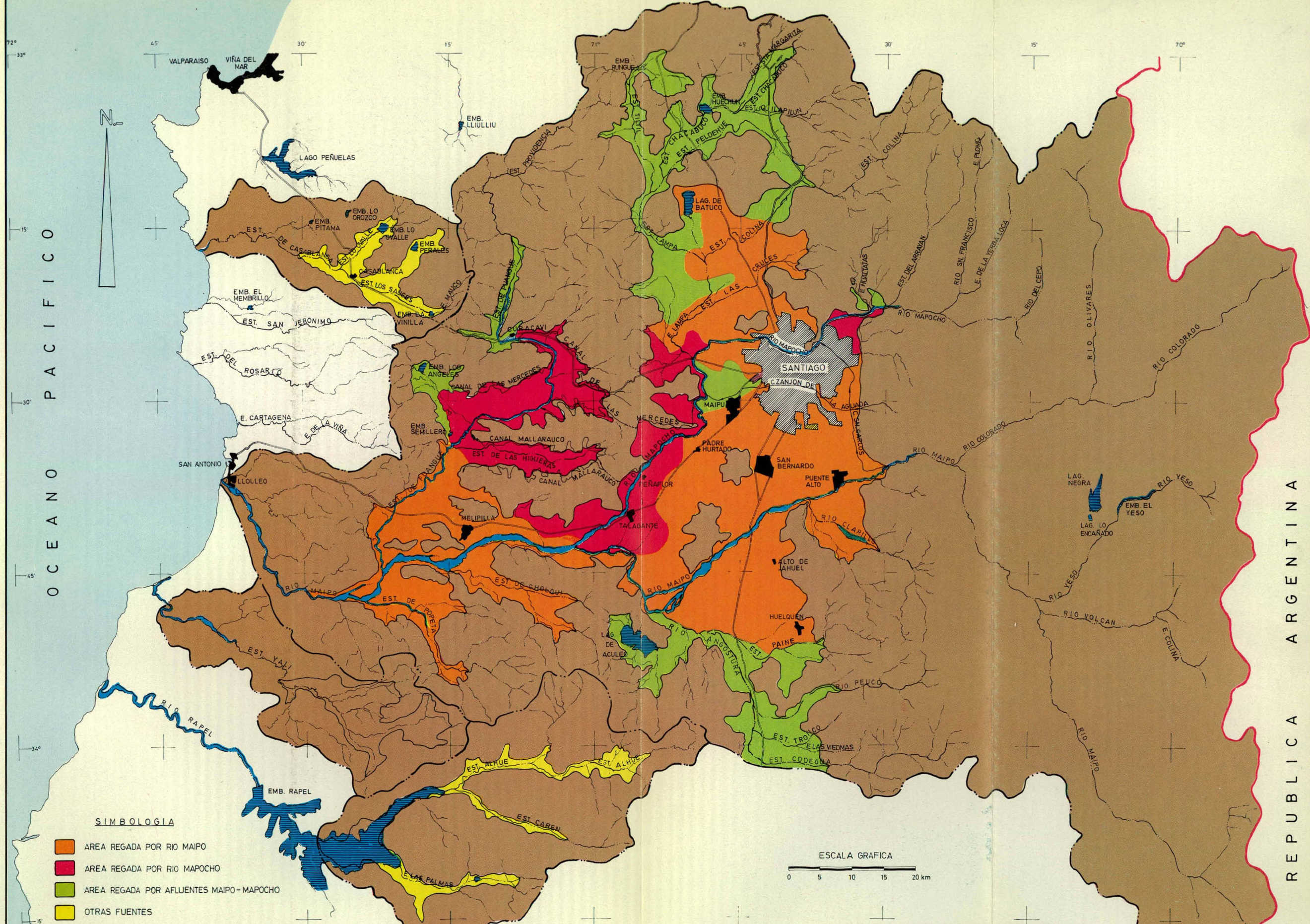
SIMBOLOGIA

- ESTACION PLUVIOMETRICA
- ▲ ESTACION HIDROMETRICA
- ◆ ESTACION DE CALIDAD DE AGUAS

ESCALA GRAFICA
0 5 10 15 20 km

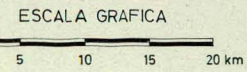


PROYECTO	PROYECTO MAIPO ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDROGEOLOGICO		CLASIFICACION	PLANO	
COMISION NACIONAL DE RIEGO REPUBLICA DE CHILE			ESCALA 1: 250.000	MODIFICACION	CODIGO
			PLANO GENERAL		

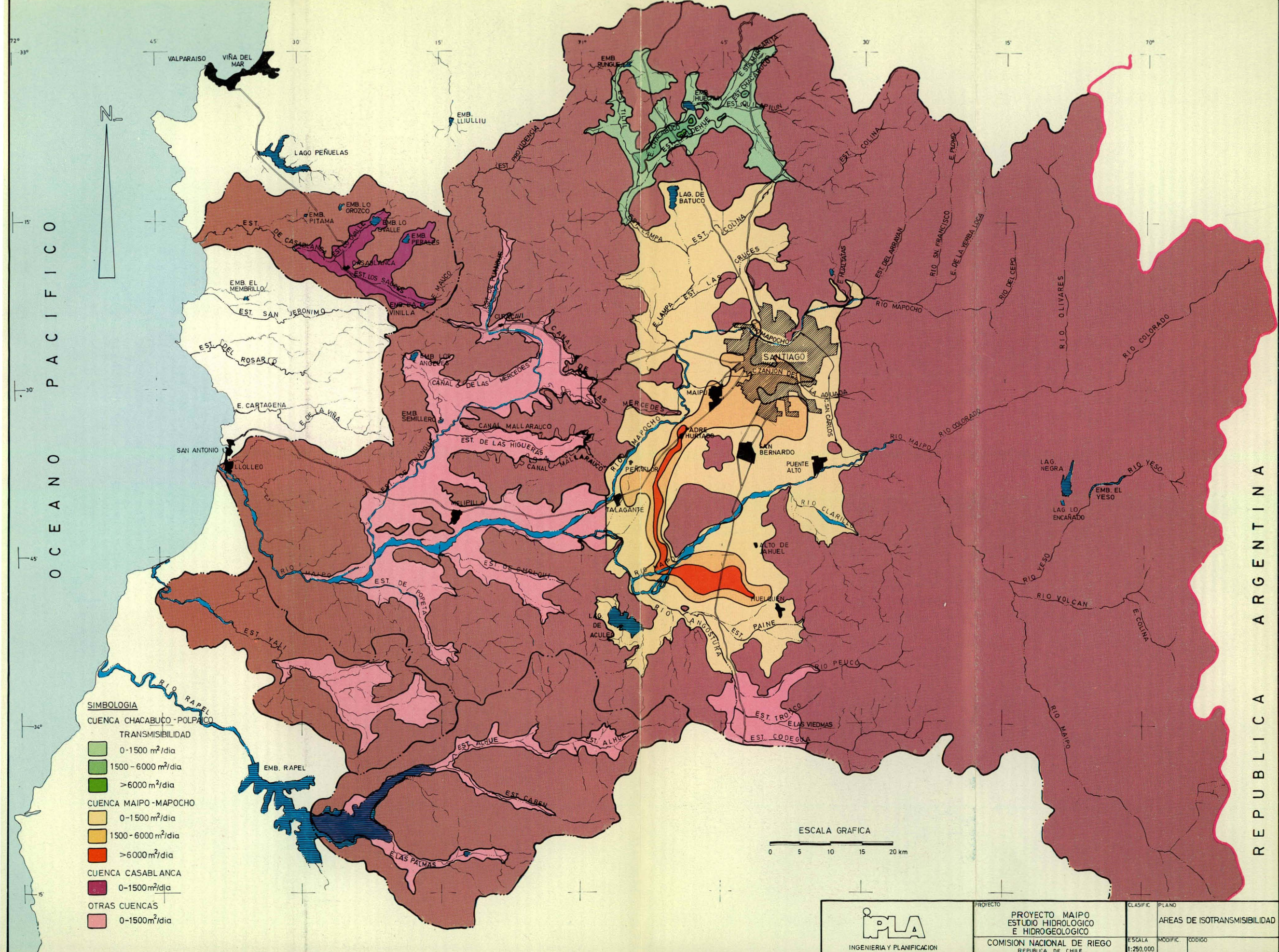


SIMBOLOGIA

- AREA REGADA POR RIO MAIPO
- AREA REGADA POR RIO MAPOCHO
- AREA REGADA POR AFLUENTES MAIPO-MAPOCHO
- OTRAS FUENTES



PROYECTO		PROYECTO MAIPO		CLASIFICACION	PLANO
		ESTUDIO HIDROLOGICO			AREAS DE RIEGO
		E HIDROGEOLOGICO			
		COMISION NACIONAL DE RIEGO		ESCALA	MODIFICACION
		REPUBLICA DE CHILE		1:250.000	CODIGO



SIMBOLOGIA

CUENCA CHACABUÑO - POLPAICO

TRANSMISIBILIDAD

- 0-1500 m²/día
- 1500-6000 m²/día
- >6000 m²/día

CUENCA MAIPO - MAPOCHO

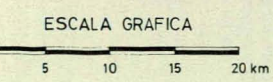
- 0-1500 m²/día
- 1500-6000 m²/día
- >6000 m²/día

CUENCA CASABLANCA

- 0-1500 m²/día

OTRAS CUENCAS

- 0-1500 m²/día



PROYECTO	PROYECTO MAIPO ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDROGEOLOGICO	CLASIFICACION	PLANO
COMISION NACIONAL DE RIEGO	REPUBLICA DE CHILE	ESCALA	MODIFICACION
		1:250.000	CODIGO